

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

Институт: Физико-технический

Специальность: 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы	
Проект цеха получения фторида бериллия, производительностью 280 т/год	
УДК <u>669.725.001.6</u>	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Цхе Анна Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Малютин Лев Николаевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тухватулина Лилия Равильевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Дмитрий Васильевич			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вильнина Анна Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Крайденко Роман Иванович	д.х.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 240601

«Химическая технология материалов современной энергетики»,

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	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
P3	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
P4	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
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижений 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
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	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
P8	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
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	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
P11	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): 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____03.10.16 Р.И. Крайденко
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0412	Цхе Анна Александровна

Тема работы:

Проект цеха получения фторида бериллия, производительностью 280 т/год	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 08.07.16 №5594/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 января 2016 года
--	---------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	Объект исследования – фтораммонийная технология получения металлического бериллия. Основной аппарат – барабанно-вращающаяся печь фторирования. Состав исходного сырья: 23,5% $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$; 0.01% $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 0.01% $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 2.01% $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$; 69.9% NH_4F ; 4,57% H_2O . Температура процесса 25-800°C. Непрерывный режим работы. Разрабатываемая технология должна быть экономически эффективна и экологически безопасна.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение. ТЭО. 2. Аналитический обзор существующих методов. 3. Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 4. Расчетная часть. 4.1. Расчет материального баланса. 4.2. Расчет теплового баланса. 4.3. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы. 4.4. Механический расчет основного аппарата. 4.5. Гидравлический расчет. 4.6. Энергетический расчет.

	5. Автоматизация процесса. 6. Строительная часть. 7. Социальная ответственность. 8. Расчет периода окупаемости предприятия.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Разрез цеха. 5. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 6. Техничко-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:

Отсутствуют

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3 октября 2015 года
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Малютин Лев Николаевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Цхе Анна Александровна		

РЕФЕРАТ

Дипломный проект: страниц 128, рисунков 4, таблиц 26, источников 49, приложений 2, листов графического материала формата А1 – 6.

Ключевые слова: бериллийсодержащее сырье, тетрафторобериллат аммония, фторид бериллия, фторид аммония, бифторид аммония, барабанная вращающаяся печь, реторта, термическое разложение.

Объектом исследования является фтораммонийная технология получения фторида бериллия.

Цель проекта – проектирование цеха непрерывного получения фторида бериллия, необходимого для получения металлического бериллия и оксида бериллия. Проект цеха включает в себя основной аппарат – барабанную вращающуюся печь термической диссоциации тетрафторобериллата аммония, а также систему улавливания продукционных фторсодержащих газов.

В процессе проектирования цеха, рассмотрены физико-химические характеристики веществ, участвующих в процессе, способы получения фторида бериллия, существующее аппаратное оформление процесса термического разложения. Разработана блок- и аппаратурно-технологическая схемы. Проведен материальный технологических стадий процесса. Для основного аппарата – барабанно-вращающейся печи, проведены механический, энергетический и гидравлические расчеты.

Основные характеристики: производительность по тетрафторобериллату аммония – 280 тонн в год; производительность по конечному продукту – 108,76 тонн в год. Процесс реализуется в барабанно-вращающейся печи диаметром 1,0 м и длиной 12 м. Нагрев печи осуществляется теплоэлектронагревательными элементами.

Экономическая эффективность проекта: себестоимость передела 1кг составит 512,7 рублей.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные документы

В проекте использованы следующие нормативные документы:

ГОСТ 27120-86 Печи химических производств в вращающимися барабанами общего назначения

ГОСТ 21.1.007-76 Вредные вещества

ГОСТ 12.4.121-83 Противогазы промышленные фильтрующие.
Технические условия

В данном проекте употребляются следующие сокращения:

БВП – барабанная вращающаяся печь;

ТЭН – теплоэлектронагревательные элемент;

ЗП – заработная плата;

ТК – трудовой кодекс;

МОП – младший обслуживающий;

ПДК – предельно-допустимые концентрации;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы.....	12
1.1 Физико-химические свойства веществ, участвующих в процессе	12
1.2 Применение бериллия	16
1.3 Аналитический обзор существующих методов.	22
1.4 Краткий обзор существующего аппаратного оформления процесса	24
2 Объект и методы исследования	28
2.1 Теория процесса	28
2.2 Расчет термодинамических характеристик процесса.....	28
3 Расчеты и аналитика.....	30
3.1 Аппаратурно-технологическая схема фтораммонийной переработки белиллийсодержащего сырья	30
3.2 Расчет материальных балансов	32
3.2.1 Барабанная вращающаяся печь термического разложения тетрафторобериллата аммония	33
3.2.2 Пылевая камера	34
3.2.3 Циклон	35
3.2.4 Скруббер	36
3.2.5 Барабанная вращающаяся печь регенерации бифторида аммония	37
3.2.6 Пылевая камера	38
3.2.7 Циклон	39
3.2.8 Скруббер	40
3.3 Тепловой баланс	41
3.4 Аппаратурный расчет.....	46
3.4.1 Барабанная вращающаяся печь.....	46
3.4.2 Пылевая камера	48
3.4.3 Циклон	51
3.4.4 Скруббер	52

3.4.6 Пылевая камера	54
3.4.7 Циклон	55
3.4.8 Скруббер	56
3.5 Механический расчет основного аппарата	56
3.6 Гидравлический расчет	67
3.7 Энергетический расчет	68
3.8 Автоматизация процесса.....	70
3.8.4 Описание функциональной схемы автоматизации.....	71
3.9 Строительная часть	76
3.9.1 Основные конструктивные элементы здания	76
3.9.2 Водоснабжение	79
3.9.3 Канализация.....	80
3.9.4 Вентиляция	81
3.9.5 Отопление	81
4 Результаты проведенного исследования.....	83
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	84
5.1 Расчет эффективного фонда рабочего времени	84
5.2 Расчет эффективного фонда времени работы оборудования.....	85
5.3 Расчет численности рабочих, служащих, ИТР и МОП	87
5.4 Расчет годового фонда заработной платы	90
5.5 Затраты на сырье и электроэнергию	95
5.6 Расчет капитальных затрат	96
5.7 Калькуляция себестоимости фторида водорода	99
6 Социальная ответственность	102
6.1 Общая характеристика процесса термического разложения тетрафторобериллата аммония	103
6.2 Безопасность при работе с химическими веществами	104
6.3 Электробезопасность	107
6.4 Производственное освещение	108
6.5 Микроклимат	110

6.6 Вентиляция	111
6.7 Шум и вибрация	112
6.8 Пожарная безопасность	113
6.9 Охрана окружающей среды	114
Заключение	116
Список использованных источников	117
Приложение А	121
Приложение Б.....	128

Графический материал:	на отдельных листах
ДП ФЮРА 066619.000 СБ	Сборочный чертеж основного аппарата
ДП ФЮРА 066619.000 ТЗ	Аппаратурно-технологическая схема
ДП ФЮРА 066619.000 ТС	Блок-схема с материальными потоками
ДП ФЮРА 066619.000 РЦ	Разрез цеха
ДП ФЮРА 066619.000 ПРО	План размещения оборудования
ДП ФЮРА 066619.000 СП	Спецификация

Введение

Бериллий – это редкий металл, который обладает уникальной комбинацией физических и механических свойств: жесткий, легкий, обладает способностью противостоять чрезвычайному напряжению, но в то же время очень хрупкий. Все эти свойства делают бериллий подходящим для широкого диапазона применений.

