

**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»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата производительностью 10000 т/год по концентрату.</b>
УДК 66.048.5-982

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Усольцева Ирина Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кантаев А.С	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тухватулина Л.Р	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Акимов Д.В			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Вильнина А.В	Кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТРЭ	Крайденко Р.И	Доктор химических наук		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 240601  
«Химическая технология материалов современной энергетики»,**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественно научные, 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
<i>Универсальные компетенции</i>	
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
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

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломной работы
------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0411	Усольцева Ирина Олеговна

Тема работы:

Исследование процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата производительностью 10000 т/год по концентрату.

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 15.11.2016 г. № 9738/с
---	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19 января 2017 года
--	---------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	Исследование сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата производительностью 10000 т/год, по концентрату и разработка метода их очистки. Проектирование установок для получения воды. Содержание $\text{NH}_4\text{F}$ в $\text{H}_2\text{O}$ 10%.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Введение.</li><li>2. Обзор литературы</li><li>3. Объект и методы исследования</li><li>4. Расчеты и аналитика<ol style="list-style-type: none"><li>4.1. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.</li><li>4.2. Расчет материального баланса.</li><li>4.3. Расчет теплового баланса.</li><li>4.4. Расчет основного аппарата.</li></ol></li></ol>

	4.4.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата. 4.4.2. Механический расчет. 4.4.3. Гидравлический расчет. 4.4.4. Энергетический расчет. <b>5. Результаты проведенного исследования</b> <b>6. Автоматизация процесса.</b> <b>7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</b> <b>8. Социальная ответственность.</b>
<b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Физико-химические основы процесса. 2. Результаты исследований. 3. Блок-схема с материальными потоками. 4. Аппаратурно-технологическая схема. 5. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 6. Технично-экономические показатели.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Л. Р. Тухватулина
Социальная ответственность	Д. В. Акимов
Автоматизация процесса	А. В. Вильнина

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

Все разделы ВКР написаны на русском языке

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12 октября 2016 года
---	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	А.С. Кантаев	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Усольцева Ирина Олеговна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 108 с., 14 рис., 29 табл., 47 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: выпаривание, концентрирование, фторид аммония, водоподготовка.

Цель дипломной работы: исследование процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата в созданных лабораторных условиях, и на основе проведенных опытов, произвести расчет выпарного аппарата производительностью 10 000 тонн в год по исходной смеси.

Объектом исследования является технологическая последовательность процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата.

Предметом исследования является процесс очистки и утилизации сточных вод.

Научная и практическая новизна заключается в следующем:

– получены показатели степени удаления влаги из растворов от времени при различных значениях температуры при ведении процесса выпаривания;

– определены оптимальные технологические параметры ведения процесса выпаривания влаги из раствора;

– предложена принципиальная технологическая схема и технологическая схема цепи аппаратов по водоочистке сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели (себестоимость передела 108294133,24)

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе используются ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.0.002-80. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Термины и определения;
- ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
- ГОСТ 12.1.003-2014.ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.009-76. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Термины и определения;
- ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия;
- ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток". Технические условия;
- ГОСТ 12.4.072-79 ССБТ. Сапоги специальные резиновые формовые, защищающие от воды, нефтяных масел и механических воздействий. Технические условия;
- ГОСТ 12.4.121-83 ССБТ. Противогазы промышленные фильтрующие. Технические условия.
- ГОСТ 12.4.127-83 ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества;
- ГОСТ 12.4.153-85 ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества;
- ГОСТ 1867-57. Вакуум-насосы низкого вакуума. Типы и основные параметры;
- ГОСТ 11987-85. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Общие технические требования ;
- ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные;

– ГОСТ 27652-88 Костюмы мужские для защиты от кислот.  
Технические условия;

– ГОСТ 27653-88 Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия;

– ГОСТ 29057-91 Костюмы мужские для защиты от нетоксичной пыли. Технические условия.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Выпаривание:** концентрация раствора с помощью удаления из раствора растворителя, и концентрирование нелетучего твердого вещества.

**Аллонж:** конструктивный элемент химических приборов, применяемый при перегонке для соединения холодильника с приёмником и при других работах.

**Фторопласт (тефлон):** полимер, пластмасса, обладающая редкими физическими и химическими свойствами и широко применяемая в технике.

**Автоматизация технологического процесса:** совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление самим технологическим процессом без непосредственного участия человека.

**Амортизация:** процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального.

Перечень условных обозначений:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ГДФА – гидрофторид аммония;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ТБ – техника безопасности;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

## Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературных данных .....	15
1.1 Очистка производственных сточных вод. Методы очистки .....	15
1.2 Теория процесса .....	17
1.3 Основные технологические схемы.....	19
1.4 Классификация выпарных аппаратов .....	23
1.4.1 Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.....	24
1.4.2 Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией .....	25
1.4.3 Пленочные выпарные аппараты .....	27
2 Объект и методы исследования.....	30
2.1 Описание экспериментальной установки.....	30
2.2 Методы анализа.....	32
2.3 Порядок проведения эксперимента. ....	33
2.4 Термодинамика процесса.....	34
2.5 Кинетика процесса.....	36
3 Расчеты и аналитика .....	38
3.1 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.....	38
3.2 Материальный баланс.....	40
3.2.1 Материальный баланс стадии фторирования .....	40
3.2.2 Материальный баланс основного аппарата .....	43
3.3 Расчет теплового баланса.....	44
3.4 Расчет основного аппарата.....	46
3.4.1 Расчет теплопередачи выпарной установки .....	46
3.4.2 Концентрации упариваемого раствора .....	47
3.4.3 Определение температур кипения растворов .....	48
3.4.4 Полезная разность температур .....	52
3.4.5 Определение тепловых нагрузок.....	52
3.4.6 Выбор конструкционного материала.....	54

3.4.7 Расчет коэффициентов теплопередачи.....	54
3.4.8 Определение толщины тепловой изоляции .....	56
3.4.9 Расход охлаждающей воды.....	57
3.4.10 Диаметр конденсатора.....	58
3.4.11 Высота барометрической трубы.....	58
3.4.12 Расчёт производительности вакуум-насоса .....	59
3.4.13 Механический расчет .....	60
3.4.14 Гидравлический расчет. ....	61
4 Результаты проведенного исследования .....	63
5 Автоматизация процесса .....	66
5.1 Описание функциональной схемы автоматизации .....	67
5.2 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, .....	70
регулированию, сигнализации.....	70
5.3 Подбор контрольно-измерительных приборов.....	71
5.4 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ .....	73
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 75	
6.1 Определение баланса времени одного рабочего .....	75
6.2 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха .....	78
6.3 Расчет годового фонда заработной платы вспомогательного персонала .....	80
6.4 Расчет капитальных затрат .....	81
6.5 Расчет технологических затрат.....	84
6.6.Калькуляция себестоимости передела. ....	86
7 Социальная ответственность .....	88
7.1 Общая характеристика производства .....	89
7.2 Промышленная санитария .....	90
7.3 Электробезопасность.....	92
7.4 Микроклимат.....	93
7.5 Производственное освещение .....	94
7.6 Пожарная безопасность.....	94

7.7 Шум и вибрация .....	96
7.8 Охрана окружающей среды .....	97
Заключение по разделу .....	98
Заключение .....	99
Список используемых источников.....	100
Список публикаций студента.....	105
Приложение А .....	106
Приложение Б .....	107
Приложение В.....	108

## Введение

Вода используется почти во всех химических производствах для разнообразных целей. Химическая промышленность – один из крупнейших потребителей воды. На отдельных химических предприятиях потребление воды достигает 1 млн. м<sup>3</sup> в сутки.

Актуальность настоящей работы. В настоящее время очистка сточных вод предприятий является актуальной экологической проблемой. Она существует во всех регионах страны, в том числе и в Томской области. Несмотря на все меры и методы, применяемые для очистки сточных вод, загрязнители продолжают поступать в водные объекты.

В химической промышленности вода используется:

1. В качестве сырья и реагента для производства различной химической продукции (например, водорода, ацетилен, серной кислоты);
2. Как теплоноситель (в виде горячей воды и пара) и хладагента для обогрева и охлаждения аппаратуры;
3. Для технологических целей в качестве:
  - растворителя твердых, жидких и газообразных веществ;
  - среды для осуществления физических и механических процессов (флотация, транспортировка твердых материалов в виде пульпы);
  - промывной жидкости для газов;
  - экстрагента и абсорбента различных веществ [1].

В соответствии с разд. I Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах», утв. постановлением Правительства РФ от 19.04.2012 № 350 (в ред. постановления Правительства РФ от 01.12.2012 № 1245), проблемой, требующей особого внимания, является сохраняющийся высокий уровень негативного антропогенного воздействия на водные объекты. В водные

объекты Российской Федерации в год сбрасывается 52,1 куб. км сточных вод, из которых около 20 куб. км подлежат очистке.

Водооборотные циклы технологических установок, цехов и химических предприятий в целом являются важнейшим фактором рационального использования водных ресурсов. В этих циклах осуществляется многократное использование воды без выброса загрязненных стоков в водоемы, а потребление свежей воды для ее восполнения ограничено только технологическими превращениями (в качестве компонента сырья) и естественными потерями [2].

Во избежание отравления водоемов аммиаком и аммонийными солями, действующее законодательство предусматривает требования к очистке сточных вод [3].

На кафедре ХТРЭ НИ ТПУ разработан фтораммонийный метод переработки ильменитового концентрата с целью получения пигментного диоксида титана. Впоследствии переработки ильменита по фтораммонийной технологии стоит задача очистки сточных вод от примесей в следствии ведения процесса, для этого было решено исследовать процесс утилизации сточных вод.

Цель дипломной работы: исследование процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата в созданных лабораторных условиях, и на основе проведенных опытов, произвести расчет выпарного аппарата производительностью 10 000 тонн в год по исходной смеси.

Объектом исследования является технологическая последовательность процесса утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата.

Предметом исследования является процесс очистки и утилизации сточных вод.

Научная и практическая новизна заключается в следующем:

– получены показатели степени удаления влаги из растворов от времени при различных значениях температуры при ведении процесса выпаривания;

– определены оптимальные технологические параметры ведения процесса выпаривания влаги из раствора;

– предложена принципиальная технологическая схема и технологическая схема цепи аппаратов по водоочистке сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата.

Практическая значимость результатов ВКР. Областью применения данного проекта является химическая технология производств с проблемой рационального использования водных ресурсов, так же любое производство с необходимостью очистки сточных вод. Данные полученные при исследовании, рассчитанные и приведенные в дипломной работе указывают на перспективность разработанной технологии и при дальнейшем усовершенствовании возможность ее внедрения и реализации.

Реализация и апробация работы. Проведенные исследования апробированы в лабораторных условиях. Выбраны оптимальные условия для процесса концентрирования раствора фторида аммония. Результаты, полученные в ходе исследований и отдельные положения работы, были опубликованы.

## **1 Обзор литературных данных**

### **1.1 Очистка производственных сточных вод. Методы очистки**

Для очистки производственных сточных вод применяют, в зависимости от состава их загрязнений, методы, химической, биологической, физико-химической и механической очистки.

Механическая очистка – это процеживание, фильтрация и отстаивание – применяются для выделения из сточных вод нерастворенных различных примесей. Конечным этапом осветления сточной воды является фильтрование – пропуск воды через слой зернистого материала (керамзита, антрацита, горелых пород, песка) с частицами разной крупности.

Преимущество этих процессов заключается, в возможности применения их при нормальной температуре и без добавления химических реагентов.

Химическая очистка может применяется тогда, когда выделение загрязнений из сточных вод возможно только в результате химических реакций между этими загрязнениями и вводимыми в очищаемые воды реагентами. При этом процессе происходит окисление и нейтрализация кислот и щелочей, восстановление растворенных в воде примесей, с получением нетоксичных или малотоксичных продуктов, превращение в нерастворимые в воде соединения.

К химическим методам очистки сточных вод также относятся электрохимическая очистка, которая заключается в разрушении содержащихся в сточных водах и отработанных растворах вредных примесей путем их электрохимического окисления на аноде или в регенерации ценных веществ, которые можно вернуть в производство.

Физико-химическая очистка сточных вод основана на применении ряда процессов: сорбции, экстракции, коагуляции, флотации, ионного

обмена, кристаллизации, эвапорации, диализа, дезодорации, обессоливания, дезактивации.

Экстракция – выделение растворенных органических веществ (примесей), находящихся в сточных водах, путем обработки не смешивающимся с водой растворителем – экстрагентом, в котором примеси, загрязняющие воду, растворяются лучше, чем в воде.

Эвапорация – это отгонка с водяным паром растворенных веществ, загрязняющих сточную воду.

Сорбция – это выделение из воды растворенных в ней органических веществ и газов с помощью концентрации этих веществ на поверхности твердого тела (адсорбция), либо путем поглощения вещества из раствора или смеси газов твердыми телами или жидкостями (абсорбция) или путем химического взаимодействия растворенных веществ с твердым телом (хемосорбция).

Флотация – это выделение из загрязненных вод примесей путем придания им плавучести за счет флотореагента, обволакивающего частички примесей и удаляемого из воды вместе с ними.

Ионный обмен — это обратимая химическая реакция, при которой происходит обмен ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором электролита. Ионный обмен – извлечение из водных растворов различных катионов и анионов при помощи ионитов – твердых природных или искусственных материалов, трудно растворимых в воде и в органических растворителях, или искусственных смол, способных к ионному обмену.

Кристаллизация – очистка сточной воды с помощью отсадки загрязнений в виде кристаллов.

Коагуляция – это осветление и обесцвечивание сточных вод с использованием реагентов (флокулянтов и коагулянтов), вызывающих превращение взвешенных и коллоидных веществ в хлопья, с увеличением размера частиц, которые при осаждении (отстаивании) увлекают нерастворимые тонкодисперсные вещества в осадок.

Диализ – разделение истинно растворенных веществ и коллоидов с помощью специальных мелкопористых перегородок, не пропускающих коллоиды.

Дезодорация – удаление запахов путем аэрирования, хлорирования и озонирования.

Различают деструктивные методы. Загрязняющие воду вещества подвергаются разрушению (путем окисления), образующиеся при этом продукты удаляются из воды в виде газов или осадков.

Деструктивные методы применяются для сточных вод с органическими примесями или в качестве доочистки после регенерационных методов. Основным из разрушающих методов является метод биологического окисления в аэробных или анаэробных условиях [4].

Технические воды, которые не поддаются очистке перечисленными методами или если эти методы неприменимы по технико-экономическим показателям, подвергаются выпариванию, сжиганию или закачке в глубокие поглощающие пласты.

Выпаривание применимо при получении товарной продукции, для уменьшения объема вредных веществ, а также для обессоливания воды [5].

Метод очистки вод обуславливается их количественной и качественной характеристикой, а так же местными условиями. Обычно выбирают простые в эксплуатации и экономичные процессы очистки, которые позволяют извлекать ценные вещества и использовать очищенные сточные воды для технического водоснабжения.

## **1.2 Теория процесса**

Выпаривание – концентрация раствора с помощью удаления из раствора растворителя, и концентрирование нелетучего твердого вещества.

Выпаривание используют чтобы провести кристаллизацию (нелетучие вещества выделяются в твердом состоянии), дистилляцию (выделить растворенные вещества) или концентрацию растворов нелетучих веществ [6].

Концентрированные растворы и твердые вещества, получаемые в результате выпаривания, легче и дешевле перерабатывать, хранить и транспортировать.

Тепло для выпаривания подводится любыми теплоносителями, применяемыми при нагревании. В большинстве случаев в качестве греющего агента, при выпаривании, используют водяной пар (называют греющим или первичным).

Пар, который образуется при выпаривании кипящего раствора – вторичный пар. Тепло, необходимое для выпаривания раствора, обычно подводится через стенку, отделяющую теплоноситель от раствора.

Сущность выпаривания заключается в переводе растворителя в парообразное состояние и отводе полученного пара от оставшегося сконцентрированного раствора. Выпаривание проводится при кипении, в условиях, когда давление пара над раствором равно давлению в рабочем объеме аппарата.

Концентрирование растворов методом выпаривания – один из наиболее распространенных технологических процессов в химической, металлургической, пищевой отраслях промышленности.

На выпаривание растворов расходуется огромное количество тепла, а на создание выпарных установок – большое количество углеродистых и легированных сталей, никеля и других металлов. Поэтому в каждом конкретном случае необходима рациональная организация процесса выпаривания, что позволяет обеспечить максимальную производительность выпарной установки при минимальных затратах тепла и металла [6].

### 1.3 Основные технологические схемы

Процесс выпаривания проводится в аппарате однократного или многократного действия. В промышленных условиях наиболее распространены аппараты многократного действия. В последнем случае расход топлива на выпаривание значительно снижается [7].

Принцип действия многокорпусных аппаратов заключается в многократном использовании тепла греющего пара, который поступает в первый корпус установки, с помощью последовательного соединения нескольких одно корпусных аппаратов, позволяющем применять вторичный пар каждого предыдущего корпуса для обогрева следующего.

Для осуществления такого использования одного и того же количества тепла требуется, чтобы температура вторичных паров каждого последующего корпуса была выше температуры кипения раствора в последующем корпусе.

С этой целью устанавливается сравнительно высокая температура кипения в первом корпусе и температура 50-60° С в последнем корпусе выпарной установки под разрежением, который соединяется с конденсатором, снабженным вакуум-насосом.

Если греющий пар и жидкий раствор поступают в первый, «головной», корпус выпарной установки, то последняя называется прямоточной.

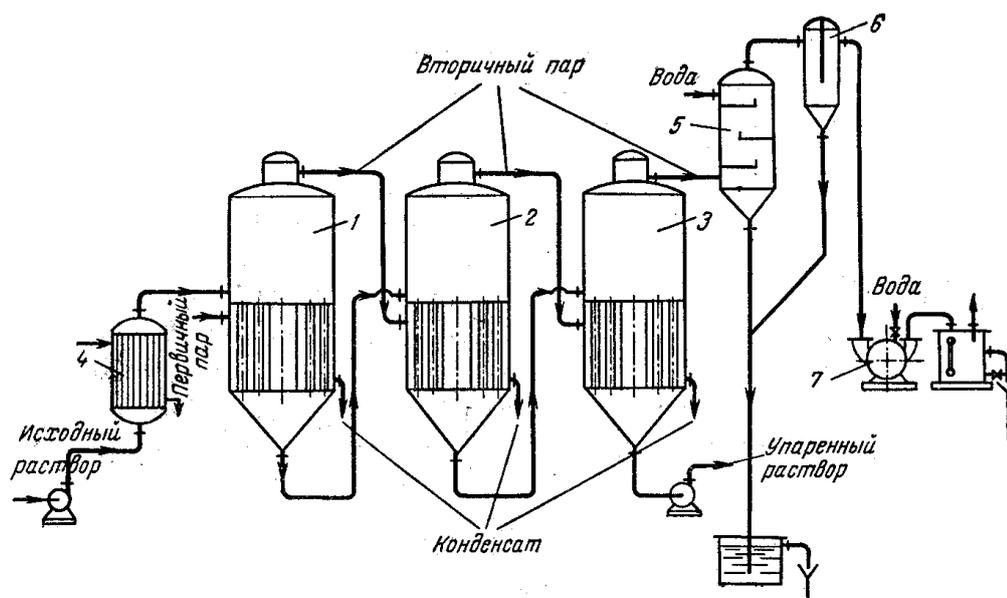


Рисунок 1 – Многокорпусная прямоточная вакуум - выпарная установка: 1,2,3 – корпус установки; 4 – подогреватель исходного раствора; 5 – барометрический конденсатор; 6 – ловушка; 7 – вакуум-насос

По такому принципу работает большинство выпарных установок. Установка называется противоточной если греющий пар поступает в первый по порядку корпус, а жидкий раствор - в последний и переходит из последнего корпуса к первому, то.

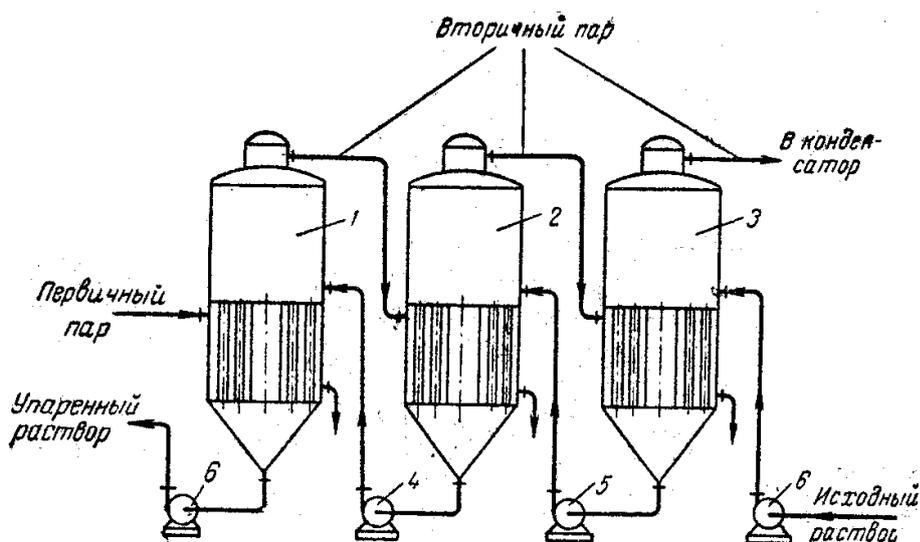


Рисунок 2 – Многокорпусная противоточная выпарная установка:  
1-3 – корпуса установки; 4-6 – насосы

Такое встречное движение раствора и пара применяется в случае упаривания растворов с высокой вязкостью и большой температурной депрессией в целях повышения коэффициентов теплопередачи. Параллельно усложняется и обслуживание аппарата так, как подобная схема требует установки между каждыми двумя корпусами установки насосов для перекачки раствора, движущегося по направлению возрастающих давлений, не говоря уже об дополнительных затратах на расход энергии на насосы.

При выпаривании растворов, их перевод из корпуса в корпус может способствовать закупорке соединительных трубопроводов и нарушением стабильной работы установки. Часто используют аппараты с параллельным питанием корпусов. Раствор выпаривают до конечной концентрации в каждом аппарате, а пар, движется последовательно по направлению от первого корпуса к конечному. В этом же направлении снижаются рабочие давления и температуры каления раствора в корпусах [8].

В химической промышленности применяются в основном непрерывно-действующие выпарные установки. В производствах малого масштаба, а также при выпаривании растворов до высоких конечных концентрации; иногда используют аппараты периодического действия.

При периодической выпарке в аппарат загружают определенное количество раствора начальной концентрации, подогревают до температуры кипения и выпаривают до заданной концентрации. Упаренный раствор удаляют из аппарата, вновь заполняют его свежим раствором и процесс повторяют.

Установки периодического действия обычно выполняются в виде отдельных аппаратов. Осуществить многоступенчатую выпарную установку с выпарными аппаратами периодического действия невозможно, так как не удастся согласовать режимы работы и производительность отдельных аппаратов.

Используемые в технологических цепочках схемы многокорпусных выпарных аппаратов различают по давлению вторичного пара в последнем

корпусе. По этому признаку установки делятся на работающие под разрежением, под избыточным и атмосферном давлениях. Выбор давления исходит из свойств выпариваемого раствора и возможностью использования тепла вторичного пара.

Потребляя пар относительно высокого давления и неоднократно используя его теплосодержание для выпаривания воды из раствора, выпарные установки могут израсходовать почти все количество потребляемого вторичного пара в виде экстра-паров более низких давлений, отбираемых из корпусов, что происходит в многокорпусных аппаратах без всякого ущерба для основного процесса.

Аппараты, в которых последняя ступень находится под некоторым избыточным давлением называются выпарными установками с противодавлением. Снижение давления вторичного пара последней ступени связано со снижением полезного перепада температур на установку, т.е. приводит к снижению использования пара, что уменьшает экономические показатели.

В выпарных установках под разрежением получают, большой перепад температур между паром, греющим первую ступень и вторичным паром последней ступени, что позволяет применить наибольшую кратность использования пара в установке, но связано с потерей тепла со вторичным паром последней ступени, который из выпарной установки направляется непосредственно в конденсатор.

Применяются и выпарные аппараты с ухудшенным вакуумом. В этих схемах предусматривается частичное использование вторичного пара последней ступени для покрытия тепловой нагрузки низкого потенциала, остальная часть пара направляется в конденсатор. При выпаривании под вакуумом температура кипения снижается, что используется при сгущении растворов, для которых нельзя допустить высоких температур кипения.

При выпаривании под атмосферным давлением (проводят в однокорпусных выпарных установках) вторичный пар используется и

обычно удаляется в атмосферу. Этот способ наиболее прост, но наименее экономичен.

Многокорпусная установка помогает существенно уменьшить расход тепла за счет многократного использования пара. Предельно выгодное или оптимальное число корпусов зависит одновременно от расхода пара и его стоимости, от единовременной стоимости выпарной установки, срока ее амортизации и др. На практике число корпусов обычно не превышает 5-6 [8].

#### **1.4 Классификация выпарных аппаратов**

Самый распространенный вид выпарных аппаратов – высокопроизводительные выпарные аппараты непрерывного действия, чаще трубчатые выпарные аппараты различных типов. Нагревательные камеры этих аппаратов могут быть непосредственно соосно соединены с сепараторами в единое устройство. Возможно и устройство, состоящее из двух самостоятельных элементов: нагревательной камеры и сепаратора.

Выпарные аппараты классифицируются по различным признакам. Существенной является классификация по принципу организации циркуляции кипящего раствора в аппарате. Различают выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией раствора, пленочные и барботажные аппараты.

Достаточное перемешивание раствора в аппарате помогает интенсификации теплообмена. Увеличение скорости движения жидкости приводит к снижению толщины теплового пограничного слоя, уменьшается его термического сопротивления и увеличивается коэффициент теплоотдачи, а циркуляция раствора препятствует скорому отложению на стенках кипятильных труб твердой фазы (накипи), что дает возможность осуществлять выпаривание кристаллизующихся и высоковязких растворов.

### 1.4.1 Выпарные аппараты с естественной циркуляцией

Циркуляция раствора в таких аппаратах вызывается различием плотностей парожидкостной смеси в циркуляционной трубе и кипяtilьных трубах. Скорость (кратность) циркуляции здесь невелика (скорость движения парожидкостной смеси составляет 0,3-0,8 м/с). Поэтому коэффициенты теплопередачи также относительно низкие. Несмотря на достаточную простоту, аппараты этого типа заменяются на другие – с более интенсивной циркуляцией.

На рисунке 3 показан выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой. В этом аппарате циркуляционная труба не обогревается, следовательно раствор в ней не кипит и парожидкостная смесь не образуется. Разность плотностей парожидкостной смеси в кипяtilьных трубах 1 и раствора в циркуляционной трубе больше, чем в аппаратах с центральной циркуляционной трубой, поэтому кратность циркуляции и коэффициенты теплопередачи несколько выше. Повышение скорости движения парожидкостной смеси в кипяtilьных трубах уменьшает возможность отложения солей, которые могут выделяться при концентрировании растворов [9].

Существенного снижения отложения солей можно достичь при использовании аппаратов с вынесенной зоной кипения. В таких аппаратах вследствие увеличенного гидростатического давления столба жидкости кипения в трубах нагревательной камеры не происходит, упариваемый раствор только перегревается. При выходе перегретого раствора из этих труб в трубу вскипания он попадает в зону пониженного гидростатического давления, где и происходит интенсивное его закипание.

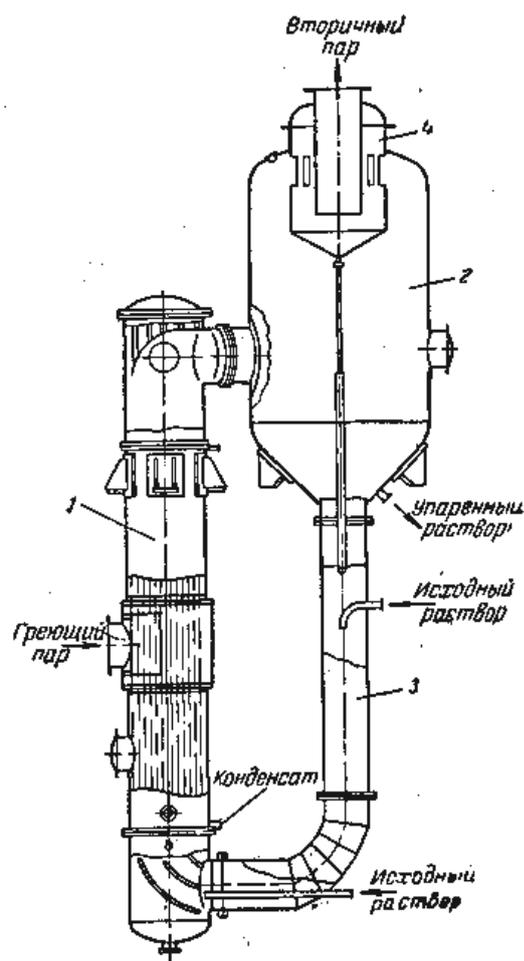


Рисунок 3 – Выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой:

1 – нагревательная камера; 2 – циркуляционная труба;

3 – центробежный брызгоуловитель; 4 – сепарационное (паровое) пространство

#### 1.4.2 Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией

Высокие кратности циркуляции, соответствующие скоростям движения парожидкостной смеси более 2-2,5 м/с, достигаются в выпарных аппаратах с принудительной циркуляцией (рисунок 4). Повышение кратности циркуляции обеспечивается размещением в циркуляционной трубе осевых насосов, обладающих высокой производительностью. В аппаратах с принудительной циркуляцией можно с успехом концентрировать высоковязкие или кристаллизующиеся растворы.

В ряде случаев выпарные аппараты с принудительной циркуляцией выполняют с вынесенной нагревательной камерой. Появляется возможность производить замену нагревательной камеры при ее загрязнении, а иногда к одному сепаратору подсоединять две или три нагревательные камеры. Роль зоны вскипания выполняет труба, соединяющая нагревательную камеру и сепаратор. Преимуществом выпарного аппарата с соосными греющей камерой и сепаратором является меньшая производственная площадь, необходимая для его размещения.

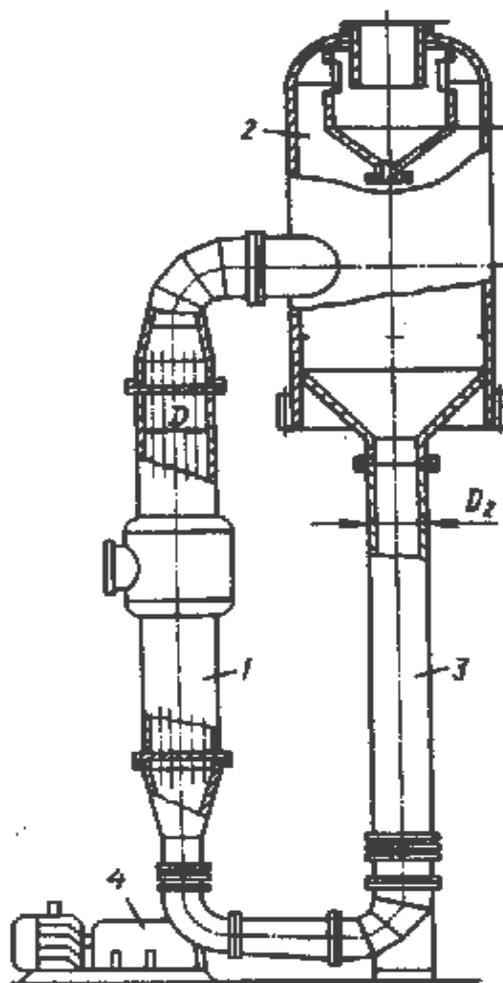


Рисунок 4 – Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией и вынесенной нагревательной камерой:

1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляционная труба; 4 – электронасосный агрегат

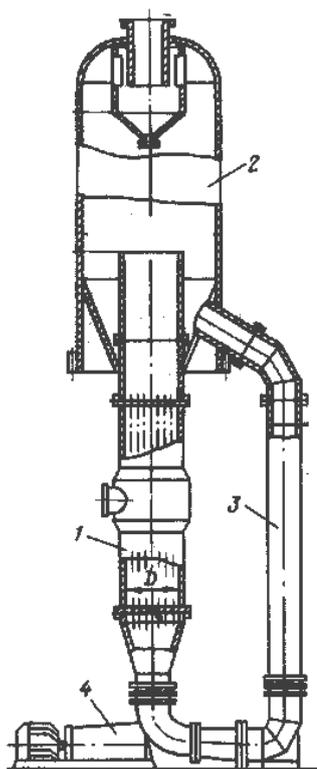


Рисунок 5 – Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией и вынесенной циркуляционной трубой:

1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляционная труба; 4 - электронасосный агрегат

К недостаткам выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией следует отнести повышенный расход энергии, связанный с необходимостью работы циркуляционного насоса.

### 1.4.3 Пленочные выпарные аппараты

Их относят к группе аппаратов, работающих без циркуляции; процесс выпаривания осуществляется за один проход жидкости по кипяtilным трубам, причем раствор движется в них в виде восходящей или нисходящей пленки жидкости. Как правило, эти аппараты работают при прямоточном движении раствора и образующегося вторичного пара, который занимает центральную часть труб. В связи с этим здесь отсутствует гидростатический столб парожидкостной смеси и, следовательно, гидростатическая депрессия.

Для обеспечения заданных пределов изменения концентраций упариваемых растворов кипяtilьные трубы делают длинными (6-10 м).

Выпарной аппарат с восходящей пленкой жидкости (рис. 6) работает следующим образом. Снизу заполняют раствором трубы на  $1/4$  и  $1/5$  их высоты, подают греющий пар, который вызывает интенсивное кипение. Выделяющийся вторичный пар, поднимаясь по трубам, за счет сил поверхностного трения увлекает за собой раствор. В сепараторе пар и раствор отделяются друг от друга.

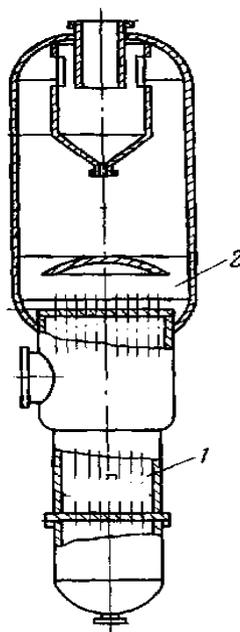


Рисунок 6 – Выпарные пленочные аппараты с восходящей пленкой жидкости:

1 – греющая камера; 2 – сепаратор

В выпарном аппарате с нисходящей пленкой жидкости (рис. 7) исходный раствор подают в верхнюю часть греющей камеры 1, где обычно расположен распределитель жидкости, из которого последняя по трубам стекает вниз. Образующийся вторичный пар также движется в нижнюю часть нагревательной камеры, откуда вместе с жидкостью попадает в сепаратор 2 для отделения от раствора.

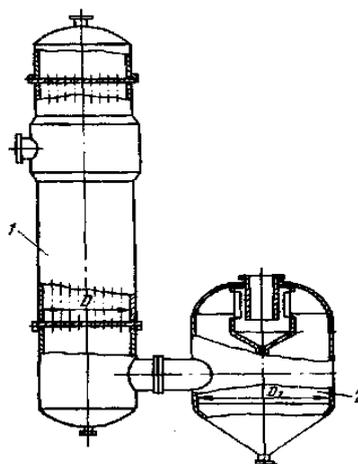


Рисунок 7 – Выпарные пленочные аппараты с нисходящей пленкой жидкости:

1 – греющая камера; 2 – сепаратор

Для снижения температуры кипения раствора процесс, как правило, проводят под вакуумом. В этих аппаратах удастся упаривать также растворы, склонные к интенсивному пенообразованию. Вместе с этим пленочным аппаратам свойствен ряд недостатков. Они очень чувствительны к изменениям нагрузок по жидкости, в особенности при малых расходах растворов. Существует определенный минимальный расход раствора, ниже которого не удастся достигнуть полного смачивания поверхности теплопередачи. Это может приводить к местным перегревам трубок, выделению твердых осадков, резкому снижению интенсивности теплопередачи. В таких аппаратах не рекомендуется выпаривать кристаллизующиеся растворы. Для них также требуются большие производственные площади.

Всем трубчатым выпарным аппаратам свойствен существенный недостаток: в них затруднительно, а часто и практически невозможно выпаривать агрессивные растворы. Для таких растворов применяют аппараты, в которых отсутствуют теплопередающие поверхности, а процесс теплообмена осуществляют путем непосредственного соприкосновения теплоносителя (нагретых или топочных газов) с упариваемым раствором [9].

## **2 Объект и методы исследования**

Материал для исследования: Вода, 10 % раствор фторида аммония в воде.

Растворимость  $\text{NH}_4\text{F}$ : 41,5 г на 100г воды при 25 °С

Температура кипения  $\text{NH}_4\text{F}$  = 240 °С;

Температура кипения  $\text{H}_2\text{O}$  = 100 °С.

### **2.1 Описание экспериментальной установки.**

Экспериментальная установка (рисунок 8) состоит из электрической плитки, на которой происходит нагревание водяной бани. Обогрев чаши с упариваемым раствором ведется равномерно. От емкости упаривания отходит отводная трубка. Горло колбы плотно закрывают пробкой с вставленным в нее термометром, при этом резервуар с ртутью должен быть на уровне отверстия отводной трубки.

Конец отводной трубки через плотно подогнанную пробку вставляют в холодильник, на другом конце которого укрепляют аллонж. Суженный конец аллонжа опускают в приемник так, чтобы вода скрывала половину аллонжа.

Нижний конец рубашки холодильника подсоединяют с помощью резинового шланга к водопроводному крану, а от верхнего конца делают отвод в раковину для слива. Рубашка холодильника всегда должна быть заполнена водой.