История бериллия характеризуется значительным разрывом времени между его открытием в 1798 г. А. Вокеленом и началом широкого промышленного применения в 30-х годах предыдущего столетия. Причиной этому послужили трудности, связанные со сложностью получения чистого металла и с его высокой химической активностью.

Предложены многочисленные методы для получения металлического бериллия, но немногие прошли серьезную экспериментальную проверку, а именно – электролитическое восстановление расплавленных галогенидов бериллия и металлотермическое восстановление соединений бериллия. Самый распространенный способ – это магнийтермическое восстановление фторида бериллия. Также фторид бериллия используется в солевой смеси ядерных реакторов на расплавленных солях и в качестве компонента специальных стекол.

В данной дипломной работе рассматривается способ непрерывного производства фторида бериллия, необходимого для получения металлического бериллия и оксида бериллия. Проект цеха включает в себя основной аппарат – барабанную вращающуюся печь термической диссоциации тетрафторобериллата аммония, а также систему улавливания продукционных фторсодержащих газов.

1 Обзор литературы

1.1 Физико-химические свойства веществ, участвующих в процессе

Фторид бериллия BeF_2 представляет собой гигроскопическое бесцветное вещество, в настоящее время известно две модификации - кварцеподобный и кристобалитоподобный. Это одно из самых устойчивых соединений бериллия, поэтому не все восстановители, применяемые на практике, могут восстановить его до металла. Как и все другие галогениды, фторид бериллия нелегко получить из водных растворов, например, расплавлением гидроокиси бериллия в плавиковой кислоте, поскольку образующийся при этом $\text{BeF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ при дегидратации гидролизует. Он может быть получен прямым взаимодействием газообразного фтористого водорода или окиси бериллия при 220°C , но обычно его получают по методу Лебо – термическим разложением тетрафторобериллата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$. Фторид бериллия можно восстановить натрием, магнием и кальцием, а водород не может восстановить фторид бериллия до металла [1].

Температура плавления BeF_2 – около 800°C , температура кипения составляет 1327°C . Фторид бериллия довольно трудно кристаллизуется, в течение многих лет он известен исключительно в стеклообразной форме. Структура стекла изучалась Уорреном и Хиллом рентгеноструктурным методом. Они считают, что фторид бериллия имеет хаотическую трехмерную сетчатую структуру, в которой атомы бериллия тетраэдрически окружены атомами фтора, а атомы фтора – двумя атомами бериллия. Эта структура аналогична структуре стекловидных кремнезема и двуокиси германия. Доказано, что имеются и другие полиморфные формы фторида бериллия. Они систематизированы на фазовой диаграмме на рисунке 1 [2].

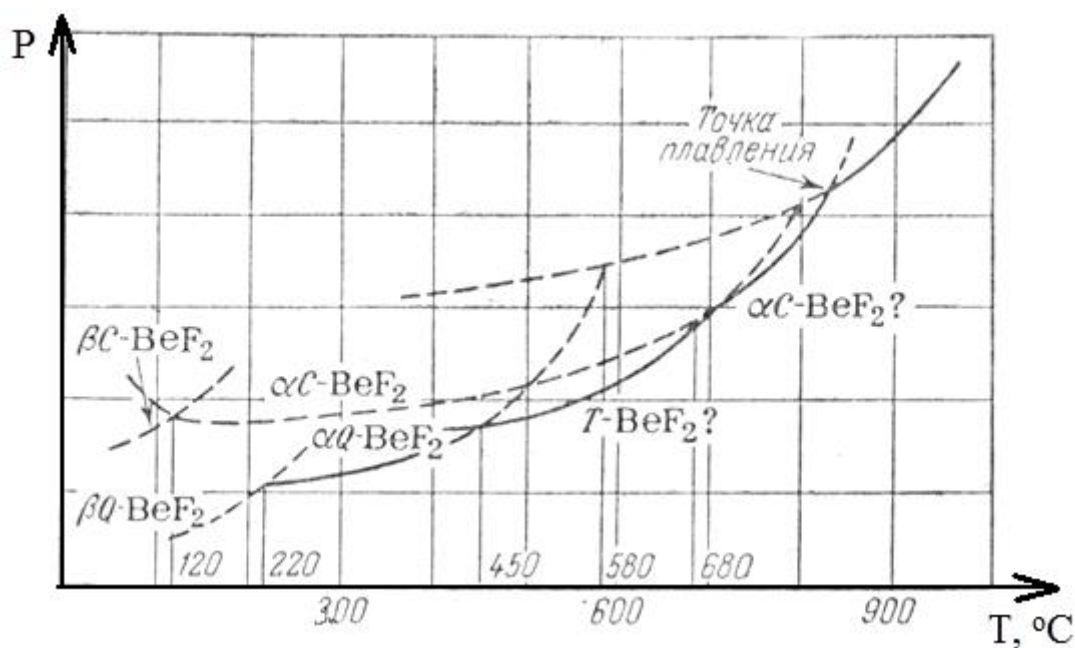


Рисунок 1 – Диаграмма состояния фторида бериллия

Фторид бериллия имеет модификацию, аналогичную β -кварцу, устойчивую при комнатной температуре, при 220 °C эта форма переходит в модификацию, аналогичную α -кварцу. Модификация типа α -кварца при медленном нагревании превращается при 420 – 450 °C тридимитную форму. При 680 °C эта фаза самостоятельно переходит в α -кристобалитную модификацию фторида бериллия. α -Кристобалитная модификация фторида бериллия, как показала А. В. Новоселова, должна плавиться при 800 °C. По общему мнению, переходы между этими тремя модификациями происходят крайне медленно, точно также как и между различными формами двуокиси кремния. По-видимому, это связано с тем, что подобные переходы сопровождаются разрушением связей F-Be-F и образованием нового тетраэдра BeF_4 . Такие перестройки в твердом состоянии протекают обычно крайне медленно и катализируются малыми количествами примесей[3].

Фторид бериллия хорошо растворим в воде (до 18 моль/л), возможен частичный гидролиз. При упаривании раствора, после прокаливании сухого остатка, образуется оксифторид бериллия $2\text{BeO} \cdot 5\text{BeF}_2$ – пушистый белый

порошок. Также как и фторид бериллия, оксифторид хорошо растворим в воде, из расплава застывает в стекловидной форме [4].

Бериллий, как элемент с высоким отношением заряда к радиусу иона, является хорошим комплексообразователем. Особенно много исследований посвящено комплексным соединениям бериллия и фтора, на использовании которых основывается фторидная технология вскрытия бериллиевых руд и технология получения бериллия металлотермическим методом, наиболее распространенная в настоящее время.

Обычно состав двойных фторидов щелочных металлов и аммония с бериллием выражается формулами $\text{Me}^{\text{I}}_2\text{BeF}_4$ или $\text{Me}^{\text{II}}\text{BeF}_4$, где Me^{I} – щелочной металл или аммоний и Me^{II} – щелочноземельный металл. Известны также соединения типа $\text{Me}^{\text{I}}\text{BeF}_3$, но все они устойчивы только в определенных условиях и, как правило, при перекристаллизации из воды превращаются в соответствующий тетрафторобериллат и BeF_2 . Фторобериллаты, как и все галоидные соли бериллия, благодаря малым размерам иона бериллия занимают промежуточное положение по химическим и термическим свойствам между типично ионными и полярными соединениями, о чем свидетельствует сравнительно высокое значение их термических констант [5].