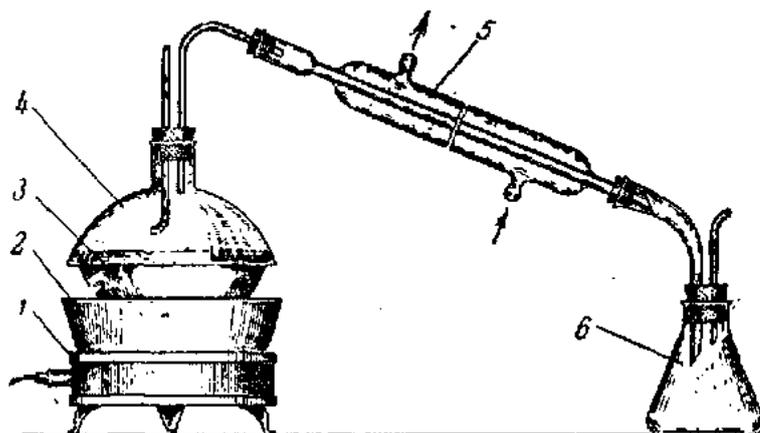


Рисунок 8 – Схема прибора для выпаривания летучих веществ:

1 – электрическая плитка; 2 – баня; 3 – выпарительная чашка; 4 – колпак; 5 – холодильник; 6 – приемник

После выпаривания, конденсату дают остыть и проводят осаждение фтора. Получившийся осадок отправляют на фильтрацию.

Метод пригоден как для сбора осадка, так и для получения чистого фильтрата. Отсасывание способствует более полному отделению осадка от жидкости и облегчает процесс промывки твердого продукта.

Простейший прибор для фильтрования под вакуумом (рисунок 9) состоит из фарфоровой или стеклянной воронки с перфорированной (дырчатой) перегородкой — воронки Бюхнера — и специальной конической колбы с боковым отводом — колбы Бунзена. Несомненными преимуществами обладают воронки с впаянными пластинками из пористого стекла — воронки Шотта.

Перед началом фильтрования в воронку помещают круглый фильтр из бумаги или другого подходящего материала. Необходимо, чтобы диаметр фильтра был равен диаметру перегородки. Фильтр должен ложиться без складок и закрывать все отверстия. Воронку вставляют в колбу на резиновой пробке. Отросток колбы соединяют вакуумным резиновым шлангом с предохранительным сосудом, который соединен с вакуумным насосом [10].

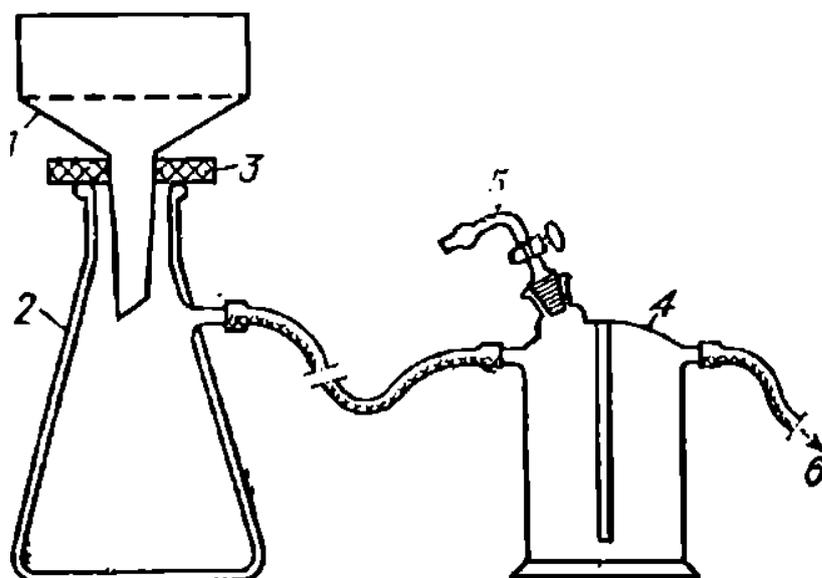


Рисунок 9. Прибор для фильтрования с отсасыванием:

- 1 – воронка Бюхнера; 2 – колба Бунзена; 3 – кольцо из вакуумной резины; 4 – предохранительная склянка (склянка Тищенко для жидкостей);  
5 – край для впуска воздуха; 6 – отвод к водоструйному насосу.

## 2.2 Методы анализа

**Методика определения  $\text{NH}_3$ :** отбираем 20 мл анализируемого раствора в 250 мл стакан. Доливаем этим же шприцом 20 мл чистой воды. Добавляем к этому раствору 10 капель фенол фтолеинового раствора индикатор Ф/Ф (Срок годности раствора Ф/Ф 90 суток). Раствор приобретает устойчивую малиновую окраску. Бюреткой по капле приливаем 2н раствор серной кислоты. Титрование проводим до нейтрализации аммиака в растворе, это свидетельствует об исчезновении малиновой окраски. Определяем объем потраченной на нейтрализацию серной кислоты. Производим расчет концентрации аммиака:

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{C_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{V_{\text{NH}_3}} \quad (2.2.1)$$

Полученное значение получается в моль/л, умножаем его на 17 г/моль, получаем значение концентрации в г/л, смотрим таблице соответствия содержания г/л процентному, % масс.

**Методика определения фторид ионов в растворе:** отбираем 100 мл анализируемого раствора. Приливаем к раствору 130 мл насыщенного раствора хлорида кальция. Так как хлорид кальция высоко растворимая соль (растворимость в воде 74,5 г/100 мл), то для достижения полноты осаждения следует добавлять в избытке хлорид кальция. Осаждение фторида кальция происходит медленно.

Для максимального выделения  $F^-$  в осадок образец оставляют на несколько часов. Осадок получается белым студенистым. Осадок  $CaF_2$  отфильтровываем, просушиваем на плитке, для удаления воды. Взвешиваем осадок.

### **2.3 Порядок проведения эксперимента.**

В ходе проведения опытов изначально для чистоты эксперимента и выяснения, более подходящего материала для изготовления аппарата, была поставлена задача испытать наиболее известные и доступные конструкционные материалы. Для реализации поставленных задач, были выбраны три колбы:

1. Стеклоянная колба
2. Железная колба
4. Тефлоновая колба.

Приготовливали раствор объемом 300 мл, с концентрацией 10 %  $NH_4F$ . После того как приготовили, на разогретую плиту устанавливали емкость для раствора и упаривали с 300 мл до 50 мл.

Процесс выпаривания длится 3-4 часа.

После того как выпаривание закончено, раствор остывал и определяли количество аммиака в конденсате с помощью методики определения  $\text{NH}_3$ , далее определяем содержание фторид ионов в растворе.

## 2.4 Термодинамика процесса

Термодинамический анализ химической реакции дает возможность установить, какие из реакций в рассматриваемой системе при заданных температурах, давлениях, концентрациях могут самопроизвольно, то есть без затраты внешних сил, каков предел самопроизвольного их протекания и как нужно изменять эти условия, чтобы процесс мог идти в нужном направлении.

Термодинамические параметры реакции определяются термодинамическими свойствами веществ, участвующих в реакциях. Важнейшими из этих свойств являются внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, теплоемкость, энергия Гиббса [11].

Таблица 3 – Стандартные энтальпии и энтропии образования соединений при  $298^\circ\text{K}$

Вещество	$M$ , г/моль	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$C_P^0$ 298, Дж/(моль·К)	$\Delta S_{273}^0$ , Дж/моль·°К
$\text{NH}_3$	17	-46,19	35,56	192,63
$\text{H}_2\text{O}$	18	-286,34	75,30	70
$\text{NH}_4\text{OH}$	35	-361,27	154,89	165,65
$\text{NH}_4\text{F}$	37	-463,59	65,27	65,27
$\text{NH}_4\text{HF}_2$	57	-759,14	106,69	115,52

Возможные реакции :





Тепловой эффект реакции:

$$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = \sum(n_i \cdot \Delta H^0_{\text{f}})_{\text{прод.}} - \sum(n_i \cdot \Delta H^0_{\text{f}})_{\text{исх.}} \quad (2.4.4)$$

где  $\Delta H^0_{\text{х.р.}}$  – тепловой эффект реакции, (кДж/моль);

$n_i$  – число молей вещества  $i$ , равное стехиометрическому коэффициенту;

$\Delta H^0_{\text{f}}$  – изменение теплоты образования.

Изменение теплоты образования зависит от температуры как:

$$\Delta H^0_{\text{T}} = \Delta H^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p d(T) = \Delta H_0 + \Delta aT + \frac{1}{2} \Delta bT^2 - \Delta c'T^{-1} \quad (2.4.5)$$

так как  $C_p^0 = f(T)$  выражается как:

$$C_p = a + bT - c'T^{-2} \quad (2.4.6)$$

где  $a, b, c$  – табличные данные

$$\Delta S^0_{\text{х.р.}} = \sum(n_i \cdot \Delta S^0_{\text{f}})_{\text{прод.}} - \sum(n_i \cdot \Delta S^0_{\text{f}})_{\text{исх.}} \quad (2.4.7)$$

где  $\Delta S^0_{\text{х.р.}}$  – энтропия химической реакции, (Дж/моль · °К);

$\Delta S^0_{\text{f}}$  – энтропия образования одного моля вещества, (Дж/моль · °К);

$$\Delta G_{\text{х.р.}} = \Delta H_{\text{х.р.}} - T \cdot \Delta S_{\text{х.р.}} \quad (2.2.8)$$

где  $\Delta G_{\text{х.р.}}$  – энергия Гиббса, (кДж/моль);

$$\text{Lg}K_p = - \frac{\Delta G}{2,3RT} \quad (2.4.9)$$

где  $K_p$  – константа химического равновесия;

$R$  – универсальная газовая постоянная, ( $R = 8,31$  Дж/моль · °К);

$T$  – температура при которой протекает процесс.

Таблица 4 – Результаты расчётов термодинамических величин

Номер реакции	$\Delta H^0_{\text{х.р.}}$ , кДж/моль	$\Delta S^0$ , Дж/моль · °К	$\Delta G_{\text{х.р.}}$ , кДж/моль
			температура, °К
			431
1	-28,47	-96,98	-16,34
2	28,47	96,98	16,34
3	-465	29,68	-478,06

По данным термодинамических расчетов вычислим значения  $K_p$  при разных температурах протекания процесса результаты представим в виде таблицы:

Таблица 5 – Значения  $K_p$  при температуре протекания процесса

Номер реакции	$LgK_p$	$K_p$
1	0,019	-1,72
2	-0,019	-
3	0,057	-1,24

По вычисленным значениям  $K_p$  можно сделать вывод: значения константы равновесия почти во всех реакциях меньше единицы, следовательно, в этих реакциях равновесие сминуто в сторону образования исходных продуктов реакции.

## 2.5 Кинетика процесса

Химическая кинетика – это учение о химическом процессе, его механизме и закономерностях протекания во времени.

**Прибор для исследований:** кинетическая установка.

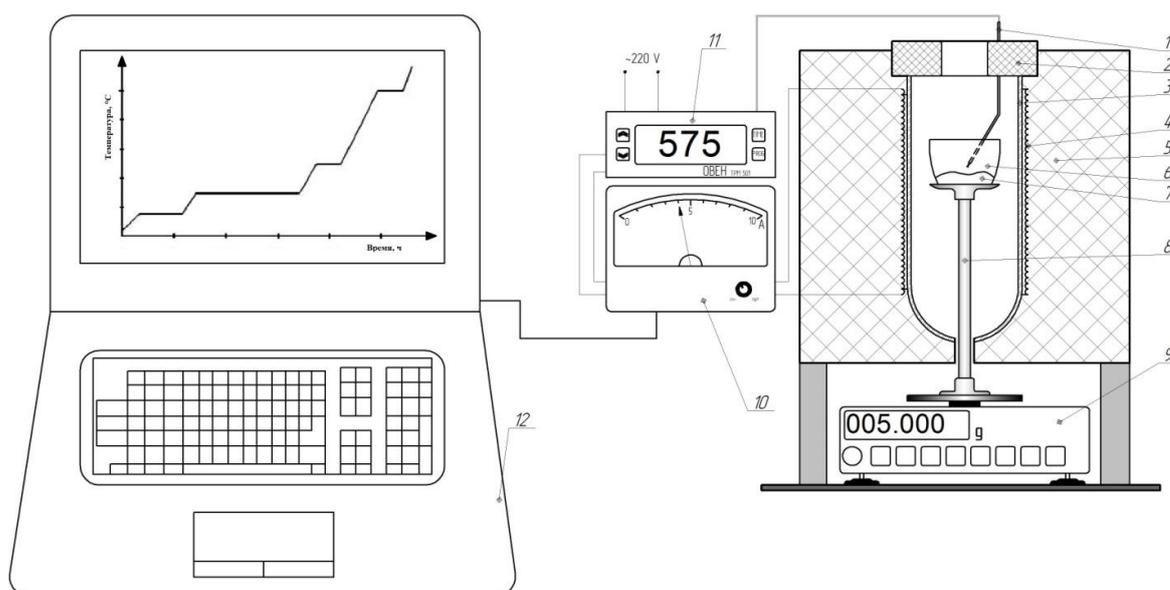


Рисунок 10 – Схема кинетической установки:

1 – термопара; 2 – крышка; 3 – кварцевая трубка; 4 – ТЭН; 5 – теплоизоляция; 6 – платиновый тигель; 7 – навеска исследуемой смеси; 8 – подставка; 9 – электронные весы; 10 – амперметр; 11 – программный терморегулятор «Овен» ТРМ 501; 12 – персональный компьютер.

В платиновый тигель приливают исследуемого раствора, помещают в установку, плотно закрывают крышкой. Установка подключена к персональному компьютеру. Программный терморегулятор позволяет регулировать температуру нагрева внутри аппарата. Отклонением стрелки амперметра от аппарата регулируют степень нагрева камеры. После того, как температура в аппарате достигнет установленного максимума, стрелка амперметра падает, тем самым нагрев камеры прекращается. Масса упаренной воды регистрируется каждые 5 секунд. Эксперимент длится 30 минут. Кинетику процесса испарения необходимо исследовать в интервале температур от 100 °С до 300 °С.

Определение кинетических параметров сводится к измерению скорости реакции при различных температурах, её определяют как изменение массы одного из реагирующих веществ во времени.

Степень удаления влаги из раствора определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \quad (2.5.1)$$

где:  $m_0$  – начальная масса вещества;

$m_t$  – масса вещества через время  $t$  после начала реакции

### **3 Расчеты и аналитика**

#### **3.1 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы**

Последовательность технологических операций, которые происходят на всем производстве:

1. Гидрофторирование;
2. Улавливание реакционных газов и их очистка;
3. Сублимационная очистка;
4. Гидрометаллургия и сушка;
5. Пигментная обработка и прокалка;
6. Регенерация ГДФА;
7. Пирогидролиз;
8. Водоподготовка.

Процесс концентрирования  $\text{NH}_4\text{F}$  сопровождается его разложением с выделением аммиака и образованием ГДФА.

Фильтрационный раствор после фильтрации направляют на упаривание раствор содержит порядка 10-15 % фторида аммония и имеет рН 11-12, его нейтрализуют раствором фтористого водорода после пирогидролиза остатков сублимации (в основном железо). Упаривание проводят до содержания по фториду аммония 60 %, т.е. упаривают до снижения объема в 6 раз. Выпаривание осуществляют в выпарной установке. 60 % это пересыщенный раствор. По мере повышения концентрации температура кипения растет. Больше 60 % упаривание не целесообразно.

Насыщенный раствор охлаждают, в результате выпадают кристаллы. Фильтрацией отделяют кристаллы фторида аммония их сушат при и направляют на фторирование. Пар при упаривании содержит значительное количество аммиака его направляют на очистку, для получения аммиака

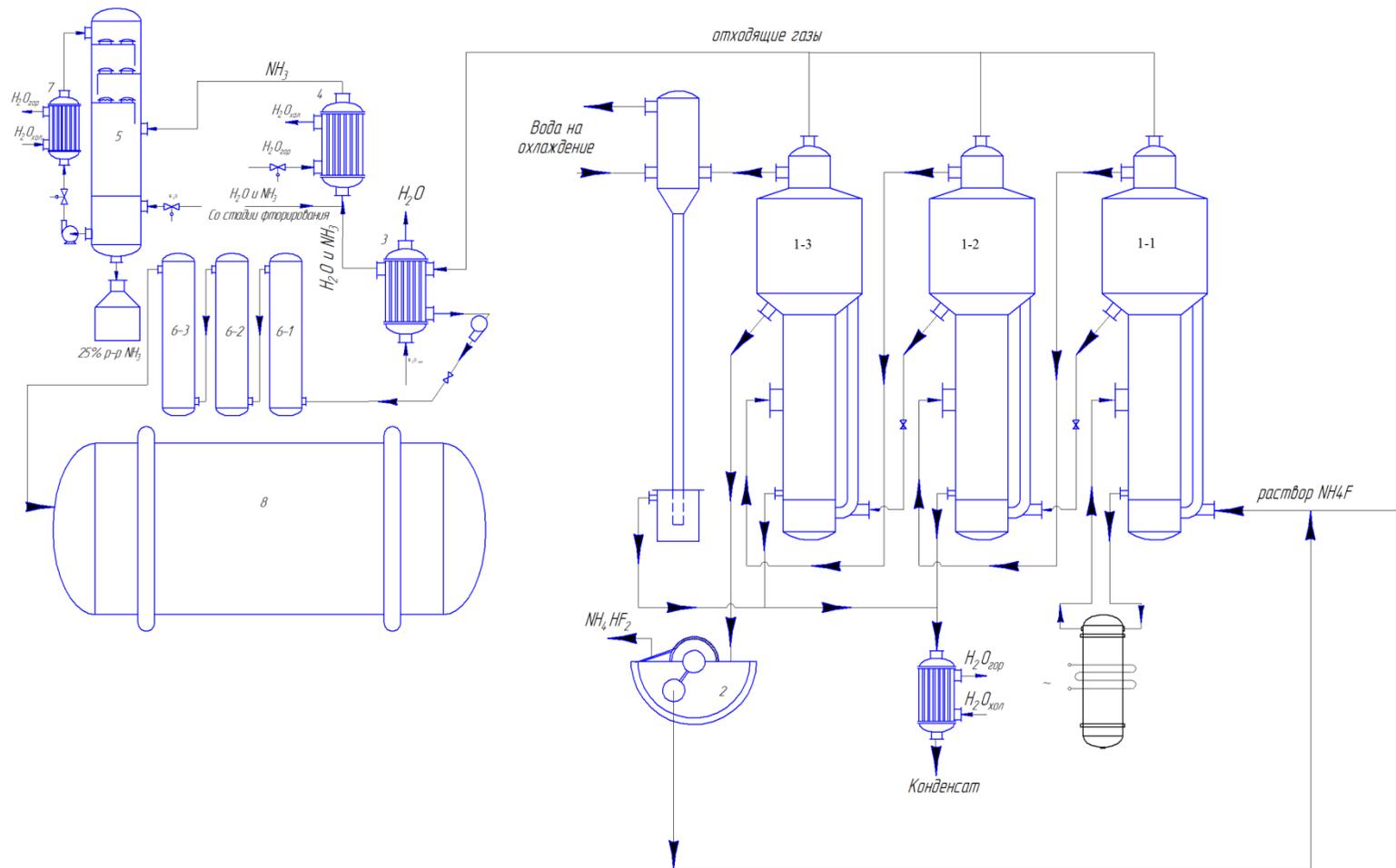


Рисунок 11 – Аппаратурно-технологическая схема

1 – выпарной аппарат; 2 – вакуум фильтр; 3 – конденсатор; 4 – нагревающий теплообменник; 5 – ректификационная колонна; 6 – система водоочистки (обратный осмос); 7 – охлаждающий теплообменник; 8 – накопительная емкость.