Известны фторбериллаты аммония двух типов: $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ и NH_4BeF_3 . Растворимость $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ в воде при 0 °С составляет 27,1 г, при 25 °С увеличивается до 32,3 г на 100 г раствора; растворимость NH_4BeF_3 при 0 °С – 16,9 г, при 25 °С – 54,2 г на 100 г раствора. Фторобериллат аммония состава $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ является более прочным соединением, чем NH_4BeF_3 , так как бериллий в нем находится в комплексном анионе BeF_2^- .

Процесс образования фторбериллатов – ступенчатый. При недостатке фтор-ионов образование комплексных ионов идет по уравнению



прочность связей в этом катионе наибольшая. С увеличением концентрации F^- образуется молекула BeF_2 [6]:



затем комплексные анионы:



Фторбериллаты аммония способны образовывать со многими сульфатами смешанные кристаллы, следовательно, окись или гидроокись бериллия, предназначенная для получения фторбериллата аммония, должна предварительно очищаться от иона SO_4^{2-} , отделение этого иона из растворов фторбериллата является задачей, практически неосуществимой [7].

1.2 Применение бериллия

Применение бериллия для легирования сплавов

В основном бериллий используют в качестве легирующей добавки к различным сплавам. В результате такой добавки значительно повышается прочность и твёрдость сплавов, коррозионная устойчивость поверхностей изделий, которые были изготовлены из этих сплавов. В технике широко используются пружинные контакты из бериллиевых бронз типа ВеВ. При добавлении всего 0,5 % бериллия в сталь можно изготавливать пружины, которые пружинят при красном калении.

Ядерная энергетика

В атомных реакторах бериллий используют в качестве замедлителя нейтронов, изготавливают отражатели нейтронов. В результате взаимодействия ядер бериллия-9 с α -частицами возникают нейтроны: ${}^9\text{Be} + \alpha \rightarrow \text{n} + {}^{12}\text{C}$, поэтому в смеси с некоторыми α -радиоактивными нуклидами бериллий можно использовать в ампульных нейтронных источниках. Оксид бериллия - это наиболее теплопроводный из всех оксидов, в следствие чего используется как высокотеплопроводный высокотемпературный изолятор, огнеупорный материал (тигли), а также наряду с металлическим бериллием используется в атомной технике как более эффективный отражатель и замедлитель нейтронов в сравнении с чистым бериллием. Кроме того смесь оксида бериллия с оксидом урана используется в качестве очень эффективного ядерного топлива. Сплав фторида бериллия с фторидом лития применяют в качестве растворителя солей урана, тория, плутония в высокотемпературных жидкосолевых атомных реакторах и в качестве теплоносителя. Фторид бериллия также используется в атомной технике для варки стекла, которое используется при регулировании небольших потоков нейтронов. Самый качественный и технологичный состав такого стекла – BeF_2 – 60 %, AlF_3 – 10 %, PuF_4 – 4 %, CaF_2 – 16 %, MgF_2 – 10 %.

В аэрокосмической технике

Для производства тормозов в аэрокосмической технике, систем наведения и тепловых экранов практически ни один конструкционный материал не смог бы конкурировать с бериллием. Такие конструкционные материалы отличаются одновременно лёгкостью, стойкостью к высоким температурам и повышенной прочностью. Бериллиевые сплавы одновременно прочнее многих специальных сталей и в 1,5 раз легче одного из самых распространенных конструкционных материалов – алюминия. Бериллиды производят в качестве конструкционных материалов для двигателей, обшивки ракет и самолетов, а так же в атомной технике.

Огнеупорные материалы

Оксид бериллия – один из лучших огнеупорных материалов и применяется в качестве очень важного огнеупорного материала в специальных случаях.

Применение бериллия в металлургии

При добавлении бериллия в сплавы со многими металлами можно повысить их твердость, жаростойкость, прочность и коррозионную стойкость. Одним из самых распространенных его сплавов является бериллиевая бронза. Этот материал позволил решить многие сложные технические задачи.

Бериллиевые бронзы – это сплавы меди с содержанием бериллия до 3%, хорошо поддающиеся механической обработке, в отличие от чистого бериллия. Также из них можно, например, изготавливать ленты толщиной всего 0,1 мм. Бериллиевые бронзы имеют высокую разрывную прочность даже в сравнении со многими легированными сталями. Стоит отметить, что с течением времени многие материалы, в том числе и металлы, «устают» и снижают свою прочность. Но при старении бериллиевых бронз их прочность только возрастает. Они не искрят при ударе и немагнитны. Из бериллиевых

бронз изготавливают пружины, амортизаторы, рессоры, шестерни, подшипники и многие другие изделия, к которым предъявляются высокие требования, такие как хорошая сопротивляемость коррозии и усталости, высокая прочность, сохранение упругости в широких интервалах температур, высокие тепло- и электропроводные характеристики. Авиационная промышленность стала одним из потребителей этого сплава: в современном тяжелом самолете насчитывается более тысячи деталей, изготовленных из бериллиевой бронзы.

Бериллий добавляют для облагораживания сплавов на основе алюминия и магния. Это связано с низкой плотностью бериллия (всего $1,82 \text{ г/см}^3$), а температура плавления – вдвое выше, чем у этих металлов. Даже небольшая добавка бериллия (достаточно 0,005 %) значительно уменьшает потери магниевых сплавов от окисления и горения при плавке и литье. Одновременно улучшается качество отливок, значительно упрощается технология.

Кроме того, с помощью бериллия возможно увеличить прочность, жаростойкость и жесткость других металлов, не только путем введения его в те или иные сплавы. Для предотвращения быстрого износа стальных деталей, их иногда бериллизуют – путем диффузии происходит насыщение их поверхности бериллием. Для этого стальная деталь опускается в бериллиевый порошок, в котором ее выдерживают при $900-1100 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10-15 часов. Поверхность обработанной детали покрывается твердым химическим соединением бериллия с железом и углеродом толщиной всего 0,15-0,4 мм, что придает деталям жаростойкость, а также устойчивость к азотной кислоте и морской воде.

Бериллиды также отличаются интересными свойствами – возможно получение интерметаллических соединений бериллия с ниобием, танталом, цирконием и другими тугоплавкими металлами. Бериллиды обладают исключительной стойкостью против окисления и твердостью. Бериллиды способны проработать более 10 часов при температуре $1650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Бериллий в атомной энергетике

Истории бериллия изменилась с открытия нейтрона. В начале 30-х годов немецкие физики Г. Беккер и В. Боте, бомбардировали бериллий альфа частицами. В результате этого эксперимента было замечено так называемое бериллиевое излучение – очень слабое, но чрезвычайно проникающее. Позже было доказано, это был поток нейтронов. Такое свойство бериллия легло в основу «нейтронных пушек» – источников нейтронов, применяемых в разных областях науки и техники.

Так началось изучение атомной структуры бериллия. Как выяснилось, бериллий отличается малым сечением захвата нейтронов и большим сечением их рассеяния. Иными словами, бериллий (а также его оксид) может рассеивать нейтроны, изменять их направление движения и замедлять их скорость до таких величин, при которых возможно более эффективное протекание цепной реакции. Бериллий считается лучшим замедлителем нейтронов из всех твердых материалов.

Кроме того, в атомной энергетике бериллий выполняет роль отражателя нейтронов - меняет их направление, возвращает нейтроны в активную зону реактора, противодействуя их утечке. Бериллий имеет также значительную радиационную стойкость, сохраняющуюся даже при очень высоких температурах.

На основании всех этих свойств бериллий является одним из самых необходимых элементов в атомной технике.

Использование бериллия и его окиси в качестве замедлителя и отражателя нейтронов позволяет увеличить рабочую температуру в реакторе, значительно уменьшить размеры активной зоны и эффективнее использовать ядерное топливо. Поэтому, несмотря на высокую стоимость бериллия, его применение считается экономически оправданным, особенно в небольших энергетических реакторах для морских судов и самолетов.

Для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) атомных реакторов важным материалом является окись бериллия. В ТВЭЛах

плотность нейтронного потока особенно велика, в них – самые большие напряжения, самая высокая температура и все условия для коррозии. Так как уран неустойчив к коррозии и недостаточно прочен, следовательно его необходимо защищать специальными оболочками, как правило, из оксида бериллия.

Благодаря высокой теплоемкости, большой теплопроводности (примерно в 4 раза выше, чем у стали) и жаропрочности бериллий и его соединения используют в теплозащитных конструкциях космических кораблей. Из него была сконструирована внешняя тепловая защита капсулы космического корабля «Фрэндишп-7», на котором Джон Гленн первым из американских космонавтов совершил (после Юрия Гагарина и Германа Титова) орбитальный полет.

В еще большей мере космическую технику привлекают в бериллии легкость, жесткость, прочность, и особенно – необыкновенно высокое отношение прочности к весу. Поэтому бериллий и его сплавы все шире используются в космической, ракетной и авиационной технике.

В гироскопах используют бериллиевые детали благодаря способности сохранять стабильность размеров и высокую точность. Такие приборы входят в систему ориентации и стабилизации ракет, искусственных спутников Земли и космических кораблей.

Данный элемент применяется и во многих других областях современной техники, в том числе в радиоэлектронике. В частности, керамика, в основе которой окись бериллия, является материалом для изготовления корпусов так называемых ламп бегущей волны – очень эффективных радиоламп, которые не утратили своего значения под натиском полупроводников.

В рентгентехнике металлический бериллий служит окнами для рентгеновских трубок: в связи с малым атомным весом он пропускает в 17 раз больше мягких рентгеновских лучей, чем алюминий такой же толщины.

Слабое поглощение рентгеновского излучения позволяет использовать бериллий для изготовления окошек рентгеновских трубок (через которые излучение выходит наружу).

1.3 Аналитический обзор существующих методов.

Известно несколько способов получения фторида бериллия:

1) Гидрофторирование прокаленного оксида бериллия фтористым водородом при температуре 300 - 340 °С в периодическом режиме [8].

Отличительной особенностью данного способа является то, что процесс проходит в периодическом режиме подачи фтористого водорода. При отключении подачи фтористого водорода проводят перемешивание продукта. В качестве исходного соединения для получения оксида бериллия используется основной карбонат бериллия, предварительно прокаленный при температуре 280 - 320 °С.

Процесс выражается следующим уравнением:



Гидрофторирование проводят в трубчатой печи, оснащенной шнеком. Процесс проводят при температуре 300 - 340 °С в течение 1,5 - 2,0 ч. Подача предварительно нагретого фтористого водорода осуществляется по принципу противотока к движению продукта в реакторе, причем подача HF происходит в тот период времени, когда не происходит вращение шнека, а следовательно, перемещение продукта в реакторе. По истечении 20 - 25 мин отключается подача фтористого водорода и 10 мин осуществляется перемешивание и перемещение продукта при помощи вращения шнека.

Необходимость выбора такого характера гидрофторирования объясняется тем, что при одновременной подаче HF и движении продукта в реакторе происходит большой пылеунос. Так скорость витания частицы фторида бериллия диаметром 10 мкм при температуре 300 °С составляет всего 0,35 см/с, а диаметром 50 мкм - 7 см/с, скорость подачи HF в реакторе составляет 0,9 - 1,1 см/с.

Пылеунос в псевдоожиженном слое по прототипу составляет 8 – 10 % от массы конечного продукта. В предлагаемом нами способе - практически отсутствует, не превышая 0,1 %.

Как следует из экспериментальных данных, в данном способе получение фторида бериллия сопровождается высокой степенью гидрофторирования и снижением пылеуноса.

2) Фторирование оксифторида бериллия или карбида бериллия в токе элементарного фтора или фтористого водорода, термической диссоциацией фторбериллата аммония [9];

3) Прокаливание фторида магния с сульфатом бериллия [10];

4) Растворение гидроксида бериллия в плавиковой кислоте с последующим выпариванием раствора [11].

Данные способы, описанные в литературе, в силу сложности аппаратного оформления процесса не находят применения в технологии производства бериллия, а низкие технологические показатели не гарантируют получение фторида бериллия требуемого качества.

В промышленности реализован метод получения фторида бериллия путем разложением фторобериллата аммония. Чистые кристаллы фторобериллата аммония загружают в графитовый тигель и нагревают до температуры 900 - 1000 °С для обеспечения полного разложения на фторид бериллия и фторид аммония. Пары фтористого аммония, частично захватывающие фторид бериллия, выходят через верх печи и улавливаются в скрубберах; полученный таким образом раствор фторида аммония возвращают в процесс на стадию растворения [7].

Для термического разложения фторобериллата аммония в промышленных условиях применяют индукционные печи с графитовым тиглем и узкую графитовую реторту, установленную с уклоном к выпускному отверстию и нагреваемую газом.

Преимуществом использования графитовой реторты является непрерывность и экономичность процесса. Полученный таким образом фторид бериллия не гидролизуются.

1.4 Краткий обзор существующего аппаратного оформления процесса

Современная печь – сложный агрегат, создание и успешная работа которого немыслима без соответствующей расчетной базы и высокого уровня автоматизации технологических процессов.

Для осуществления процессов термической диссоциации применяется различное специальное оборудование: барабанно-вращающиеся печи, муфельные печи, шахтные печи, бомбы и различные другие аппараты.

Барабанная вращающаяся печь

Барабанно-вращающаяся печь – это промышленный печной агрегат непрерывного действия, который работает по принципу противотока. Печь имеет цилиндрическую форму, вращается вокруг продольной оси и предназначена для сушки, обжига, прокали сырья и полупродуктов [12].

На рисунке 2 приведен общий вид барабанной вращающейся печи. Основными элементами и узлами барабанной печи являются: корпус 2, который представляет собой цилиндрический стальной барабан, футерованный изнутри; привод; опорные устройства; головки 1 и 4; термоизоляция и уплотнительные устройства. Для сопряжения вращающегося барабана с бункерами имеются две головки: холодная (задняя) 1, соединяющаяся с верхним загрузочным концом барабана, и горячая (передняя) 4, соединяющаяся с нижним выгрузочным торцом печи. Чтобы обеспечить передвижение обжигаемого материала внутри барабана, печи придают угол, который составляет 1 - 4 % от общей длины печи [13].