## 3.2 Материальный баланс

### 3.2.1 Материальный баланс стадии фторирования

Титановые концентраты имеют одинаковый состав, но соотношение компонентов у них различно. В связи с особенностями технологии подразумевается использование практически любого титан содержащего сырья без предъявления требований к наличию хромофорных примесей.

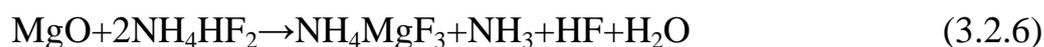
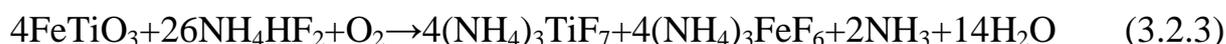
Расчет количества фторида ведется на образование предельных фтораммонийных комплексов. Различные литературные источники указывают, что гидрофторирование следует вести в 30-80 % избытке по фториду аммония. Практика показала, что использование 30 % избытка по фториду аммония вполне достаточно для обеспечения приемлемой степени гидрофторирования титанового сырья в 85-97 %.

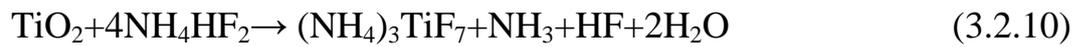
Содержание элементов в оксидной форме в Туганском концентрате представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание элементов в оксидной форме Туганском концентрате

Образец	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>	Цвет
%	4,53	1,19	28,31	0,37	10,9	51,38	0,39	2,93	черный

Примем, что процесс гидрофторирования ильменита протекает на 95%. Основные реакции, протекающие при взаимодействии концентратов:





$$m_{\text{FeTiO}_3} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{FeTiO}_3}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 51,38}{100} = 629,66 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{TiO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{TiO}_2}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 28,31}{100} = 346,94 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{CaO}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{CaO}}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 1,19}{100} = 14,58 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{MgO}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{MgO}}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 0,37}{100} = 4,53 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 4,53}{100} = 55,51 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{V}_2\text{O}_5} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{V}_2\text{O}_5}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 0,39}{100} = 4,78 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{MnO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{MnO}_2}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 2,93}{100} = 35,91 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{SiO}_2}}{100} = \frac{1225,49 \cdot 10,9}{100} = 133,58 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

На процесс фторирования, с учетом степени вскрытия  $\alpha = 95\%$  уходит количество реагентов:

$$m_{\text{FeTiO}_3} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{FeTiO}_3}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 51,38}{100} \cdot 0,95 = 598,17 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{TiO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{TiO}_2}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 28,31}{100} \cdot 0,95 = 329,59 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{CaO}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{CaO}}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 1,19}{100} \cdot 0,95 = 13,85 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

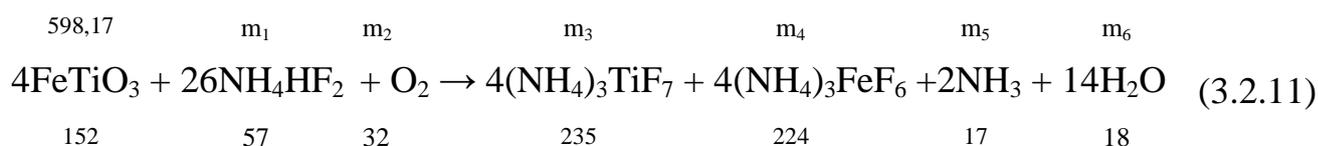
$$m_{\text{MgO}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{MgO}}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 0,37}{100} \cdot 0,95 = 4,31 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 4,53}{100} \cdot 0,95 = 52,74 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{V}_2\text{O}_5} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{V}_2\text{O}_5}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 0,39}{100} \cdot 0,95 = 4,54 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{MnO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{MnO}_2}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 2,93}{100} \cdot 0,95 = 34,11 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{SiO}_2}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 10,9}{100} \cdot 0,95 = 126,90 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$



$$m_1 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot 26 \cdot M_{\text{NH}_4\text{HF}_2}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 26 \cdot 57}{4 \cdot 152} = 1458,04 \text{ кг/ч};$$

$$m_2 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot M_{\text{O}_2}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 32}{4 \cdot 152} = 31,48 \text{ кг/ч};$$

$$m_3 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot 4 \cdot M_{(\text{NH}_4)_3\text{TiF}_7}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 4 \cdot 235}{4 \cdot 152} = 924,80 \text{ кг/ч};$$

$$m_4 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot 4 \cdot M_{(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 4 \cdot 224}{4 \cdot 152} = 881,51 \text{ кг/ч};$$

$$m_5 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot 2 \cdot M_{\text{NH}_3}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 2 \cdot 17}{4 \cdot 152} = 33,45 \text{ кг/ч};$$

$$m_6 = \frac{m_{\text{FeTiO}_3} \cdot 14 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{4 \cdot M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{598,17 \cdot 14 \cdot 18}{4 \cdot 152} = 247,93 \text{ кг/ч}$$

Таблица 7 – Материальный баланс процесса гидрофторирования ильменита

Приход				Расход			
№ п/ п	Статья прихода	$m_i$ , кг/час	%	№ п/ п	Статья расхода	$m_i$ , кг/час	%
1	Ильменитовый концентрат, в том числе			1	Твердый продукт, в том числе		
	FeTiO <sub>3</sub>	629,66	11,92		(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> TiF <sub>7</sub>	1892,98	35,83
	SiO <sub>2</sub>	133,58	6,57		(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> FeF <sub>6</sub>	881,52	16,69
	TiO <sub>2</sub>	346,94	0,28		CaF <sub>2</sub>	19,30	0,37
	CaO	14,58	1,05		NH <sub>4</sub> AlF <sub>4</sub>	125,13	2,37
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,51	0,09		NH <sub>4</sub> MgF <sub>3</sub>	10,66	0,20
	MgO	4,53	0,68		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MnF <sub>6</sub>	80,38	1,52
	MnO <sub>2</sub>	35,91	0,09		(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> SiF <sub>7</sub>	454,72	8,61
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,78	2,53		NH <sub>4</sub> VOF <sub>4</sub>	8,03	0,15

2	Реагент, в том числе NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub>	4025,58	76,21	2	Газы, в том числе NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O HF	170,57 522,16 126,85	3,23 9,88 2,40
3	Окислитель, в том числе O <sub>2</sub>	31,48	0,60	3	Избыток NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub>	928,98	17,59
				4	Непрореагировавший реагент, в том числе FeTiO <sub>3</sub> V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO MnO <sub>2</sub>	31,48 17,35 0,73 2,78 0,23 1,80 0,24 6,68	0,60 0,33 0,01 0,05 0,01 0,03 0,00 0,13
	Итого:	5282,55	100		Итого:	5282,55	100

### 3.2.2 Материальный баланс основного аппарата

Таблица 8 – материальный баланс процесса концентрирования раствора фторида аммония

Приход				Расход			
№	Вещество	кг/час	%	№	Вещество	г/час	%
1	Раствор, в том числе:			1	Насыщенный раствор, в том числе:		
	NH <sub>4</sub> F с SiO <sub>2</sub>	1186,28	7,31		NH <sub>4</sub> F	3134,065	19,302
	H <sub>2</sub> O с SiO <sub>2</sub>	4490,12	27,65		H <sub>2</sub> O	2089,377	12,868
	NH <sub>3</sub> с SiO <sub>2</sub>	14,25	0,09				
	NH <sub>4</sub> F с TiO <sub>2</sub>	1947,79	11,99				
	H <sub>2</sub> O с TiO <sub>2</sub>	8544,02	52,62				
	NH <sub>3</sub> с TiO <sub>2</sub>	54,76	0,34				
	Итого	16237,22	100	2	Пар, в том числе:		
					H <sub>2</sub> O	10944,764	67,405
					NH <sub>3</sub>	69,004	0,425
					Итого	16237,22	100

### 3.3 Расчет теплового баланса

Расчет тепловых потоков проводится на основании уравнения теплового баланса, которое в общем виде запишется по формуле:

$$\sum Q_{\text{прих.}} = \sum Q_{\text{расх}} \quad (3.3.1)$$

где  $\sum Q_{\text{прих.}}$  – количество тепла, вносимое в аппарат с исходными веществами и нагревателем, кДж/ч;

$\sum Q_{\text{расх.}}$  – количество тепла, уносимое из аппарата продуктами, идущее на нагрев аппарата и теряемое в окружающую среду, кДж/ч [4].

#### 1. Тепло вносимое в реактор исходными веществами:

$$Q_{\text{вн}} = \frac{(G \cdot C_p \cdot T_{\text{вн}})}{M} \quad (3.3.2)$$

где  $G$  – расход вещества, кг/ч;

$C_p$  – теплоемкость вещества, Дж/(моль·К);

$T$  – температура вещества, К;

$M$  – молекулярная масса вещества, г/моль.

Начальная температура всех вносимых реактивов 298 К:

$$\text{NH}_4\text{F}: Q_1 = \frac{3134,07 \cdot 65,27 \cdot 298 \cdot 1000}{37} = 1647540 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{NH}_3: Q_2 = \frac{69,01 \cdot 4,75 \cdot 298 \cdot 1000}{17} = 5746 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{H}_2\text{O}: Q_3 = \frac{13034,14 \cdot 75,3 \cdot 298 \cdot 1000}{18} = 16248793 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_i^{\text{вн}} = 1647540 + 5746 + 16248793 = 17902079 \text{ кДж/ч}$$

#### 2. Тепло, необходимое для нагрева до температуры реакции:

$$Q_i^{\text{наг. до Треак.}} = \frac{(G \cdot C_p \cdot \Delta T)}{M} \quad (3.3.3)$$

где  $\Delta T = T_{\text{реак}} - T_{\text{вх}}$ ;

$$T_{\text{реак}} = 298^\circ \text{ К} \quad T_{\text{вх}} = 440^\circ \text{ К}$$

$$\text{NH}_4\text{F}: Q_1 = \frac{3134,07 \cdot 65,27 \cdot (440 - 298) \cdot 1000}{37} = 785070,97 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{NH}_3: Q_2 = \frac{69,01 \cdot 4,75 \cdot (440 - 298) \cdot 1000}{17} = 2738,07 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{H}_2\text{O}: Q_3 = \frac{13034,14 \cdot 75,3 \cdot (440 - 298) \cdot 1000}{18} = 7742713,20 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_i^{\text{наг. до Тreak.}} = 785070,97 + 2738,07 + 7742713,20 = 1562022,20 \text{ кДж/ч}$$

3. Тепло, необходимое для протекания реакций:

Теплоту реакции определим по формуле:

$$Q_{\text{х.р}} = \frac{-G \cdot \alpha \cdot \Delta H \cdot 1000}{M_i} \quad (3.3.4)$$

где  $G$  – расход вещества, кг/ч;

$\alpha$  – степень реагирования;

$\Delta H$  – теплота реакции, кДж/моль;

$M_i$  – молярная масса вещества, г/моль.

В аппарате при температуре 440 ° К протекают следующие реакции:



$$Q_{\text{xp1}} = \frac{-(13034,14 \cdot 1 \cdot (-28,47) \cdot 1000)}{18} = 20615664,77 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{\text{xp2}} = \frac{-(3134,07 \cdot 1 \cdot (-465) \cdot 1000)}{37} = 39387636,49 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{\text{xp}} = 20615664,77 + 39387636,49 = 60003301,26 \text{ кДж/ч}$$

3. Тепло, выносимое веществами из реактора:

$$Q_i^{\text{вын}} = \frac{G_i \cdot C_p \cdot T_{\text{вын}}}{M_i} \quad (3.3.7)$$

где  $G$  – расход вещества, кг/ч;

$C_p$  – теплоемкость вещества, Дж/(моль·К);

$T$  – конечная температура вещества, К.

$$\text{NH}_4\text{F}: Q_1 = \frac{3134,07 \cdot 65,27 \cdot 440 \cdot 1000}{37} = 2432614,311 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{NH}_3: Q_2 = \frac{69,01 \cdot 4,75 \cdot 440 \cdot 1000}{17} = 8484,170 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{H}_2\text{O}: Q_3 = \frac{13034,14 \cdot 75,3 \cdot 440 \cdot 1000}{18} = 23991507,026 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_i^{\text{вын}} = 2432614,311 + 8484,170 + 23991507,026 = 26432000 \text{ кДж/ч}$$

4. Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{\text{потерь}} = (Q_i^{\text{нагр}} + Q_i^{\text{вын}}) \cdot 0,1 \quad (3.3.8)$$

$$Q_{\text{потерь}} = (17902079 + 1562022,20) \cdot 0,1 = 1946410,10 \text{ кДж/ч}$$

5. Теплота, вносимая электрическим обогревом:

$$Q_{\text{эл.}} = \frac{Q_i^{\text{нагр}}}{0,75} \quad (3.3.9)$$

где  $Q_i^{\text{нагр}} = Q_i^{\text{расх}} - Q_i^{\text{прих}}$ ; 0,75 – КПД ТЭНов.

$$Q_i^{\text{нагр}} = 72041654,56 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{\text{эл.}} = \frac{72041654,56}{0,75} = 96055539,41 \text{ кДж}$$

Из расчетов теплового баланса видно, что для протекания реакции необходимо сообщить реакционной смеси 96055539,41 кДж тепла или 26682,09 кВт/ч электроэнергии с учетом тепловых потерь в окружающую среду.

Таблица 9 – Тепловой баланс

Приход				Расход			
№	Статья	Q, кДж/ч	%	№	Статья	Q, кДж/ч	%
1	$Q_i^{\text{вын}}$	17902079	19,90	1	$Q_i^{\text{вын}}$	26432000	29,40
2	$Q_i^{\text{нагр}}$	72041654,56	80,10	2	$Q_i^{\text{нагр. до Треак.}}$	1562022,20	1,74
				3	$Q_i^{\text{х.р.}}$	60003301,26	66,70
				4	$Q_i^{\text{потерь}}$	1946410,10	2,16
<b>Итого</b>		89943733,56	100	<b>Итого</b>		89943733,56	100

### 3.4 Расчет основного аппарата

#### 3.4.1 Расчет теплопередачи выпарной установки

Поверхность теплопередачи каждого корпуса выпарной установки определяют по основному уравнению теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{(K \cdot \Delta t_n)} \quad (3.4.1.1)$$

Для определения тепловых нагрузок  $Q$ , коэффициентов теплопередачи  $K$  и полезных разностей температур  $\Delta t_n$  необходимо знать распределение упариваемой воды, концентраций растворов и их температур кипения по корпусам. Эти величины находят методом последовательных приближений.

Производительность установки по выпариваемой воде определяют из уравнения материального баланса:

$$W = G_n \cdot \left(1 - \frac{x_n}{x_k}\right) \quad (3.4.1.2)$$

$$W = 5,1 \cdot \left(1 - \frac{10}{60}\right) = 4,3 \text{ кг/с.}$$

### 3.4.2 Концентрации упариваемого раствора

Распределение концентраций раствора по корпусам установки зависит от соотношения нагрузок по выпариваемой воде в каждом аппарате. В первом приближении на основании практических данных принимают, что производительность по выпариваемой воде распределяется между корпусами в соответствии с соотношением:

$$w_1 : w_2 : w_3 = 1,0 : 1,1 : 1,2 \quad (3.4.2.1)$$

Тогда,

$$w_1 = \frac{1,0 \cdot W}{(1,0+1,1+1,2)} = 1,30 \text{ кг/с;}$$

$$w_2 = \frac{1,1 \cdot W}{(1,0+1,1+1,2)} = 1,43 \text{ кг/с;}$$

$$w_3 = \frac{1,2 \cdot W}{(1,0+1,1+1,2)} = 1,56 \text{ кг/с.}$$

Далее рассчитывают концентрации растворов в корпусах:

$$X_1 = \frac{G_H X_H}{(G_H - w_1)} = \frac{5,1 \cdot 0,1}{(5,1 - 1,3)} = 0,13 \text{ (13 \%)};$$

$$X_2 = \frac{G_{HXH}}{(G_H - w_1 - w_2)} = \frac{5,1 \cdot 0,1}{(5,1 - 1,3 - 1,43)} = 0,22 \text{ (22\%)};$$

$$X_3 = \frac{G_{HXH}}{(G_H - w_1 - w_2 - w_3)} = \frac{5,1 \cdot 0,1}{(5,1 - 1,3 - 1,43 - 1,56)} = 0,60 \text{ (60\%)}.$$

$X_3$  соответствует заданной концентрации упаренного раствора  $x_k$ .

### 3.4.3 Определение температур кипения растворов

В общий перепад давлений распределяют между корпусами поровну.

Общий перепад давлений в установке равен:

$$\Delta P_{об} = P_{г1} - P_{бк} = 650\,000 - 15\,000 = 635\,000 \text{ Па.}$$

Общий перепад давлений распределяют между корпусами поровну.

Тогда давления греющих паров в корпусах равны:

$$P_{г2} = P_{г1} - \frac{\Delta P_{об}}{3} = 650\,000 - \frac{635\,000}{3} = 440\,000 \text{ Па;}$$

$$P_{г3} = P_{г2} - \frac{\Delta P_{об}}{3} = 440\,000 - \frac{635\,000}{3} = 227\,000 \text{ Па.}$$

Давление пара в барометрическом конденсаторе

$$P_{бк} = P_{г3} - \frac{\Delta P_{об}}{3} = 227\,000 - \frac{635\,000}{3} = 20\,000 \text{ Па, что соответствует}$$

заданному значению  $P_{бк}$ .

Таблица 10 – зависимость температуры и энтальпии от давления паров [12]:

Р, Па	t, °С	I, кДж/кг
$P_{г1} = 650\,000$	$t_{г1} = 161,15$	$I_1 = 2759,5$
$P_{г2} = 440\,000$	$t_{г2} = 136,02$	$I_2 = 2741,8$
$P_{г3} = 227\,000$	$t_{г3} = 123,06$	$I_3 = 2710,68$
$P_{бк} = 20\,000$	$t_{бк} = 53,88$	$I_{бк} = 2598,43$

При определении температуры кипения растворов в аппаратах исходят из следующих допущений. Распределение концентраций раствора в выпарном аппарате с интенсивной циркуляцией практически соответствует модели идеального перемешивания. Поэтому концентрацию кипящего раствора принимают равной конечной в данном корпусе и, следовательно, температуру кипения раствора определяют при конечной концентрации.

Изменение температуры кипения по высоте кипяtilьных труб происходит вследствие изменения гидростатического давления столба жидкости. Температуру кипения раствора в корпусе принимают соответствующей температуре кипения в среднем слое жидкости. Таким образом, температура кипения раствора в корпусе отличается от температуры греющего пара в следующем корпусе на сумму температурных потерь  $\sum\Delta$  от температурной ( $\Delta'$ ), гидростатической ( $\Delta''$ ) и гидродинамической ( $\Delta'''$ ) депрессий ( $\sum\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$ ).