Чтобы защитить металл корпуса от воздействий высоких температур и для снижения тепловых потерь производят внутреннюю футеровку печи.

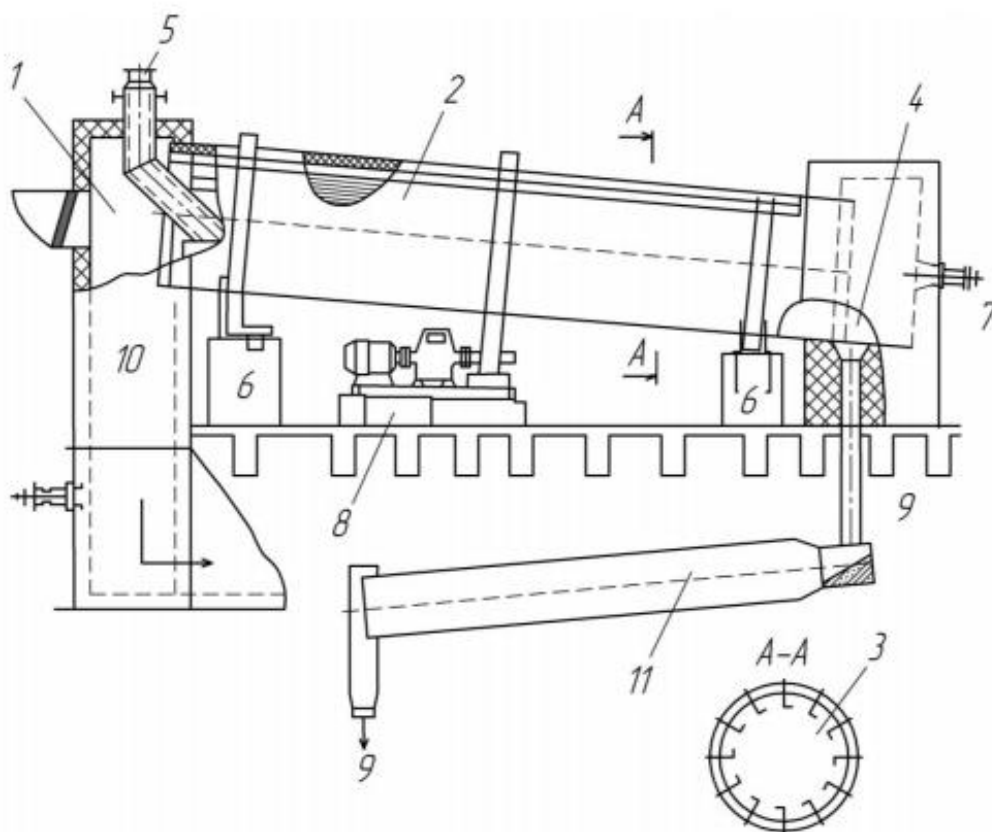


Рисунок 2 – Общий вид вращающейся барабанной печи

1 – холодная головка; 2 – вращающийся барабан; 3 – полки насадки; 4 – выгрузочная камера; 5 – стальная течка; 6 – опорные станции; 7 – форсунка; 8 – приводная станция; 9 – течка для выгрузки материала, 10 – станина; 11 – холодильник.

По характеру движения сыпучего материала во вращающейся печи определяет транспортную производительность, что вызывает существенное влияние на протекание всех важнейших процессов. На практике в большинстве случаев имеет место движение в пересыпающемся слое. В результате вращения печи вокруг оси возникают два момента, действующие на пересыпающийся слой. Это происходит под действием силы тяжести. Первый момент создается касательной составляющей на плече от центра печи до центра тяжести слоя и стремится перевести центр тяжести слоя в максимально низкое горизонтальное положение. Второй – момент силы

трения, который обуславливается нормальной составляющей силы тяжести и центробежной силой на плече, равном радиусу, стремится повернуть слой.

Муфельная печь

Муфельные печи предназначены для нагрева, прокалики, термообработки, отпуска, закалки и других термических процессов. По способам расположению нагревательных элементов различают печи с закрытым муфелем (внутреннее расположение нагревателей) и открытым муфелем (наружное расположение нагревателей). Строго говоря, печи с внутренним расположением нагревателей называются муфельными, с внешним расположением – камерными. Как правило, муфельные печи имеют максимальную температуру нагрева не выше 1100 °С, а камерные печи - до 1650 °С. Связано это как раз с различным расположением нагревателей относительно камеры. Если внутри муфеля при высокотемпературной обработке происходит выделение агрессивных веществ, способных взаимодействовать с материалом нагревательного элемента (сильные кислоты, щелочи и др.), то следует выбирать закрытый муфель, поскольку открытые элементы быстро выйдут из строя вследствие коррозии. К существенным преимуществам открытых муфелей можно отнести тот факт, что при выходе из строя нагревательных элементов, они могут быть заменены. В случае закрытых муфелей менять приходится весь муфель целиком, что всегда дороже.

Шахтная печь

Шахтная печь представляет собой вертикальную шахту с прямоугольным, круглым или эллипсовидным сечением. Рабочий объем составляет 45 - 750 м³. Кладка шахты печи выполнена в два слоя: наружная кладка — из глиняного (красного) кирпича; внутренняя — из огнеупорного (футеровка). Снаружи печь заключена в металлический кожух из листового железа. Свободное пространство между наружной кладкой из глиняного

кирпича и кожухом заполняется теплоизоляционным материалом, который может состоять из сухого трепела или молотого шамотного порошка. Печь оснащена двухканальным загрузочным механизмом, служащим для послойной подачи материала и топлива. Загрузочное устройство используется для обеспечения регулярной загрузки материала и топлива в печь, для равномерного распределения их по шахте и герметичности для избегания подсоса наружного воздуха. Клапаны жестко насажены на шток таким образом, что при возвратно – поступательном движении штока происходит поочередное открытие и закрытие клапанов. Когда верхний клапан открыт, нижний закрыт, и наоборот. Благодаря этому не происходит сообщение шахты с атмосферным воздухом. Для непрерывной выгрузки обожженного материала при абсолютной герметичности нижней части шахты служит разгрузочный механизм. В шахтной печи выделяют три зоны: подогрева, обжига и охлаждения.

Для реализации движения воздуха и газов в шахтных печах используются вентиляторы, которые нагнетают в печь воздух и отсасывают из нее дымовые газы. Благодаря противоточному движению обжигаемого материала и горячих газов в шахтной печи, хорошо используется теплота отходящих газов на прогрев сырья, а теплота обожженного материала идет на подогрев воздуха, направленного в зону обжига. В результате такого движения воздуха шахтные печи характеризуются низким расходом топлива. Шахтные печи различают по виду применяемого в них топлива и по способу его сжигания.

2 Объект и методы исследования

2.1 Теория процесса

Разложение фторобериллата аммония протекает в две стадии:

1) в интервале температур 230 - 260 °С происходит реакция



2) при температуре выше 270 °С отщепляется второй моль фтористого аммония по уравнению



Процесс разложения фторобериллата аммония начинается и протекает медленно уже при 125 °С, а при 400 °С – полностью и с приемлемой скоростью. Но если проводить этот процесс при такой низкой температуре, фторид бериллия получается в виде тонкого материала с большой склонностью к гидролизу. При получении фторида бериллия свыше 600 °С образуется менее гигроскопичная форма вещества, пригодная для хранения [7].