Принимаем для каждого корпуса  $\Delta''' = 1$  град.

Температуры вторичных паров в корпусах равны:

$$t_{\text{вп1}} = t_{\text{г2}} + \Delta_1''' = 161,15 + 1,0 = 162,15 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{вп2}} = t_{\text{г3}} + \Delta_2''' = 136,02 + 1,0 = 137,02 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{вп3}} = t_{\text{бк}} + \Delta_3''' = 53,88 + 1,0 = 54,88 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Сумма гидродинамических депрессий:

$$\sum\Delta''' = \Delta_1''' + \Delta_2''' + \Delta_3''' = 1,0 + 1,0 + 1,0 = 3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По температурам вторичных паров определим их давления. Они равны соответственно:

$$P_{\text{вп1}} = 345 \text{ 000 Па};$$

$$P_{\text{вп2}} = 204 \text{ 000 Па};$$

$$P_{\text{вп3}} = 15 \text{ 700 Па}.$$

Гидростатическая депрессия обусловлена разностью давлений в среднем слое кипящего раствора и на его поверхности. Давление в среднем слое кипящего раствора  $P_{cp}$  каждого корпуса определяется по уравнению.

$$P_{cp} = P_{вп} + \frac{\rho g H (1 - \varepsilon)}{2} \quad (4.4.3.1)$$

где  $H$  – высота кипяtilьных труб в аппарате, м;

$\rho$  – плотность кипящего раствора, кг/м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – паронаполнение (объемная доля пара в кипящем растворе), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для выбора значения  $H$  необходимо ориентировочно оценить поверхность теплопередачи выпарного аппарата  $F_{op}$ . Примем удельную тепловую нагрузку аппарата ( $q$ ) равной 20 000 Вт/м<sup>3</sup>. тогда поверхность теплопередачи 1-го корпуса ориентировочно равна:

$$F_{op} = \frac{Q}{q} = \frac{w_1 \cdot r_1}{q} \quad (4.4.3.2)$$

где  $r_1$  – теплота парообразования вторичного пара, Дж/кг.

$$F_{op} = \frac{1,3 \cdot 3562 \cdot 10^3}{2000} = 232 \text{ м}^3$$

По [13] трубчатые аппараты с естественной циркуляцией с сосной греющей камерой (тип 1, исполнение 1) состоят из кипяtilьных труб высотой 3 и 4 м при диаметре  $d_n = 38$  мм и толщине стенки  $\delta_{ст} = 2$  мм. Примем высоту кипяtilьных труб  $H = 4$  м.

Примем паронаполнение ( $\varepsilon$ ) равным 0,5. плотность водных растворов, в том числе раствора  $NH_4F$ , при температуре 20 °С и соответствующих концентрациях в корпусах равна:

$$\rho_1 = 945 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_2 = 920 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_3 = 810 \text{ кг/м}^3.$$

При определении плотности растворов в корпусах пренебрегаем изменением ее с повышением температуры от 20 °С до температуры кипения

ввиду малого значения коэффициента объемного расширения и ориентировочно принятого значения  $\varepsilon$ .

Давления в среднем слое кипящих труб корпусов равны:

$$P_{1cp} = P_{вп1} + \frac{\rho_1 g H (1 - \varepsilon)}{2} = 345\,000 + \frac{4 \cdot 9,8 \cdot 945 \cdot (1 - 0,5)}{2} = 354\,200 \text{ Па};$$

$$P_{2cp} = P_{вп2} + \frac{\rho_2 g H (1 - \varepsilon)}{2} = 204\,000 + \frac{4 \cdot 9,8 \cdot 920 \cdot (1 - 0,5)}{2} = 213\,000 \text{ Па};$$

$$P_{3cp} = P_{вп3} + \frac{\rho_3 g H (1 - \varepsilon)}{2} = 15\,700 + \frac{4 \cdot 9,8 \cdot 810 \cdot (1 - 0,5)}{2} = 24\,000 \text{ Па}.$$

Таблица 11 – температуры кипения и теплоты испарения растворителя [12]:

P, МПа	t, °C	r, кДж/кг
$P_{1cp} = 0,354$	$t_{1cp} = 150,26$	$r_{вп1} = 2125,8$
$P_{2cp} = 0,213$	$t_{2cp} = 124,53$	$r_{вп2} = 2176,3$
$P_{3cp} = 0,024$	$t_{3cp} = 66,56$	$r_{вп3} = 2337,8$

Определим гидростатическую депрессию по корпусам:

$$\Delta_1'' = t_{1cp} - t_{вп1} = 150,26 - 137,02 = 13,24 \text{ °C};$$

$$\Delta_2'' = t_{2cp} - t_{вп2} = 124,53 - 124,06 = 0,47 \text{ °C};$$

$$\Delta_3'' = t_{3cp} - t_{вп3} = 66,56 - 54,88 = 11,68 \text{ °C}.$$

Сумма гидростатических депрессий

$$\sum \Delta'' = \Delta_1'' + \Delta_2'' + \Delta_3'' = 13,24 + 0,47 + 11,68 = 25,39 \text{ °C}.$$

Температурную депрессию определим по уравнению

$$\Delta' = \frac{1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta'_{атм} \cdot T^2}{r_{вп}} \quad (4.4.3.3)$$

где T – температура паров в среднем слое кипящих труб, К;

$\Delta'_{атм}$  – температурная депрессия при атмосферном давлении [14].

Находим значение  $\Delta'$  по корпусам:

$$\Delta'_1 = \frac{1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (150,26 + 273,0)^2 \cdot 3,34}{2125,8} = 6,15 \text{ °C};$$

$$\Delta'_2 = \frac{1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (124,53 + 273,0)^2 \cdot 5,62}{2176,3} = 6,32 \text{ °C};$$

$$\Delta'_3 = \frac{1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (66,56 + 273,0)^2 \cdot 23,6}{2337,8} = 18,87 \text{ °C}.$$

Сумма температурных депрессий

$$\sum \Delta' = \Delta_1' + \Delta_2' + \Delta_3' = 6,15 + 6,32 + 18,87 = 31,34 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуры кипения растворов в корпусах равны:

$$t_{к1} = t_{г2} + \Delta_1' + \Delta_1'' + \Delta_1''' = 136,02 + 6,15 + 13,24 + 1,0 = 156,41 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{к2} = t_{г3} + \Delta_2' + \Delta_2'' + \Delta_2''' = 123,06 + 6,35 + 0,47 + 1,0 = 130,85 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{к3} = t_{бк} + \Delta_3' + \Delta_3'' + \Delta_3''' = 53,88 + 18,87 + 11,68 + 1,0 = 85,43 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 3.4.4 Полезная разность температур

Общая полезная разность температур равна

$$\sum \Delta t_{п} = \Delta t_{п1} + \Delta t_{п2} + \Delta t_{п3}.$$

Полезные разности температур по корпусам равны:

$$\Delta t_{п1} = t_{г1} - t_{к1} = 161,15 - 156,41 = 4,74 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{п2} = t_{г2} - t_{к2} = 136,02 - 130,85 = 5,17 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{п3} = t_{г3} - t_{к3} = 123,06 - 85,43 = 37,63 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тогда общая полезная разность температур

$$\sum \Delta t_{п} = 4,74 + 5,17 + 37,63 = 47,54 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Проверим общую полезную разницу температур:

$$\sum \Delta t_{п} = t_{г1} - t_{бк} - (\sum \Delta' + \sum \Delta'' + \sum \Delta''') = 161,15 - 53,88 - (31,34 + 25,39 + 3) = 47,54 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 3.4.5 Определение тепловых нагрузок

$$Q_1 = D(I_{r1} - i_1) = 1,03 [G_n c_n (t_{к1} - t_n) + \omega_1 (I_{ен1} - c_6 t_{к1}) + Q_{1конц}] \quad (3.4.5.1)$$

$$Q_2 = \omega_1 (I_{r2} - i_2) = 1,03 [(G_n - \omega_1) c_1 (t_{к2} - t_{к1}) + \omega_2 (I_{ен2} - c_6 t_{к2}) + Q_{2конц}] \quad (3.4.5.2)$$

$$Q_3 = \omega_2 (I_{r3} - i_3) = 1,03 [(G_n - \omega_1 - \omega_2) c_2 (t_{к3} - t_{к2}) + \omega_3 (I_{ен3} - c_6 t_{к3}) + Q_{3конц}] \quad (3.4.5.3)$$

$$W = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 \quad (3.4.5.4)$$

где 1,03 – коэффициент, учитывающий 3% потерь тепла в окружающую среду;

$c_1, c_2$  – теплоёмкости растворов соответственно в первом и во втором корпусах, кДж/(кг·К) [14];

$Q_{1\text{конц}}, Q_{2\text{конц}}, Q_{3\text{конц}}$ , - теплоты концентрирования по корпусам, кВт;  $t_n$  – температура кипения исходного раствора при давлении в 1-м корпусе;

$t_n = t_{\text{вп1}} + \Delta'_n = 137,02 + 1,0 = 138,02$  °С (где  $\Delta'_n$  – температурная депрессия для исходного раствора); принимаем, что  $I_{\text{вп1}} \approx I_{r2}; I_{\text{вп2}} \approx I_{r3}; I_{\text{вп3}} \approx I_{\text{бк}}$ ;

Анализ зависимостей теплоты концентрирования от концентрации и температуры [15] показал, что она наибольшая для третьего корпуса. Поскольку  $Q_{3\text{конц}}$  составляет меньше 3% от  $Q_{3\text{ор}}$ , в уравнениях тепловых балансов по корпусам пренебрегаем величиной  $Q_{\text{конц}}$ .

Решение системы уравнений даёт следующие результаты:

$$D = 1,33 \text{ кг/с}; \quad w_1 = 1,20 \text{ кг/с}; \quad w_2 = 1,37 \text{ кг/с}; \quad w_3 = 1,52 \text{ кг/с}$$

$$Q_1 = 3797 \text{ кВт}; \quad Q_2 = 3119 \text{ кВт}; \quad Q_3 = 3701 \text{ кВт}$$

Таблица 12 – Результаты расчетов

Параметр	1 корпус	2 корпус	3 корпус
Производительность по испаряемой воде, $\omega$ , кг/с	1,30	1,43	1,56
Концентрация растворов, $x$ , %	13	21	60
Давление греющих паров $P_r$ , МПа	0,650	0,440	0,227
Температура греющих паров $t_r$ , °С	161,150	136,020	123,060
Температура кипения растворов, °С	156,260	124,530	66,560
Полезная разность температур, $\Delta_n$ , °С	4,740	5,170	37,630

Наибольшее отклонение вычисленных нагрузок по испаряемой воде в каждом корпусе от предварительно принятых не превышает 3%, поэтому не будем пересчитывать концентрации и температуры кипения растворов по корпусам.

### 3.4.6 Выбор конструкционного материала

Выбираем конструкционный материал, стойкий в среде кипящего раствора  $\text{NH}_4\text{A}$  в интервале изменения концентраций от 10 до 60 %. В этих условиях химически стойкой является сталь марки 12X17. Скорость коррозии ее не менее 0,1 мм/год, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{ст}} = 25,1$  Вт/(м · К) [16].

### 3.4.7 Расчет коэффициентов теплопередачи

Коэффициент теплопередачи для I корпуса определяют по уравнению аддитивности термических сопротивлений:

$$K_1 = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \quad (4.4.7.1)$$

Примем, что суммарное термическое сопротивление равно термическому сопротивлению стенки  $\sum \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}}$  и накипи  $\delta_{\text{н}}/\lambda_{\text{н}}$ . Термическое сопротивление загрязнений со стороны пара не учитываем.

Получим:

$$\sum \delta/\lambda = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке  $\alpha_1$  равен [12]:

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(r_1 \rho_{\text{ж}1}^2 \lambda_{\text{ж}1}^3) / (\mu_{\text{ж}1} H \Delta t_1)}, \quad (1.6)$$

где  $r_1$  – теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

$\rho_{\text{ж}1}$ ,  $\lambda_{\text{ж}1}$ ,  $\mu_{\text{ж}1}$  – соответственно плотность (кг/м<sup>3</sup>), теплопроводность (Вт/(м · К)), вязкость (Па · с) конденсата при средней температуре пленки  $t_{\text{пл}} = t_{\text{г}1} - \Delta t_1/2$ , где  $\Delta t_1$  – разность температур конденсации пара и стенки.

Расчет  $\alpha_1$  ведут методом последовательных приближений.

Примем  $\Delta t_1 = 10$  град.

Тогда

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(923 \cdot 10^3 \cdot 923^2 \cdot 0,67^3) / (0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10)} = 2652 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Для установившегося процесса передачи тепла справедливо уравнение

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \Delta t_{\text{ст}} / (\sum \delta / \lambda) = \alpha_2 \cdot \Delta t_2,$$

где  $q$  – удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{ст}}$  – перепад температур на стенке, град.;

$\Delta t_2$  – разность между температурой стенки со стороны раствора и температурой кипения раствора, град.

Отсюда

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \delta / \lambda = 2652 \cdot 10 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7,6 \text{ град.}$$

Тогда

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{пл}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t = 3,7 \text{ град.}$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору для пузырькового кипения в вертикальных кипятильных трубках при условии естественной циркуляции раствора [17] равен:

$$\alpha_2 = A \cdot q^{0,6} = 780 \cdot q^{0,6} \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{\text{пл}}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{\text{ст}}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} \quad (1.7)$$

Подставив численные значения, получим:

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \frac{0,69^{1,3} \cdot 945^{0,5} \cdot 0,098^{0,06}}{0,099^{0,5} \cdot (2337,8 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 2269^{0,3} \cdot (0,7 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 2434 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Проверим правильность первого приближения по равенству удельных тепловых нагрузок:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 2652 \cdot 10 = 26520 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2434 \cdot 9,2 = 22392,8 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Как видим,  $q' = q''$ .

Т.к. расхождение между тепловыми нагрузками не превышает 3 %, находим коэффициент  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{1}{1/29480 + 2,87 \cdot 10^{-4} + 1/31593} = 2832,86 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Далее рассчитаем коэффициент теплопередачи для второго и третьего корпусов

$$K_1:K_2:K_3=1:0,58:0,34$$

$$\text{Отсюда } K_2=K_1 \cdot 0,58=2832,86 \cdot 0,58=1643,06$$

$$K_3=K_2 \cdot 0,34/0,58=963,17$$

В соответствии с [13] выбираем выпарной аппарат.

Таблица 13 – характеристики выпарного аппарата

Номинальная поверхность теплообмена $F_n$ , м <sup>2</sup>	315
Диаметр труб $d$ , мм	38×2
Высота труб $H$ , мм	4000
Диаметр греющей камеры $d_k$ , мм	1600
Диаметр сепаратора $d_c$ , мм	3600
Диаметр циркуляционной трубы $d_{ц}$ , мм	1000
Общая высота аппарата $H_a$ , мм	15000
Масса аппарата $M_a$ , кг	21000

### 3.4.8 Определение толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции  $\delta_n$  находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду:

$$\alpha_g(t_{cm2} - t_g) = (\lambda_u / \delta_u)(t_{cm1} - t_{cm2}) \quad (3.4.8.1)$$

где  $\alpha_g = 9,3 + 0,058 \cdot t_{cm2}$  – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t_{ct2}$  – температура изоляции со стороны окружающей среды; для аппарата, работающего в закрытом помещении,  $t_{ct2}$  принимаем равным 40 °С;

$t_{ct1}$  – температура изоляции со стороны аппарата; ввиду незначительного термического сопротивления стенки аппарата по сравнению

с термическим сопротивлением слоя изоляции  $t_{ст1}$  примем равным температуре греющего пара в 1 корпусе  $t_{г1}$ ;

$t_b$  – температура окружающей среды (воздуха), °С;

$\lambda_{и}$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м·К).

Рассчитаем толщину тепловой изоляции для 1-го корпуса:

$$\alpha_s = 9,3 + 0,058 \cdot 40 = 11,62 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющий коэффициент теплопроводности  $\lambda_{и}=0,09$  Вт/(м·К) [17].

Тогда получим:

$$\delta_u = \frac{0,09 \cdot (133,89 - 40)}{11,6 \cdot (40 - 20)} = 0,05 \text{ м}$$

Принимаем толщину тепловой изоляции 0,06 м для других корпусов [19].

### 3.4.9 Расход охлаждающей воды

Расход охлаждающей воды  $G_b$  определяют из теплового баланса конденсатора:

$$G_b = \frac{\omega_3(I_{б.к} - c_6 t_k)}{c_6(t_k - t_n)} \quad (3.4.9.1)$$

где  $I_{б.к}$  – энтальпия паров в барометрическом конденсаторе, Дж/кг;

$t_n$  – начальная температура охлаждающей воды, °С;

$t_k$  – конечная температура смеси воды и конденсатора, °С.

Разность температур между паром и жидкостью на выходе из конденсатора должна быть 3 – 5 град. Поэтому конечную температуру воды  $t_k$  на выходе из конденсатора примем за 3 град ниже температуры конденсации паров:

$$t_{\kappa} = t_{\bar{\sigma},\kappa} - 3 = 53,88 - 3 = 50,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Тогда

$$G_g = \frac{1,36 \cdot (2598430 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 50,88)}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (50,88 - 20)} = 25,1 \text{ кг/с}$$

### 3.4.10 Диаметр конденсатора

Диаметр барометрического конденсатора  $d_{\bar{\sigma},\kappa}$  определяют из уравнения расхода:

$$d_{\bar{\sigma},\kappa} = \sqrt{4\omega_3 / (\rho\pi v)} \quad (3.4.10.1)$$

где  $\rho$  – плотность паров, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость паров, м/с.

При остаточном давлении в конденсаторе порядка  $10^4$  Па скорость паров  $v = 15 - 25$  м/с.

Тогда

$$d_{\bar{\sigma},\kappa} = \sqrt{4 \cdot 1,36 / (0,45 \cdot 3,14 \cdot 20)} = 0,20$$

По нормальям [18] выбираем барометрический конденсатор диаметром  $d_{\bar{\sigma},\kappa} = 600$  мм.

### 3.4.11 Высота барометрической трубы

Скорость воды в барометрической трубе:

$$v = \frac{4(G_g - \omega_3)}{\rho\pi d_{\bar{\sigma},m}^2} = \frac{4 \cdot (25,1 + 1,36)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 1,94 \text{ м/с}$$

Высота барометрической трубы

$$H_{\bar{\sigma},m} = \frac{B}{\rho_g g} + \left( 1 + \sum \xi + \lambda \frac{H_{\bar{\sigma},m}}{d_{\bar{\sigma},m}} \right) \frac{v_g^2}{2g} + 0,5, \quad (3.4.11.1)$$

где  $B$  – вакуум в барометрическом конденсаторе, Па;

$\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

$\lambda$  – коэффициент трения в барометрической трубе;

0,5 – запас высоты на возможные изменения барометрического давления, м.

$$B = P_{атм} - P_{бк} = 9,8 \cdot 10^4 - 1,49 \cdot 10^4 = 8,31 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{вых} = 0,5 + 1 = 1,5$$

где  $\xi_{вх}$ ,  $\xi_{вых}$  – коэффициенты местных сопротивлений на входе в трубу и на выходе из неё.