В качестве основного аппарата используем барабанную вращающуюся печь. Обогрев осуществляется ТЭНами.

Фторид аммония выходит по обогреваемому трубопроводу, чтобы предотвратить оседание.

Полученный фторид бериллия направляется на получение металлического бериллия методом металлотермического восстановления или на получение оксида бериллия.

2.2 Расчет термодинамических характеристик процесса

Рассчитать энергию Гиббса химической реакции при какой-либо температуре Т, если вещества не претерпевают фазовых превращений, можно используя метод Темкина и Шварцмана.

В качестве исходного используем уравнение:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 - IT, \quad (8)$$

где ΔH_{298}^0 определяют по стандартным теплотам образования, ΔS_{298}^0 определяют по стандартным абсолютным энтропиям компонентов.

$$I = -\frac{1}{T} \cdot \int_{298}^T \Delta C_p dT + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT, \quad (9)$$

где ΔC_p – изменение молярной теплоемкости в результате протекания процесса при $p = \text{const}$.

$$I = \Delta a M_0 + \Delta b M_1 + \Delta c M_2 + \Delta c' M_{-2}, \quad (10)$$

где M_0, M_1, M_2, M_{-2} – функции температуры.

$$M_0 = \frac{298}{T} - 1 + \ln\left(\frac{T}{298}\right), \quad (11)$$

$$M_n = \frac{298^{n+1}}{(n+1)T} - \frac{298^n}{n} + \frac{T^n}{n(n+1)}, \quad (12)$$

$$I = M_0 \cdot C_{p,298}, \quad (13)$$

$$IT = C_{p,298} \cdot \left(298 - T + T \cdot \ln\left(\frac{T}{298}\right)\right). \quad (14)$$

Совместив вышеуказанные уравнения, получили:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 + \Delta C_p \cdot \left(T - 298 - T \cdot \ln\left(\frac{T}{298}\right)\right). \quad (15)$$

В таблице 1 представлены энергия Гиббса, константа равновесия и энтальпия основной реакции, протекающей в печи:

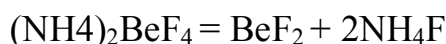


Таблица 1 – Термодинамические характеристики реакции

T, К	298	600	800	1000	1200
ΔH , КДж/моль	-17,2	-23,7	-28,0	-32,3	-36,6
ΔG , КДж/моль	1,0	22,0	37,8	54,8	72,6
K_p	0,667	0,012	0,003	0,0014	0,0007

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел финансовый менеджмент рассматривает основные экономические показатели проектируемого производства. Затраты на сырье и энергию, фонды рабочего времени, также количества персонала и заработную плату. Но главная задача данного расчета – оценка ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.1 Расчет эффективного фонда рабочего времени

В зависимости от принятого режима работы цеха фтораммонийной переработки бериллиевого концентрата можно определить баланс времени одного рабочего (количество дней). То есть время, которое нарабатывает один среднесуточный рабочий в год [24].

Режим работы цеха – непрерывный, следовательно, необходимо 3 смены, продолжительностью 8 часов каждая. Для корректной работы производства необходимо пять производственных бригад. Если обозначить бригады буквами А, Б, В, Г, Д, тогда график сменности бригад Приложении Г.

Рассчитаем длительность сменоборота:

$$T_{см. об.} = T_M n_{б} \quad (47)$$

где $n_{б}$ – число бригад;

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

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

За один сменоборот 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 15.

Таблица 15 – 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

5.2 Расчет эффективного фонда времени работы оборудования

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

Номинальный фонд работы оборудования:

$$T_H = D_p \cdot R_p, \quad (48)$$

где: D_p – количество рабочих дней в расчетном периоде;

R_p – количество рабочих часов в сутки.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному:

$$T_H = T_K = 8760 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд времени определяется следующим образом:

$$T_{\text{эф}} = T_K - T_{\text{рем}} - T_{\text{ТО}}, \quad (49)$$

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

$T_{ТО}$ – время технологических остановок.

Для основного аппарата – барабанно-вращающейся печи определим время работы и простоя на ремонты (таблица 16).

Таблица 16 – 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:

$$R = \frac{R_{\text{ц}}}{T_T}, \quad (50)$$

где $R_{\text{ц}}$ – длительность ремонтного цикла; T_T – пробег оборудования между текущими ремонтами.

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

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_{\text{ц}}}{T_H} = \frac{51840}{8760} = 6 \text{ лет.}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_c = \frac{R_{\text{ц}}}{T_c} - 1, \quad (51)$$

где T_c – пробег оборудования между средними ремонтами;

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

Количество текущих ремонтов:

$$R_c = \frac{R_{\text{ц}}}{T_c} - R_c - 1 = \frac{51840}{720} - 2 - 1 = 69 \text{ текущих ремонтов.}$$

Всего ремонтов в течение расчетного времени:

$$\frac{72}{6} = 12,$$

т. е. 1 средний и 11 текущих ремонтов.

Время на ремонт оборудования в расчетный период:

$$T_{\text{рем}} = 11 \cdot T'_T + T'_{cp} = 11 \cdot 16 + 360 = 536 \text{ ч}$$

Время технологически неизбежных остановок:

$$T_{\text{то}} = T_{oc} + T_{\text{п}}, \quad (52)$$

где T_{oc} – время остановки (8 ч);

$T_{\text{п}}$ – время пуска (8 ч).

$$T_{\text{то}} = 8 + 8 = 16 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд работы оборудования:

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

5.3 Расчет численности рабочих, служащих, ИТР и МОП

Исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест можно определить численность производственных рабочих. Число рабочих мест определяется исходя из необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объёма работы на управление каждым участком.

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{\text{яв.}} = \frac{1}{H_{\text{обс}}} \cdot F \cdot C, \quad (53)$$

где $H_{\text{обс}}$ – количество оборудования, которое обслуживает 1 чел.(4);

F – количество установок (20);

C – количество смен в сутки (3).

$$R_{\text{яв.}} = \frac{1}{4} \cdot 20 \cdot 3 = 15 \text{ человек.}$$

Определим списочное число основных рабочих:

$$R_{\text{сп.}} = R_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}}, \quad (54)$$

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

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

$$R_{\text{сп.}} = 15 \cdot \frac{342}{169} = 31 \text{ человек.}$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблице 17.

Таблица 17 – Состав рабочего персонала

Наименование профессий	Разряд	Число рабочих в смену	Р _{яв} в сут.	Р _{сп} в сут.	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборудования	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	2	6	11	169	342	3
Аппаратчик	4	2	6	10	169		
Аппаратчик	3	1	3	10	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:

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

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

Сведем число дежурного персонала в таблицу 18.

Таблица 18 – Количество дежурного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число смен	Ряв	Рсп	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.
Слесарь	5	1	3	3	6	169	342
Электрик	5	1		3	6		
Сл. КИПиА	5	1		3	6		

3) Расчет численности ИТР и служащих

Расчет численности инженерно-технических работников и служащих производится с учетом потребности цеха в каждой группе работников (Таблица 19).

Таблица 19 – Численность ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Количество работников
Начальник цеха	ИТР	1
Технолог цеха	ИТР	1
Мастер смены	ИТР	4
Ремонтные рабочие	МОП	3
Табельщик	Служащий	1
Уборщица	МОП	2
Итого:		12

5.4 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

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Основной фонд (ЗП):

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар.}} + Д_{\text{пр.}} + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{бр.}} + Д_{\text{пр.д.}} + \Phi_{\text{м.}}, \quad (55)$$

где $З_{\text{тар.}}$ – тарифный фонд;

$Д_{\text{пр.}}$ – оплата премий;

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

$Д_{\text{бр.}}$ – доплата за бригадирство;

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

$\Phi_{\text{м}}$ – фонд мастера.

1. Тарифный фонд:

$$З_{\text{тар.}} = З^3_{\text{тар.}} + З^4_{\text{тар.}} + З^5_{\text{тар.}}, \quad (56)$$

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

$$З_{\text{тар.}} = R_{\text{сп.}} \cdot T_{\text{эф.}} \cdot T_{\text{ст.}}, \quad (57)$$

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

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

$T_{\text{ст.}}$ – часовая тарифная ставка (Таблица 20).

Таблица 20 – Часовая тарифная ставка для аппаратчиков

	Разряд аппаратчика		
	5	4	3
Тст, руб	90	80	70

$$З^3_{\text{тар.}} = 10 \cdot 1352 \cdot 70 = 946400 \text{ руб.}$$

$$З^4_{\text{тар.}} = 10 \cdot 1352 \cdot 80 = 1081600 \text{ руб.}$$

$$З^5_{\text{тар.}} = 11 \cdot 1352 \cdot 90 = 1338480 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{тар.}} = 946400 + 1081600 + 1338480 = 3366480 \text{ руб.}$$

2. Доплата за работу в ночное время, согласно Статье 154 Трудового Кодекса РФ (ТК РФ), осуществляется отчислением 40% от тарифной заработной платы.

$$Д_{\text{н.вр.}} = З_{\text{тар.}} \cdot \frac{\Pi}{100}, \quad (58)$$

где Π – процент отчисления.

$$Д_{\text{н.вр.}} = 3366480 \cdot \frac{40}{100} = 1346592 \text{ руб.}$$

3. Доплата премий устанавливается согласно статье 135 ТК РФ, устанавливается внутренними локальными актами, поэтому примем доплату равную 20% от тарифной заработной платы.

$$Д_{\text{пр.}} = З_{\text{тар.}} \cdot \frac{\Pi}{100} = 3366480 \cdot \frac{20}{100} = 673296 \text{ руб.}$$

4. Доплата за бригадирство, согласно ТК, устанавливается для бригадира из числа рабочих, не освобожденных от основной работы на уровне 10% 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:

$$D_{бр.} = Z_{тар.}^5 \cdot \frac{П}{100} = 1338480 \cdot \frac{10}{100} = 133848 \text{ руб.}$$

5. Доплата за работу в праздничные дни.

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

$$D_{пр.д.} = D_{пр.д.}^3 + D_{пр.д.}^4 + D_{пр.д.}^5 \quad (59)$$

$$D_{пр.д.} = 2 \cdot R_{яв.} \cdot N \cdot T_{ст.} \cdot t_{см.}, \quad (60)$$

где N – число праздничных дней в году.

$$D_{пр.д.}^3 = 2 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 70 = 40320 \text{ руб.}$$

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

$$D_{пр.д.}^5 = 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 90 = 103680 \text{ руб.}$$

$$D_{пр.д.} = 40320 + 92160 + 103680 = 236160 \text{ руб.}$$

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

$$\begin{aligned} D_{врд.} &= \sum Z_{тар.}^i \cdot 0,25 = (946400 + 1081600 + 1338480) \cdot 0,25 \\ &= 841620 \text{ руб} \end{aligned}$$

Суммируя все статьи основной заработной платы, получим:

$$Z_{осн.} = Z_{тар.} + D_{н.вр.} + D_{пр.} + D_{бр.} + D_{пр.д.} + D_{врд.} = 6597996 \text{ руб.}$$

2) Расчет фонда дополнительной заработной платы

Определить процент дополнительной заработной платы можно по формуле:

$$П_{д.з.} = \frac{D_n}{T_{эф.} - D_n} \cdot 100 = \frac{38}{169 - 38} \cdot 100 = 29\%,$$

где $T_{\text{эф.}}$ – планируемое количество дней работы одного среднесуточного рабочего;

$D_{\text{н}}$ – планируемые целодневные невыходы в год.

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot \frac{П_{\text{д.з.}}}{100} = 6597996 \cdot \frac{29}{100} = 1913419 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З' = З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} = 6597996 + 1913419 = 8511415 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы с учётом районного коэффициента (1,3) и отчислений на страховые взносы (30%):

$$З_1 = З' \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 8511415 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 14384291 \text{ руб.}$$

3) Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Аналогично расчету годового фонда ЗП основных рабочих рассчитаем годовую фонд ЗП дежурного персонала

$$З_{\text{общ.}} = З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} \quad (61)$$

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар.}} + D_{\text{пр.}} + D_{\text{н.вр.}} + \Phi_{\text{м}} + D_{\text{пр.д.}} \quad (62)$$

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

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

2. Премии – 10% от $З_{\text{тар.}}$:

$$D_{\text{пр.}} = 1946880 \cdot 0,1 = 194688 \text{ руб.}$$

3. Доплата за работу в ночное время – 40 % от $З_{\text{тар.}}$:

$$D_{\text{н.вр.}} = 1946880 \cdot 0,4 = 778752 \text{ руб.}$$

4. Доплата за работу в праздничные дни:

$$D_{\text{пр.д.}} = R_{\text{яв.}} \cdot N \cdot T_{\text{сп.}} = 9 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 80 = 69120 \text{ руб.}$$

5. Доплата за вредность производства – 25% от $З_{\text{тар.}}$.

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

$$З_{\text{осн.}} = 1946880 + 194688 + 778952 + 69120 + 486720 = 3476360 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot 0,29 = 3476360 \cdot 0,29 = 1008144 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{общ.}} = 3476360 + 1008144 = 4484504 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы с учётом районного коэффициента (1,3) и отчислений на страховые взносы (30%):

$$З_2 = З_{\text{общ.}} \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 4484504 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 7578812 \text{ руб.}$$

4. Расчет годового фонда заработной платы ИТР и служащих

Оклады должностных лиц ИТР и младшего обслуживающего персонала принимаем следующим образом:

Начальник цеха – 60000 руб.;

Мастер смены – 40000 руб.;

Технолог – 500000 руб.;

Ремонтные рабочие – 20000 руб.;

Табельщик – 15000 руб.;

Уборщица – 8000 руб.

1. Фонд заработной платы вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{\text{осн.}} = 11 \cdot 60000 + 11 \cdot 50000 + 4 \cdot 11 \cdot 40000 + 3 \cdot 11 \cdot 20000 + 11 \cdot 15000 + 2 \cdot 11 \cdot 8000 = 3971000 \text{ руб.}$$

2. Дополнительная заработная плата ИТР и служащих находится по формуле:

$$З_{\text{доп.}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}} \cdot Д_{\text{отп.}}}{В_{\text{к}}} = \frac{3971000 \cdot 30}{365} = 326384 \text{ руб.}$$

где $\Phi_{\text{осн}}$ – основной фонд заработной платы;

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

B_k – календарный год – 365 дней.