Коэффициент трения  $\lambda$  зависит от режима течения жидкости. Определим режим течения воды в барометрической трубе:

$$Re = v_e d_{б.м} \rho_e / \mu_e = 1,94 \cdot 0,125 \cdot 1000 / (0,54 \cdot 10^{-3}) = 449074,07$$

Для гладких труб коэффициент трения  $\lambda = 0,013$

Подставив полученные значения, получим:

$$H_{б.м} = \frac{8,31 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,8} + \left( 1 + 1,5 + 0,013 \frac{H_{б.м}}{0,125} \right) \frac{1,94^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5$$

Отсюда находим  $H_{б.т} = 9,0$  м.

### 3.4.12 Расчёт производительности вакуум-насоса

Производительность вакуум-насоса  $G_{возд}$  определяется количеством газа (воздуха), который необходимо удалять из барометрического конденсатора:

$$G_{возд} = 2,5 \cdot 10^{-5} (\omega_3 + G_e) + 0,01 \omega_3, \quad (3.4.12.1)$$

где  $2,5 \cdot 10^{-5}$  – количество газа, выделяющегося из 1-го кг воды; количество газа, подсасываемого в конденсатор через неплотности, на 1 кг паров.

Тогда

$$G_{возд} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (1,56 + 25,1) + 0,01 \cdot 1,36 = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}$$

Объёмная производительность вакуум-насоса равна:

$$V_{возд} = R(273 + t_{возд}) G_{возд} / (M_{возд} P_{возд}), \quad (3.4.12.2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

$M_{\text{возд}}$  – молекулярная масса воздуха, кг/кмоль;

$t_{\text{возд}}$  – температура воздуха, °С;

$P_{\text{возд}}$  – парциальное давление сухого воздуха в барометрическом конденсаторе, Па.

Температуру воздуха рассчитывают по уравнению

$$t_{\text{возд}} = t_n + 4 + 0,1(t_k - t_n) = 20 + 4 + 0,1 \cdot (50,9 - 20) = 27,09 \text{ °С}$$

Давление воздуха равно:

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_n,$$

где  $P_n$  – давление сухого насыщенного пара (Па) при  $t_{\text{возд}} = 27,09 \text{ °С}$ .

Подставив получим:

$$P_{\text{возд}} = 0,16 \cdot 9,8 \cdot 10^4 - 0,0382 \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 1,12 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Тогда

$$V_{\text{возд}} = \frac{8310(273 + 27,09)2 \cdot 10^{-2}}{29 \cdot 1,12 \cdot 10^4} = 0,18 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 10,8 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$$

Зная объемную производительность  $V_{\text{возд}}$  и остаточное давление  $P_{\text{бк}}$  по [19] подбираем вакуум-насос типа ВВН-12 мощностью на валу  $N = 22 \text{ кВт}$ .

### 3.4.13 Механический расчет

Число нагревательных трубок диаметром  $38 \times 2$ , высотой 4 м:

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{ср}} L} \quad (3.4.13.1)$$

где  $d_{\text{ср}} = 0,036 \text{ м}$  – средний диаметр трубки.

$$n = \frac{315}{\pi \cdot 0,036 \cdot 4} = 70 \text{ шт.}$$

Толщина обечайки:

$$\delta = \frac{DP}{2\sigma\varphi + C_{\text{к}}} \quad (3.4.13.1)$$

где  $D = 1,6$  м – диаметр греющей камеры аппарата;

$P = 0,65$  МПа – давление греющего пара;

$\sigma = 138$  МН/м<sup>2</sup> – допускаемое напряжение для стали [20];

$\varphi = 0,8$  – коэффициент ослабления из-за сварного шва [20];

$C_k = 0,001$  м – поправка на коррозию.

$\delta = 1,6 \cdot 0,65 / 2 \cdot 138 \cdot 0,8 + 0,001 = 0,006$  м.

Согласно рекомендациям [20] принимаем толщину обечайки  $\delta = 6$  мм.

Выбираем опору с допускаемой нагрузкой 0,063 МН.

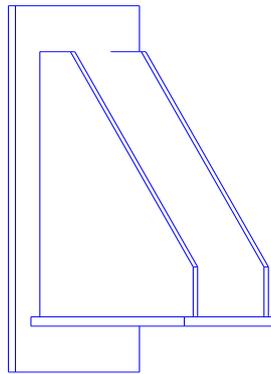


Рисунок 12 – опора выпарной установки

### 3.4.14 Гидравлический расчет.

Штуцер для входа исходной смеси:

$$\rho_{И} = 985 \text{ кг/м}^3$$

$$d_{ИСХ} = \sqrt{\frac{G_H}{0,785 \cdot 2 \cdot \rho_{И}}} \quad (3.4.14.1)$$

$$d_{ИСХ} = \sqrt{\frac{4,9}{0,785 \cdot 2 \cdot 985}} = 0,06 \text{ м}$$

Принимаем  $d_{ИСХ} = 120$  мм.

Штуцер для выхода упаренного раствора:

$$d_{УП} = \sqrt{\frac{G_H - w_1}{0,785 \cdot 0,7 \cdot \rho_{И}}} \quad (3.4.14.2)$$

$$d_{y\Pi} = \sqrt{\frac{4,9 - 1,3}{0,785 \cdot 0,7 \cdot 985}} = 0,08 \text{ м}$$

Принимаем  $d_{y\Pi} = 120$  мм.

Штуцер для выхода вторичного пара:

$$d_{BT} = \sqrt{\frac{w_1}{0,785 \cdot 15 \cdot \rho_{BT}}} \quad (3.4.14.3)$$

$$d_{BT} = \sqrt{\frac{1,3}{0,785 \cdot 15 \cdot 2,1}} = 0,230 \text{ м}$$

Принимаем  $d_{BT} = 120$  мм.

Штуцер для входа греющего пара:

Принимаем  $d_{\Gamma} = 600$  мм.

Штуцер для выхода конденсата:

Принимаем  $d_{\text{к}} = 150$  мм.

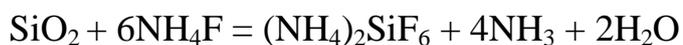
Все штуцера снабжаются плоскими приварными фланцами по [21].

## 4 Результаты проведенного исследования

Эксперименты по концентрированию раствора фторида аммония проводили в стеклянной, тефлоновой посуде и в железной таре, для того чтобы посмотреть, насколько точным будет выпаривание и отследить как аммиак взаимодействует с различными материалами.

### 1. Стеклянная посуда

В процессе выпаривания в стеклянной посуде определили, что фторид аммония при температуре более  $+150^{\circ}\text{C}$  взаимодействует с диоксидом кремния образуя гексафторсиликат аммония. Выделяются аммиак и пары воды:



Из-за выделения дополнительного аммиака, судить о точности эксперимента невозможно.

Происходит завышение результатов опыта.

Таблица 14 – Результаты проведенных опытов в стеклянной посуде.

Содержание $\text{NH}_3$ до опыта, %	Содержание $\text{NH}_3$ после опыта, %	Масса $\text{CaF}_2$ , г в 100 мл р-ра	Масса $\text{NH}_4\text{F}$ , г в 100 мл р-ра
3,3	5,6	0,125	0,3

### 2. Тефлоновая посуда

Разложение полимера начинается при температуре более  $300^{\circ}\text{C}$ . К недостаткам фторопласта относится его низкая теплопроводность, поэтому процесс выпаривания в посуде из него занимает больше времени, чем в посуде из стекла (при внешнем нагреве).

Взаимодействие с парами аммиака не происходит, и результаты являются более точными.

Таблица 15 – Результаты проведенных опытов в тефлоновой посуде.

Содержание $\text{NH}_3$ до опыта, %	Содержание $\text{NH}_3$ после опыта, %	Масса $\text{CaF}_2$ , г в 100 мл р-ра	Масса $\text{NH}_4\text{F}$ , г в 100 мл р-ра
3,3	3,3	0,13	0,13

### 3. Железная тара

Выпаривание раствора происходит быстрее из-за хорошей проводимости железом тепла. Взаимодействие паров аммиака с железом практически не происходит.

Таблица 16 – Результаты проведенных опытов в железной посуде

Содержание $\text{NH}_3$ до опыта, %	Содержание $\text{NH}_3$ после опыта, %	Масса $\text{CaF}_2$ , г в 100 мл	Масса $\text{NH}_4\text{F}$ , г в 100 мл р-ра
3,3	3,5	0,075	0,071

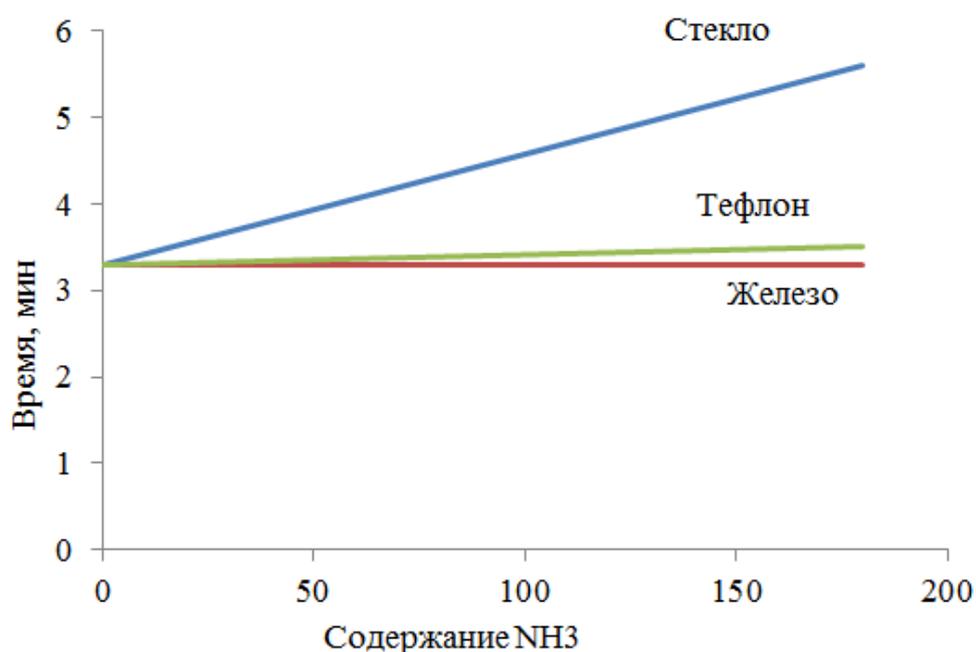


Рисунок 13 – зависимость изменения концентрации аммиака от времени в процессе выпаривания.

В ходе опыта нами было установлено, что наиболее подходящим материалом, для аппарата является химически стойкая сталь. Определен экспериментально оптимальный интервал температур выпаривания раствора. Он составил 111-168 °С

В опытах проводимых в кинетической установке в ходе обработки экспериментальных данных была составлена таблица зависимости степени удаления влаги из растворов от времени при различных значениях температуры. Полученные данные представлены в приложении А и Б.

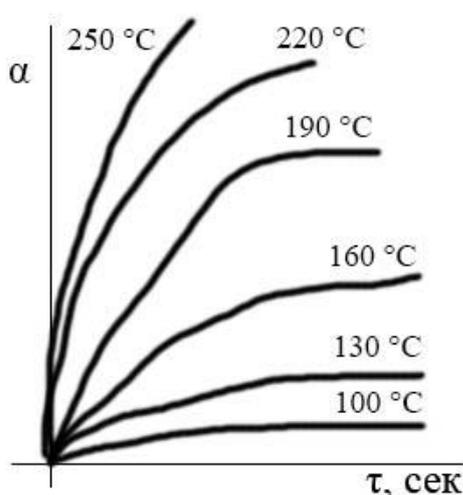


Рисунок 14 – Зависимость степени удаления влаги из ра от времени при различных значениях температуры. Исходный раствор – вода.

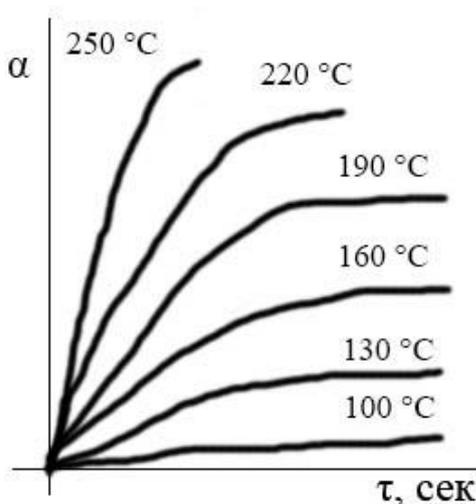


Рисунок 15 – Зависимость степени удаления влаги из раствора от времени при различных значениях температуры. Исходный раствор – 10 %  $\text{NH}_4\text{F}$ .

## 5 Автоматизация процесса

Автоматизация процесса повышает уровень безопасности производства и приводит к улучшению его основных показателей эффективности: увеличению количества, улучшению качества, снижению себестоимости выпускаемой продукции и повышению производительности труда [22].

В химической промышленности механизации и автоматизации уделяется большое внимание, что объясняется сложностью и высокой протекания технологических процессов, а также чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы, взрыво- и пожароопасностью перерабатываемых веществ и т. д.

Ограниченные возможности человеческого организма (утомляемость, недостаточная скорость реакции на изменение окружающей обстановки и на большое количество одновременно поступающей информации, субъективность в оценке сложившейся ситуации и т. д.) являются препятствием для дальнейшей интенсификации производства. Наступает новый этап машинного производства – автоматизация, когда человек освобождается от непосредственного участия в производстве, а функции управления технологическими процессами, механизмами, машинами передаются автоматическим устройствам.

Автоматизация приводит к улучшению основных показателей эффективности производства: увеличению количества, улучшению качества и снижению себестоимости выпускаемой продукции, повышению производительности труда. Внедрение автоматических устройств обеспечивает высокое качество продукции, сокращение брака и отходов, уменьшение затрат сырья и энергии, уменьшение численности основных рабочих, снижение капитальных затрат на строительство зданий

(производство организуется под открытым небом), удлинение сроков межремонтного пробега оборудования.

Проведение некоторых современных технологических процессов возможно только при условии их полной автоматизации (например, процессы, осуществляемые на атомных установках и в паровых котлах высокого давления, процессы дегидрирования и др.). При ручном управлении такими процессами малейшее замешательство человека и несвоевременное воздействие его на процесс могут привести к серьезным последствиям.

Внедрение специальных автоматических устройств способствует безаварийной работе оборудования, исключает случаи травматизма, предупреждает загрязнение атмосферного воздуха и водоемов промышленными отходами.

Комплексная автоматизация процессов (аппаратов) химической технологии предполагает не только автоматическое обеспечение нормального хода этих процессов с использованием различных автоматических устройств (контроля, регулирования, сигнализации и др.), но и автоматическое управление пуском и остановом аппаратов для ремонтных работ и в критических ситуациях [23].

## **5.1 Описание функциональной схемы автоматизации**

Схема представлена в приложении В.

Переработка ильменитового концентрата начинается с подготовки смеси веществ ко фторированию. Для этого в один бункер приема загружается  $\text{FeTiO}_3$  (ильменитовый концентрат), в другой  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ . Массы загружаемых веществ измеряются установленными на бункера подачи веществ датчиками массы веществ (позиции 1-1, 2-1, 8-1). Для смешения исходные вещества с помощью шнекового транспортера подаются в бункер с мешалкой. На валы шнековых питателей установлены частотомеры (позиции

3-5, 5-5, 7-1), при этом осуществляется регулирование частоты вращения вала шнековых питателей для равномерной подачи исходных веществ. Перемешивание в бункере смешения веществ осуществляется механическим перемешивающим устройством, работающим от электродвигателя (позиция 7-1). Готовая смесь шнековым транспортером направляется в барабанную вращающуюся печь.

Процесс фторирования протекает при температуре 200 °С, измерение температуры в печи осуществляется при помощи термопары (позиции 12-1), а регулирование ТЭНами (позиции 12-6). Барабан печи приводится в движение электрическим двигателем (позиция 11-1).

В результате проведения процесса получаем фторированный продукт и отходящие газы ( $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ). Из печи фторированный продукт отгружается в бункер приема веществ. Масса контролируется установленными на бункер приема датчиком массы (позиция 14-1). Отходящие газы направляются в теплообменник. Из теплообменника аммиак и пары воды направляются в насадочную колонну для получения чистого раствора аммиака. Количество подаваемого газа регистрируется установленным датчиком расходомера (позиция 16-1). Для улавливания аммиака в насадочную колонну подается вода.

В ходе связывания аммиака, получается аммиачная вода. Подача воды происходит с помощью вентиля (позиция 17). Температура аммиачного раствора в аппарате измеряется при помощи термопары (позиция 18-1).

Аммиачная вода, с помощью насоса (позиция 19) поступает в холодильный аппарат, где охлаждается и возвращается в колонну. Температура аммиачной воды регулируется при помощи котура 21-22. После насадочной колонны раствор отгружается в бункер приема. Уровень заполнения бункера приема раствором  $\text{NH}_3$  контролируется установленным уровнемером (позиция 23-1). Масса контролируется установленным на бункер приема датчиком массы (позиция 24-1). В результате проведения

процессов на других участках цеха, получается 10% раствор  $\text{NH}_4\text{F}$ , который поступает в выпарной аппарат участка водоочистки с помощью насоса (позиция 26), расход контролируется расходомером (позиция 33-1). Уровень заполнения выпарной установки контролируется и регулируется контуром 25-26. При заполнении по верхнему значению уровня насос подачи раствора отключается (позиция 26). Температура в выпарном аппарате контролируется при помощи термопары (позиция 27-1), а регулирование происходит ТЭНами (позиция 28). В результате выпаривания получается пульпа и отходящие газы. При достижении уровня пульпы открывается вентиль сброса и включается насос подачи раствора в аппарат. Сброс пульпы осуществляется в течении 10 минут.

Из выпарного аппарата пульпа поступает в барабанный вакуумный фильтр. Уровень жидкой фазы в фильтре контролируется установленным уровнемером (позиция 31-1). Жидкая фаза откачивается электрическим насосом (позиция 34-1). Осадок возвращается в бункер загрузки исходных веществ.

Отходящие газы ( $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) образовавшиеся в результате выпаривания отправляют в холодильную установку, из которой возвращаются на контур улавливания  $\text{NH}_3$ . Образовавшийся конденсат воды откачивается электрическим насосом (позиция 39-1) и направляется на станцию очистки воды. Температура воды регулируется контуром 41-42. Уровень заполнения станции очистки контролируется установленным уровнемером (позиция 43-1).

При заполнении по показанию уровнемера по верхнему значению включается электронасос (позиция 44) для откачки в бочку. Уровень заполнения бочки с водой контролируется установленным уровнемером (позиция 46-1).

## **5.2 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации**

Контролю подлежат, прежде всего, те параметры, знание которых облегчает пуск, наладку и нормальное ведение технологического процесса. К таким параметрам относятся все регулируемые величины, нерегулируемые внутренние параметры, входные и выходные параметры, при изменении которых в объект могут поступать возмущающие воздействия.

Контролю подлежат следующие параметры:

- расход жидких реагентов, поступающих в аппараты (агитаторы) для приготовления пульпы;
- масса твердых веществ и минерального сырья поступающих в приемники шнековых питателей;
- температуры протекания процесса в выпарном аппарате и барабанной вращающейся печи; температура воды в аппаратах.
- давление отходящих газов;
- уровень раствора в сборниках растворов, и аппаратах;
- расход раствора.

Регулированию подлежат:

- расход реагентов, поступающих в аппараты;
- частота вращения валов шнековых питателей;
- температура протекания процесса в печи и в выпарном аппарате.

Сигнализации подлежат все параметры, изменения которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьёзному нарушению технологического режима. Основным назначением устройств сигнализации является оповещение обслуживающего персонала о нарушениях технологического процесса.

Сигнализации подлежат следующие параметры:

- уровень пульпы в аппаратах

### 5.3 Подбор контрольно-измерительных приборов

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства контроля (контрольно-измерительные приборы). Они могут быть выполнены либо в виде отдельных приборов, предназначенных для визуального контроля параметров процесса, либо являться составной частью устройств регулирования, сигнализации и защиты.

Контрольно-измерительные приборы устанавливаются непосредственно у технологических аппаратов (местный контроль) или на центральных щитах управления (дистанционный контроль) [24].

В данной функциональной схеме используются следующие контрольно-измерительные приборы:

1) Датчик веса К–Р–16А (S-образный, для бункеров и приемников с сыпучими веществами).

- предел измерения, кг: от 0 до 3000;
- погрешность измерения: 0,7 %;
- температура измеряемой среды: от минус 25 до плюс 40 °С;
- температура окружающей среды: от минус 30 до плюс 50 °С;
- выходной сигнал: 0-5 мА;
- позиции: 1-1; 2-1, 7-1, 13-1, 24-1.

2) Универсальный тахометр-частотомер-счетчик ВЕХА-Т, предназначен для измерения скорости, а также для измерения интервалов времени и времени наработки. Прибор используется для измерения частоты вращения вала двигателя, скорости движения ленточного конвейера.

Характеристики:

- диапазон измерения скорости вращения: 0,2 ÷ 20000 обр/сек;
- относительная погрешность: 0,01 ÷ 0,5;
- позиции: 3-1, 5-1, 8-1.

3) Измеритель-сигнализатор уровня ИСУ-100U предназначен для непрерывного измерения уровня различных жидких и сыпучих сред контроля двух заданных предельных уровней в емкостях:

- допустимый максимальный уровень: 1,5 м;
- допустимый минимальный уровень: 0,3 м;
- погрешность:  $\pm 1\%$ ;
- диапазон измерения: 0,1-10 м;
- выходной сигнал: 4-20 мА;
- позиции: 23-1, 25-1, 31-1, 44-1, 47-1.

3) Датчик динамического давления PS01, предназначен для измерения давления в разных средах:

- измеряемый диапазон: 0,1÷250 бар;
- чувствительный элемент: кварц;
- позиция: 38-1.

4) Преобразователь термоэлектрический ТХК-9414 (хромель-копелевый, для измерения температуры газовой, жидкой и сыпучей среды).

- предел измерения: от 0 до 400 °С;
- температура измеряемой среды: от 0 до 450 °С;
- температура окружающей среды: от -60 до 100 °С;
- выходной сигнал: 0-5 мА;
- позиции: 18-1, 21-1, 28-1, 42-1.

5) Ультразвуковой расходомер Prosonic Flow 92F (с фланцевым присоединением, устойчивый к агрессивным средам).

- предел измерения, м<sup>3</sup>/час: от 0 до 2400;
- погрешность измерения:  $\pm 0,5\%$ ;
- температура измеряемой среды: от минус 40 до плюс 200 °С;
- температура окружающей среды: от минус 40 до плюс 80 °С;
- выходной сигнал: 4-20 мА;
- позиции: 16-1, 33-1, 39-1.

## 5.4 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ

Применение ЭВМ в схемах автоматизации технологических процессов позволяет решать задачи оптимального управления путём обработки текущей статистической информации. При этом рассчитываются текущие и оптимальные значения величин процесса, непосредственное измерение которых затруднено. При отклонении текущих значений от оптимальных, вырабатываются новые задания, локальным автоматическим регуляторам с целью поддержания процесса на оптимальном уровне.

Классификация по применению вычислительной техники в системах управления:

1. АСУ ТП без применения ЭВМ;
2. АСУ ТП с применением ЭВМ в информационном режиме.

Фиксирует параметры процесса, ошибки операторов;

3. ЭВМ в режиме советчика оператору. По рекомендации ЭВМ, полученной по математической модели, учета личных знаний и опыта оператор реализует управляющее воздействие по достижению оптимальных выходных и режимных переменных. Наиболее часто режим советчика – оператору реализуется в диалоговом режиме, когда совет выдается по запросу оператора;

4. Супервизорное управление. В автоматическом режиме АСУ ТП вырабатывает и реализует управляющее воздействие без участия оператора: ЭВМ выполняет функции центрального управляющего устройства, изменяя задания АР или коэффициента настройки АР;

5. Режим прямого цифрового управления. Прямое цифровое управление (ПЦУ), когда ЭВМ непосредственно вырабатывает сигналы управления на исполнительные устройства. Входной информацией для вычисления уставок являются расход исходного раствора. Оператор с пульта управления имеет возможность вводить дополнительную информацию, в

частности, изменять ограничения на управляемые и управляющие переменные, уточнять критерий управления в зависимости от внешних факторов.

Супервизорный способ управления применяется для управления регуляторами стабилизации расхода. Супервизорный режим позволяет осуществлять автоматическое управление процессом. Роль оператора сводится к наблюдению за процессом и, в случае необходимости, к корректировке цели управления и ограничений на переменные. Роль АСУ ТП сводится к регулированию процесса в автоматическом режиме [25].

#### **Действия оператора при пуске технологического процесса:**

Действия оператора при запуске процесса:

- 1) Включить нагрев барабанной вращающейся печи;
- 2) При достижении температуры в печи 200 °С, включить привод электрического двигателя шнековых питателей (поз 4, 6) и привод электрического двигателя аппарата смесителя;
- 3) По достижению температуры в печи включить привод электрического двигателя шнекового питателя, произведя тем самым загрузку печи;
- 4) При поступлении газа из печи в теплообменник и из теплообменника в насадочную колонну оператор регулирует количество подаваемой воды;
- 5) Для поступления раствора  $\text{NH}_4\text{F}$  в выпарную установку необходимо включить насос. В аппарате при срабатывании сигнализатора верхнего уровня в выпарной установке оператор включает электрический обогрев аппарата. При срабатывании сигнализатора нижнего уровня в выпарной установке оператор открывает вентиль и включает барабанный вакуумный фильтр;
- 6) После выпаривания оператор следит за давлением отходящих газов, а также уровнем заполнения емкости с водой.

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономического расчёта данной работы является экономическое обоснование применения метода утилизации сточных вод фабрики по переработке ильменитового концентрата. И представить экономическую оценку эффективности метода.

### 6.1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха и продолжительности работы участка и продолжительности рабочего дня. Участок будет работать в три смены продолжительностью по 8 часов. Работа производится четырьмя производственными бригадами.

Таблица 17 – График сменности бригад

дни \ смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3								
	1	3	5	7	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2	4	2	6	2	8	2	0	3			
с 0 до 8	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г
с 8 до 16	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А
с 16 до 24	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В
Выходные	Г	Г	В	Б	А	А	Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б	А	Г	Г	В	Б	А	А	Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б

где: А, Б, В, Г – бригады.

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.о.}} = n_{\sigma} \cdot T_{\text{н}}, \quad (6.1.1)$$

где:  $n_{\sigma}$  – число бригад;

$T_{\text{н}}$  – количество дней, в которые бригада ходит в смену.

$$T_{\text{см.о.}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ дней.}$$

За 16 дней, т.е. за длительность сменоборота, бригада отдыхает 4 дня, за год 91 день.

По данному графику сменности на одного среднесуточного рабочего приходится 91 выходной день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

№	Элементы времени	Количество	
		Дней	часов
1	Календарное число дней	365	8760
2	Нерабочие дни: выходные	91	2184
3	Номинальный фонд рабочего времени	274	6576
4	Планируемые выходные:		
	а) очередные отпуска	24	576
	б) невыходы по болезни	12	288
	в) выполнение общественных обязанностей	1	24
	г) отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	3	72
	Итого:	40	960
5	Эффективный фонд рабочего времени	234	5616

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{эф} = 274 - 40 = 234 \text{ дня} = 234 \cdot 24 = 5616 \text{ часа.}$$

Определим явочную численность основных рабочих в сутки:

$$N_{яв} = \frac{1}{H_{обс}} \cdot F \cdot C \quad (6.1.2)$$

где  $N_{яв}$  – явочная численность рабочих в сутки, чел.;

Нобсл. – количество аппаратов, которое может обслуживать один аппаратчик;

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot 3 = 6 \text{ чел.}$$

Небольшое количество технологического персонала (основных производственных рабочих) участка обусловлено особенностями работы, которая заключается в основном в наблюдении за ходом процесса, это связано с высоким уровнем автоматизации оборудования участка.

Определим списочное число основных рабочих:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}} \quad (6.1.3)$$

где  $N_{\text{сп}}$  – списочная численность основных рабочих, чел.;

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

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

$$N_{\text{сп}} = 9 \text{ чел.}$$

Принимаем 9 человек в штат основных рабочих данного участка.

Таблица 19 – Численность основных рабочих

№	Наименование профессий	Тариф. разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$N_{\text{яв.}}$ , в сутки	$N_{\text{сп.}}$ , в сутки
1	Аппаратчик	5	2	3	6	9

Списочное число рабочих дежурного персонала:

Комплектуем участок вспомогательным персоналом, который будет заниматься обслуживанием данного участка в составе: дежурный механик – 1, дежурный электрик – 1, дежурный КИПиА – 1.

$$N_{\text{яв}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел}$$

$$N_{\text{сп}} = \frac{9 \cdot 340}{234} = 13 \text{ чел}$$

Принимаем 12 человек в штат дежурного персонала, осуществляющего обслуживание данного цеха.

При необходимости к работе будут привлекаться дежурные из других отделений, исполняющие данные обязанности по совместительству со своими непосредственными.

Сведем число дежурного персонала в таблицу.

Таблица 20 – Количество дежурного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число Смен	Н <sub>яв</sub>	Н <sub>сп</sub>	Число рабочих дней оборуд.
Слесарь	5	1	3	3	4	340
Электрик	5	1	3	3	4	340
сл. КИПиА	5	1	3	3	4	340

ИТР и МОП не проектируется, так как проектируемый участок находится в рамках цеха.

## 6.2 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха

Расчетный фонд вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \text{ руб./г.} \quad (6.2.1)$$

где  $Z_{\text{год}}$  – расчетный фонд заработной платы, руб./г;

$Z_{\text{осн.}}$  – основная заработная плата, руб./г;

$Z_{\text{доп.}}$  – дополнительная заработная плата, руб./г.

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{пр.}} + D_{\text{вред.}}, \text{ руб./г.} \quad (6.2.2)$$

где  $Z_{\text{тар.}}$  – тарифный фонд, руб./г;

$D_{\text{н.вр.}}$  – доплата за работу в ночное время (40 % от  $Z_{\text{тар.}}$ );

$D_{\text{пр.дн.}}$  – доплата за работу в праздничные дни (100 % от  $Z_{\text{тар.}}$ );

$D_{\text{пр.}}$  – доплата премий (30 % от  $Z_{\text{тар.}}$ );

$D_{\text{вред.}}$  – доплата за вредность (12 % от  $Z_{\text{тар.}}$ ).

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени:

$$З_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i, \text{ руб./г.} \quad (6.2.3)$$

где  $Z_{\text{тар.}}^i$  – тарифный фонд заработной платы рабочих  $i$ -ой квалификации;

$N_{\text{сп.}}^i$  – списочная численность рабочих  $i$ -ой квалификации в сутки;

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

$T_{\text{ст.}}^i$  – тарифная часовая ставка рабочего  $i$ -ой квалификации.

Для проектируемого участка к работе будут привлекаться аппаратчики 5-го разряда в связи с высокой ответственностью производимых работ. Часовая тарифная ставка аппаратчиков 5-го разряда составляет – 141 руб./ч.

$$З_{\text{тар.}}^5 = 6 \cdot 1872 \cdot 141 = 1583712 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в ночное время составляет 40 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{н.вр.}} = 6 \cdot 69 \cdot 8 \cdot 141 \cdot 0,4 = 186797 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в вечернее время составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{в.вр.}} = 6 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 141 \cdot 0,3 = 142128 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в праздничные дни (в году 9 праздничных дней) составляет 100 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 6 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 141 \cdot 2 = 121824 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 1583712 \cdot 0,3 = 475114 \text{ руб./г.}$$

Доплата за вредность составляет 12% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{вред.}} = 1583712 \cdot 0,12 = 190045 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{\text{осн.}} = 1583712 + 186797 + 142128 + 121824 + 475114 + 190045 = 2699620 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} \quad (6.2.4)$$

где  $P_{\text{д.зп}}$  – процент доплаты (принимается 10 %).

$$Z_{\text{доп.}} = 2699620 \cdot 0,1 = 26996,2 \text{ руб./г.}$$

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$Z_{\text{год}} = 2699620 + 26996,2 = 2726617 \text{ руб./г.}$$

### 6.3 Расчет годового фонда заработной платы вспомогательного персонала

Тарифный фонд вспомогательного персонала рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{тар.}} = P_{\text{мес.}} \cdot T_{\text{окл.}}, \text{ руб./г.} \quad (6.3.1)$$

где  $Z_{\text{тар.}}$  – тарифный фонд ЗП, руб./г;

$P_{\text{мес.}}$  – число месяцев, отработанных в год каждым работником (принимается 11 месяцев для всего персонала);

$T_{\text{окл.}}$  – штатный месячный оклад, р.

Таблица 21 – Состав вспомогательного персонала

Наименование должности	Месячный оклад, руб.
Дежурный механик	25 200
Дежурный электрик	25 200
Дежурный КИПиА	25 200

Основная заработная плата служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{пр.дн.}} + D_{\text{вред.}}, \text{ руб./г} \quad (6.3.2)$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (T_{\text{окл.}} / 20,25) \cdot N \cdot N_{\text{яв.}}, \text{ руб./г.} \quad (6.3.3)$$

где  $T_{\text{окл.}}$  – месячный оклад;

$N$  – количество праздничных дней в году;

20,25 – среднемесячное число рабочих дней;

$D_{\text{вред.}}$  – доплата за вредность (12 % от  $Z_{\text{тар.}}$ ).

Дополнительная заработная плата вспомогательного и прочего персонала принимается 10 % от  $Z_{\text{тар.}}$ .

Для вспомогательного и прочего персонала:

$$Z_{\text{тар.}} = 12 \cdot 1872 \cdot 234 = 5256576 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{н.вр.}} = 12 \cdot 91 \cdot 8 \cdot 234 \cdot 0,4 = 817690 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = 12 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 234 \cdot 2 = 404352 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{пр.}} = 5256576 \cdot 0,3 = 1576973 \text{ руб./г};$$

$$D_{\text{вред.}} = 5256576 \cdot 0,12 = 630789 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{осн.}} = 5256576 + 817690 + 404352 + 1576973 + 630789 = 8686380 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{доп.}} = 8686380 \cdot 0,1 = 868638 \text{ руб./г};$$

$$Z_{\text{год}} = 8686380 + 868638 = 9555018 \text{ руб./г}.$$

Так как вспомогательный персонал задействован к работам не только на проектируемом участке, ЗП вычисляется с учетом коэффициента полезного участия равным 0,3.

$$Z_{\text{год}} = 9555018 \cdot 0,3 = 2866505 \text{ руб./г}.$$

Полный годовой фонд заработной платы составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 2726617 + 2866505 = 5593122 \text{ руб.}$$

## 6.4 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на здание ведется по формуле:

$$C_{\text{зд.}} = C + C_{\text{от.}} + C_{\text{вент.}} + C_{\text{вод.}} + C_{\text{кан.}} + C_{\text{осв.}}, \text{ руб.} \quad (6.4.1)$$

где  $C_{\text{зд.}}$  – капитальные затраты на здание, руб.;

$C$  – стоимость помещения, руб.;

$C_{\text{от.}}$  – стоимость затрат на отопление, руб.;

$C_{\text{вент.}}$  – стоимость затрат на вентиляцию, руб.;

$C_{\text{вод.}}$  – стоимость затрат на водопровод, руб.;

$C_{\text{кан.}}$  – стоимость затрат на канализацию, руб.;

$C_{\text{осв.}}$  – стоимость затрат на освещение, руб.

$$C = C_{1\text{м}^3} \cdot V_{\text{зд.}}, \text{руб.} \quad (6.4.2)$$

где  $C_{1\text{м}^3}$  – стоимость затрат на постройку 1 м<sup>3</sup> здания, руб.;

$V_{\text{зд.}}$  – объем здания, м<sup>3</sup>.

Производственная площадь – 450 м<sup>2</sup>, высота – 11,95 м.

Полный объем здания – 5377,5 м<sup>3</sup>;

стоимость 1 м<sup>3</sup> – 15 000 руб.; стоимость здания – 80662500 руб.

Таблица 22 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на постройку здания	Цена, руб.
Отопление	5	4033125
Вентиляция	5	4033125
Водопровод	3	2419875
Канализация	3	2419875
Освещение	2	1613250
Итого	18	14519200

Общая стоимость здания составит:

$$C_{\text{зд.}} = 80662500 + 14519200 = 95181700 \text{ руб.}$$

Расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования.

Таблица 23 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество, шт	Цена за шт., руб.	Цена, руб
Выпарной аппарат	1	3900000	3900000
Емкость для сбора пульпы	3	760000	2280000
Барабанный вакуумный	1	910 000	910 000

фильтр			
Теплообменник	3	93000	279000
Станция очистки воды	1	500000	500000
насос	6	73000	438000
Насадочная колонна	1	800000	800000
Итого			9107000

Таблица 24 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

затраты	% от стоимости оборудования	Цена, руб
Устройство фундаментов	10	910700
Технологические трубопроводы	20	18214000
Антикоррозионные работы	5	455350
Кабельные разводки	5	455350
КИПиА	10	910700
Монтаж оборудования	22	2003540
Вспомогательное оборудование	5	455350
итого	77	7012390

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) составят:

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{обор.}} + \Sigma C_{\text{затр.}} = 9107000 + 7012390 = 16119390 \text{ руб.}$$

Таблица 25 – Полные капитальные затраты

Наименование	Капитальные затраты	
	Руб.	%
Здание	80662500	83
Оборудование	16119390	17
Итого	96781890	100

Расходы на содержание здания:

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод.}} = 80662500 \cdot 0,02 = 1613250 \text{ руб/г.}$$

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

$$З_{\text{т.р.}} = 80662500 \cdot 0,02 = 161325 \text{ руб/г.}$$

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{\text{зд.}} = C_{\text{зд.}} \cdot \alpha = 95181700 \cdot 1/40 = 2379542,5 \text{ руб/г.}$$

где  $\alpha$  – коэффициент срока службы здания (40 лет).