3. Доплата за работу в праздничные дни (рассчитывалась для мастера смены и уборщицы):

$$D_{\text{пр.д.}} = \frac{\text{окл.} \cdot N \cdot R_{\text{яв.}}}{23,4} = \frac{40000 \cdot 12 \cdot 4 + 8000 \cdot 12 \cdot 2}{23,4} = 90256 \text{ руб.}$$

где окл. – месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году;

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

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

$$\Phi_{\text{зп}} = \Phi_{\text{осн}} + Z_{\text{доп.}} + D_{\text{пр.д.}} = 5330300 + 438107 + 24615 = 5793022 \text{ руб}$$

С учетом районного коэффициента:

$$Z_3 = \Phi_{\text{зп}} \cdot 1,3 = 5793022 \cdot 1,3 = 7530929 \text{ руб.}$$

5.5 Затраты на сырье и электроэнергию

Затраты на основные виды сырья и электроэнергию, использующиеся в проектируемом технологическом процессе, приведены в таблице 21. Тетрафторобериллат аммония с примесями является давальческим сырьем, следовательно затраты на их приобретение отсутствуют. Мощность производства составляет 280 т BeF_2 /год.

Таблица 21 – Расчёт потребности в сырье и энергии

Наименование	Цена за единицу, руб./ед.	Количество на весь годовой выпуск, ед.	Итоговые затраты, руб.
1. Материалы:	-	-	-
2. Электроэнергия, кВт	3	5130697	15,392 млн. руб
Итого: 15,392 млн. руб.			

5.6 Расчет капитальных затрат

1) Расчет капитальных затрат на строительство

Рассчитать величину капитальных затрат на здание цеха и его сооружение можно по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются:

Стоимость 1 м² здания согласно действующим поясным ценам на строительство и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение.

Выбираем под цех каркасное здание:

- длина 70 м.

- ширина 20 м.

Производственная площадь – 1400 м²;

Под склад принимаем территорию:

- длина 30 м.

- ширина 10 м.

Складская площадь – 300 м²;

На офисные и санитарные площади приходится 126 м².

Суммарная площадь предприятия 1826 м².

Стоимость 1м² – 10000 руб.;

Стоимость здания – 18260000 руб.;

Стоимость санитарно-технических работ составляет (600 руб./м²) – 1095600 руб.

Полная стоимость здания составит:

$$C_{зд} = 18260000 + 1095600 = 19355600 \text{ руб.}$$

2) Расчет себестоимости оборудования

Для организации участка необходима закупка следующего оборудования (таблица 22).

Таблица 22 – Стоимость оборудования

№	Наименование оборудования	Цена за ед., тыс. руб.	Кол.	Стоимость, тыс. руб.
1	Бункер загрузки	40	1	40
2	Шнек-питатель в полной комплектации	200	1	200
3	Барабанная вращающаяся печь	20900	1	20900
4	Бункера разгрузки	40	3	120
5	Пылевая камера	125	1	125
6	Циклон	210	4	840
7	Скруббер	290	3	870
8	Насос	17	3	51
9	ТЭНы для трубопровода	120	3	360
10	Трубопровод	320	-	320
ИТОГО				23826

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

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

$$З_{тр} = 23826000 \cdot 0,08 = 1906080 \text{ руб.}$$

- стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

$$З_{монт.} = 23826000 \cdot 0,2 = 4765600 \text{ руб.}$$

- стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

$$З_{сп.р.} = 23826000 \cdot 0,1 = 2382600 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$\begin{aligned} З_{к.об.} &= C_{об.} + З_{тр} + З_{монт.} + З_{сп.р.} \\ &= 23826000 + 1906080 + 4765600 + 2382600 \\ &= 32880280 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Сумма капитальных затрат:

$$\sum З_{кап.} = C_{зд.} + З_{к.об.} = 19355600 + 32880280 = 52235880 \text{ руб.}$$

3. Расчет затрат на производство

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 15% от $\Phi_{з. п.}$:

$$З_{о.т.} = 29494032 \cdot 0,15 = 4424105 \text{ руб.}$$

Балансовая стоимость здания условно принята 19355600 рублей.

Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$З_{т.р.} = 19355600 \cdot 0,02 = 387112 \text{ руб.}$$

Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 3% от стоимости здания:

$$З_{сод.} = 19355600 \cdot 0,03 = 580668 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления – 3,7% от стоимости здания:

$$З_{ам.} = 19355600 \cdot 0,037 = 716157 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\sum Z = 387112 + 580668 + 716157 = 1683937 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{т.р.}} = 23826000 \cdot 0,07 = 1667820 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам.}} = 23826000 \cdot 0,1 = 2382600 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{с.о.}} = 23826000 \cdot 0,03 = 714780 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\sum Z = 1667820 + 2382600 + 714780 = 4765200 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = 1683937 + 4765200 = 6449137 \text{ руб.}$$

5.7 Калькуляция себестоимости фторида водорода

Результаты калькуляции себестоимости, основанные на выше изложенных расчётах, представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Проектная калькуляция себестоимости фторида бериллия

Статьи расходов	Цена, руб.	Расход на годовой выпуск BeF ₂	Затраты на годовой выпуск BeF ₂	Расход на 1 кг BeF ₂	Затраты на 1 кг BeF ₂ , руб
1. Материалы:	-	-	-	-	-
2. Электроэнергия, кВт	3	5130697	15392091	47,17	141,52
Итого условно- переменные затраты	-	-	15392091	-	141,52
3. Оплата труда с отчислениями во внебюджетные фонды	-	-	29494032	-	271,18
Основных рабочих	-	-	14384291	-	132,26
Дежурных	-	-	7578812	-	69,68
ИТР, МОП, служащие	-	-	7530929	-	69,24
4. Расходы на охрану труда и технику безопасности	-	-	4424105	-	40,68
5. Затраты на содержание и эксплуатацию здания	-	-	1683937	-	15,48
6. Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования	-	-	4765200	-	43,81
Итого условно- постоянные затраты	-	-	40367274	-	371,16
Себестоимость передела	-	-	-	-	512,68

Заключение к разделу

Произведён расчёт себестоимости непрерывного производства фторида бериллия, необходимого для получения металлического бериллия и оксида бериллия. Основные технико-экономические показатели передела приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Основные технико-экономические показатели

Показатель	Значение
Объём производства	108,76 т/год
Условно-переменные затраты	141,52 руб./кг
Условно-постоянные затраты	371,16 руб./кг
Себестоимость передела	512,68 руб./кг

Технологическая себестоимость передела фторида бериллия составила 512,68 руб./кг. Так как процесс термического разложения тетрафторобериллата аммония является промежуточной стадией фтораммонийной переработки бериллийсодержащего сырья, следовательно, анализ безубыточности не приводится. Приведенная технология позволяет сократить затраты на оплату труда персоналу за счет уменьшения численности и рациональной расстановки рабочих. А также снижены расходы на содержание и эксплуатацию здания и оборудования.