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\Sigma Z_1 = Z_{\text{сод.}} + Z_{\text{т.р.}} + A_{\text{зд.}} = 4154117,5 \text{ руб/г.}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р.}} = 9107000 \cdot 0,15 = 1366050 \text{ руб/г.}$$

Расходы на содержание составляет 5 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 9107000 \cdot 0,05 = 455350 \text{ руб/г.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования (10 % от стоимости):

$$A_{\text{об.}} = C_{\text{затр.}} \cdot \alpha = 9107000 \cdot 0,1 = 910700 \text{ руб/г.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\Sigma Z_2 = \Phi_{\text{т.р.}} + Z_{\text{сод.}} + A_{\text{об.}} = 2732100 \text{ руб/г.}$$

Общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = \Sigma Z_1 + \Sigma Z_2 = 6886217,5 \text{ руб/г.}$$

## 6.5 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию:

$$Z_{\text{эн.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{Т}} \cdot T_{\text{р.об}},$$

где  $T_э$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (4,8 руб.);

$N_T$  – суммарная мощность, кВт (500 кВт);

$T_{р.об.}$  – время работы оборудования в год, час (8160 час).

$$Z_{э.} = 4,8 \cdot 500 \cdot 8160 = 19584000 \text{ руб/год.}$$

*Расчет затрат на воду:*

$$Z_{вод.} = T_в \cdot T_{р.об.} \cdot B,$$

где  $T_в$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> воды, руб. (19,28 руб/м<sup>3</sup>);

$B$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup> (10 м<sup>3</sup>/ч).

$$Z_{вод.} = 19,28 \cdot 8160 \cdot 10 = 1573248 \text{ руб/год.}$$

*Затраты на освещение:*

$$Z_{осв.} = \left( \frac{15 \cdot S_{п.} \cdot M \cdot T_{р.об.}}{1000} \right) \cdot T_э,$$

где 15 – количество Ватт на 1 м<sup>2</sup> пола;

$S_{п.}$  – площадь пола, м<sup>2</sup> (450 м<sup>2</sup>);

$M$  – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч.);

$T_э$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (4,8 руб.);

$T_{р.об.}$  – число дней работы производства в году, (365 дней).

$$Z_{осв.} = (15 \cdot 450 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 4,8 = 283824 \text{ руб/год.}$$

*Затраты на вентиляцию:*

$$Z_{вент.} = (P_{э.д.} \cdot T_{КАЛ}) \cdot T_э,$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарный фонд времени (час);

$P_{э.д.}$  – мощность электродвигателя вентиляции, кВт; установим в цехе вентиляторы в количестве 6 штук, ( $P_{э.д.} = 20$  кВт).

$$Z_{вент.} = (20 \cdot 6 \cdot 24 \cdot 365) \cdot 4,8 = 5045760 \text{ руб/год.}$$

*Затраты на отопление:*

$$Z_{отоп.} = \left( \frac{a \cdot S_{п.} \cdot T \cdot V_{от.п.}}{1000} \right) \cdot T_э,$$

где  $a$  – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения, кВт (4,4 кВт);

$T$  – продолжительность отопительного сезона, ч (4896 ч.);

$V_{зд}$  – объем отапливаемого помещения, м<sup>3</sup> (5377,5 м<sup>3</sup>).

$$З_{\text{отоп.}} = (4,4 \cdot 4896 \cdot 5377,5) / 1000 = 115844,25 \text{ руб/год.}$$

*Затраты на ОТ и ТБ:*

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от  $\Phi_{\text{общ.}}$ :

$$З_{\text{от. тб.}} = 5593122 \cdot 0,12 = 671174,64 \text{ руб/год.}$$

*Отчисления на социальные нужды:*

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы:

Отчисления от заработной платы составляют 30% от З:

$$З_{\text{соц.}} = 5593122 \cdot 0,3 = 1677936,6 \text{ руб/год.}$$

## 6.6 Калькуляция себестоимости передела

Таблица 26 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Цена ед. прод., руб.	Сумма руб./год
Затраты на эл. энергию	руб.	19584000
Затраты на воду	руб.	1573248
Затраты на освещение	руб.	283824
Затраты на вентиляцию	руб.	5045760
Затраты на отопление	руб.	115844,25
<b>Итого условно-переменные затраты</b>		<b>26602676,25</b>
Фонд ЗП:	руб.	5593122
Отчисления на соц. нужды	руб.	1677936,6
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:		
амортизация оборудования	руб.	910700
тек.и кап. ремонты	руб.	1366050
содержание оборудования	руб.	2732100
Цеховые расходы:	руб.	
содержание здания	руб.	1613250
расходы на ОТ и ТБ	руб.	671174,64

СТОИМОСТЬ здания		95181700
<b>Итого условно-постоянные затраты</b>		<b>108294133,24</b>
<b>себестоимость передела</b>		<b>134896809,49</b>

Таким образом, себестоимость передела составляет 134896809,49 рублей в год.



Рисунок 13 – Диаграмма основных затрат

## **7 Социальная ответственность**

Одним из необходимых условий повышения производительности труда является создание благоприятных и безопасных условий труда.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия (ч.1 ст. 209 ТК РФ) [26].

Законодательные акты РФ об охране труда закрепляют право трудящихся на охрану труда; предоставляют гарантии этого права; возлагают на работодателя конкретные обязанности по созданию для работающих благоприятных условий труда; устанавливают ответственность работодателя за нарушение требований охраны труда и регулируют другие отношения в сфере охраны труда.

Требования, направленные на охрану здоровья работников в процессе труда чаще всего закрепляются в подзаконных нормативных правовых актах. Детальный перечень видов таких актов установлен постановлением правительства РФ от 27.12.10 № 1160 «О нормативных правовых актах, содержащих государственные нормативные требования охраны труда» [27].

Задача охраны труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда. Реальные производственные условия характеризуются, как правило, наличием некоторых опасных и вредных факторов.

На основе анализа определяют опасные участки производства, выявляют возможные опасные ситуации и разрабатывают меры их предупреждения и ликвидации.

## 7.1 Общая характеристика производства

В проектируемом участке на работников могут воздействовать следующие факторы [28]:

Физические:

- температура и влажность воздуха в цехе;
- недостаточная освещенность;
- опасность поражения электрическим током;
- наличие вращающихся частей и механизмов оборудования;
- наличие трубопроводов, работающих под давлением;
- опасность термических ожогов;
- опасность воздействия вибрации и различных шумов (компрессоры, насосы);
- опасность возникновения пожара.

Психофизиологические:

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

Химические:

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ (фторид аммония, аммиак, фтористый водород) [29].

Цель охраны труда на проектируемом участке –свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего персонала при максимальной производительности труда [26].

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

## 7.2 Промышленная санитария

Промышленная санитария — система практических мероприятий, направленных на предупреждение неблагоприятного воздействия условий труда на здоровье лиц, занятых в промышленности. Основной задачей промышленной санитарии являются профилактика профессиональных заболеваний и профессиональных отравлений, улучшение общего состояния здоровья работающих [30].

Основные свойства сырья и реагентов процесса концентрирования раствора фторида аммония по токсичности приведены в таблице 1.1 [31].

Таблица 27 – Основные свойства сырья и реагентов по токсичности

Наименование сырья, реагентов, продукции	Класс опасности	ПДК рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>
Фторид аммония	8	0,5
Аммиак	4	20
Бифторид аммония	2	1

К организации мероприятий по технике безопасности относится ряд обязательных правил для всех сотрудников лаборатории:

- приступивший к работе сотрудник проходит инструктаж, медосмотр, так как к работе с электроустройствами допускаются только физически здоровые люди;
- приступивший к работе сотрудник проходит инструктаж по технике безопасности и пожароопасности;
- периодически, через установленный срок, проводится проверка знаний по технике безопасности и инструктаж;
- сотрудник, нарушивший правила техники безопасности, отстраняется от работы до переаттестации.

Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты (СИЗ), спецодеждой и обувью в соответствии с нормами [32]:

– ГОСТ 29057-91 Костюмы мужские для защиты от нетоксичной пыли. Технические условия;

– ГОСТ 12.4.072-79 ССБТ. Сапоги специальные резиновые формовые, защищающие от воды, нефтяных масел и механических воздействий. Технические условия;

– ГОСТ 27652-88 Костюмы мужские для защиты от кислот. Технические условия;

– ГОСТ 27653-88 Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия;

– ГОСТ 12.4.127-83 ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества;

– ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток". Технические условия;

– ГОСТ 12.4.153-85 ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества;

– ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия;

– ГОСТ 12.4.121-83 ССБТ. Противогазы промышленные фильтрующие. Технические условия.

Допуск к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены [33].

### 7.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [34].

В процессе эксплуатации технологического оборудования и электрифицированного инструмента возникает необходимость обхватить рукой различные части оборудования: рукоятки, маховики, приспособления. Поэтому при пробое изоляции электрооборудования, работающий на нем, подвергается действию электротока, если соответствующие профилактические мероприятия не предусмотрены.

К индивидуальным средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

а) Основные – оперативные штанги и токоизмерительные клещи, диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими ручками и указателем напряжений;

б) Дополнительные – диэлектрические галоши, коврики. Как дополнительная изоляция используется спецодежда рабочего [35].

Материал полов должен не пропускать электрический ток, а также должен быть стойким к воздействию химических веществ, используемых в технологическом процессе.

Соблюдение представленных требований позволяет не допускать несчастных случаев, связанных с поражением электрическим током, а также уменьшается вероятность преждевременного выхода оборудования из рабочего состояния.

## 7.4 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 1.2 [36,37].

Таблица 28 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	18–22	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

Таблица 29 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	20,0–21,9	15–75	0,1
Тёплый	20,0–21,9	15–75	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: вентиляция и кондиционирование воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается

естественная вентиляция [36].

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В производственном цехе осуществляется механическая (искусственная) вентиляция. В зависимости от направления воздуха данная вентиляция является приточно-вытяжной, а по месту действия местной.

### **7.5 Производственное освещение**

Предусматривается рабочее и аварийное освещение. Аварийное освещение выполняется в основных производственных помещениях, щитовых и операторских. В венткамерах, щитовых, производственных помещениях выполняется ремонтное освещение на 36 В.

Обслуживание светильников предусматривается с переносных лестниц и стремянок и с мостовых кранов.

Так как при наблюдении за технологическим процессом необходимо следить за показаниями приборов, необходима освещенность не менее 400 лк (для работ с минимальным размером объекта различения более 5 мм) [38].

### **7.6 Пожарная безопасность**

При разборке действенных методов предупреждения и ликвидации пожаров и взрывов используют общие теоретические положения о горении и взрывах, а также данные, полученные при изучении причин пожаров и взрывов на производстве [39].

Основными и наиболее частыми причинами возгораний, пожаров и взрывов на предприятии являются:

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- нарушение режима технологических процессов;

- неисправность электрооборудования, электросетей;
- нарушение электротехнических правил;
- самовозгорание, статическое электричество, грозовые разряды [40].

Все помещения и здания делятся на 5 категорий. Категории А и Б – взрывопожароопасные помещения, категории В, Г и Д – пожароопасные помещения [41].

Помещение проектируемого участка должно быть отнесено к категории Г. Основанием для установления этой категории пожароопасности является наличие негорючих веществ в жидком, твердом и газообразном состоянии.

Общими мерами по обеспечению пожаробезопасности при проведении технологических процессов являются:

- замена опасных технологических операций менее опасными;
- изолированное расположение опасных технологических установок и оборудования;
- уменьшение количеств находящихся в производственных помещениях горючих и взрывоопасных веществ;
- предотвращение возможности образования горючих смесей в аппаратах, газопроводах, вентиляционных системах и др.;
- механизация, автоматизация и непрерывность производства;
- герметизация оборудования, мест соединений коммуникаций и аппаратуры, мест загрузки и выгрузки технологических аппаратов;
- строгое соблюдение стандартов и точное выполнение установленного технологического режима;
- предотвращение возможности появления в опасных местах источников зажигания;
- предотвращение распространения пожаров и взрывов [40].

На проектируемом участке должны присутствовать пожарные краны, химические пенные, порошковые огнетушители, кошма, песок для гашения

огня на электрооборудовании, а также противопожарный инвентарь: ведра, багры, ломы, крючья, топоры . Запрещается пользоваться противопожарным инвентарем для других целей [42].

При возникновении пожара персонал цеха обязан вызвать пожарную команду по телефону 01, сообщить руководству и принять меры к ликвидации пожара в соответствии с «инструкции о мерах пожарной безопасности химического цеха».

### **7.7 Шум и вибрация**

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне[43].

Согласно ГОСТ 12.1.003–2014 уровень звукового давления в данном производственном помещении не должен превышать 93 дБ [44].

Источниками шума на проектируемом участке являются: компрессоры, насосы, движущиеся детали механизмов, вентиляционные системы и др., сила звука которых не превышает 70 дБ.

В тех случаях, когда меры по уменьшению шума в источнике его образования исчерпаны, применяют меры снижения шума по пути его распространения. Агрегаты с повышенным уровнем шума и вибрации стараются размещать в отдельных изолированных помещениях. Стены покрывают звукопоглощающими материалами (акустической штукатуркой, перфорированными панелями, стекловолокном и др.) [45].

## 7.8 Охрана окружающей среды

Химические предприятия являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. К утилизации отходов этих предприятий предъявляются высокие требования в соответствии с [46].

Источники загрязнения условно делятся на две группы:

- места специализированного выброса газа, пыли, вентиляционного воздуха;
- места неорганизованного выброса загрязняющих веществ, вследствие разгерметизации аппаратуры и коммуникаций [47].

Профилактическими мерами по предупреждению вредных выбросов являются:

- организация технологических процессов с минимальным использованием загрязняющих веществ;
- организация эффективной системы сорбционной очистки выходящих газов и сточных вод в местах специализированного выброса;
- надежная герметизация оборудования;
- повышение общей культуры производства, организация производства на замкнутый технологический цикл [47].

Данная технологическая схема утилизации сточных вод предусматривает замкнутую циркуляцию материальных потоков, что исключает выброс вредных веществ в окружающую среду.

При достаточной герметизации аппаратуры и соединений разработанная технологическая схема исключает попадание вредных веществ в окружающую среду при нормальном протекании процесса.

### **Заключение по разделу**

В разделе охраны труда рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, средства защиты работающих, электробезопасность, пожарная безопасность, защита от шума, метеорологические условия, вопрос освещенности.

Все мероприятия по ТБ и ОТ разработаны в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами и ГОСТами. Условия труда для рабочего и служащего персонала соответствуют нормам.



## Список используемых источников

1. Соколов Р.С. Химическая технология. Том 1 / Р.С. Соколов – Москва: Владос, 2000. – 369 с.
2. Вода в химической промышленности. Электронная статья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – 2014. URL:[http://bookwu.net/book\\_obshhaya-himicheskaya-tehnologiya\\_1143/11\\_glava-h-voda-v-himicheskoy-promyshlennosti](http://bookwu.net/book_obshhaya-himicheskaya-tehnologiya_1143/11_glava-h-voda-v-himicheskoy-promyshlennosti), свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 22.10.2016.
3. Аммоний-ион. Электронная статья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – 2008. URL: [http://ekotsentr.ru/popup\\_menu.php?id=35](http://ekotsentr.ru/popup_menu.php?id=35), свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 25.10.2016.
4. Яковлев С.В. Канализация. / С.В. Яковлев, Я. А Карелин – Москва: Стройиздат, 1975. – 632 с.
5. Таубман Е.И. Выпаривание / Е.И. Таубман – Москва: Химия, 1982 г. – 328 с.
6. Процесс выпаривания. Электронная статья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – 2010. URL: [http://www.ence-gmbh.ru/rus/tech\\_evaporation.php](http://www.ence-gmbh.ru/rus/tech_evaporation.php), свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 25.10.2016.
7. Юренев В.Н. Теплотехнический справочник. / В.Н. Юренев, П.Д. Лебедев – Москва: Энергия, 1976. – 896 с.
8. Тимонин А.С. Машины и аппараты химических производств. / А.С. Тимонин – Калуга: Бачарский, 2008. 860 с.
9. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. / А.Э. Генкин – Москва: Металлургия, 1986. 280 с.
10. Устройство выпарных аппаратов. Электронная статья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – 2015. URL: <http://paht.vector-study.ru/apparat/evapor/construc-page4.html>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 24.11.2016.

11. Алферова А.А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. / А.А. Алферова, А.П. Нечаев – Москва: Стройиздат, 1987. 320 с.
12. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – Москва: Химия, 1987. 576 с.
13. ГОСТ 11987-85. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Общие технические требования – Москва, 1985. 15 с.
14. Судаков Е.Н. Справочник химика. Расчеты основных аппаратов в химическом производстве. / Е.Н. Судаков – Москва: Химия, 1979. 489 с.
15. Воробьева Г.А. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. / Г.А. Воробьева – Москва: Химия, 1975. 816 с.
16. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. / А.Г. Касаткин – Москва: Химия, 1961. 830 с.
17. Викторов М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты. / М.М. Викторов – Москва: Химия, 1977. 360 с.
18. Хантургаев А.Г. Методическое пособие по расчетам выпарных установок. / А.Г. Хантургаев, С.С. Ямпиров – Улан-Удэ: ИПЦ ВСГТУ, 2006.
19. ГОСТ 1867-57 Вакуум-насосы низкого вакуума. Типы и основные параметры – Москва, 1955.
20. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. / Л.З. Альперт – Москва: Высшая Школа, 1989. 304 с.
21. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные – Москва, 1980.
22. Мясковский И.Г. Основы автоматизации производства: учебник для среднего специального образования / И. Г. Мясковский – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1968. – 400 с.
23. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов и АСУП в химической промышленности: учебник / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – М.: Химия, 1978. – 375 с.

24. Лапшенков Г.И. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Лапшенков Г.И., Полоцкий Л.М. – М.; «Химия», 1988.– 287 с.;
25. Ключев А.С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования / А.С. Ключев – М.; «Энергоатомиздат», 1989. – 368 с.
26. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 03.10.2016) Статья 209. Основные понятия.
27. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. N 1160 "Об утверждении Положения о разработке, утверждении и изменении нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда" (с изменениями и дополнениями) – Москва, 2016
28. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Электробезопасность, 1976. –2 с.
29. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 3 июля 2016 года) (редакция, действующая с 3 октября 2016 года)
30. ГОСТ 12.0.002-80. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Термины и определения. – М.,: 1980. – 7с
31. Предельно допустимые концентрации вредных веществ: Справочник-таблицы / сост. Рябец В.А. – М.: МИОТ, 1995. – 62 с.
32. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009): Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.6.1.2523 – 09): утв. и введ. в действие от 01 сентября 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758 – 99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.;
33. Трудовой кодекс Российской Федерации (по состоянию на 15 ноября 2006 года) – Нск; «Сиб. унив. изд-во», 2006.;

11. Случинская И.А. Основы материаловедения и технологии полупроводников. / И.А. Случинская – Москва: Мир, 2002. 376 с.
12. Рудобашта С.П. Диффузия в химико-технологических процессах. / С.П. Рудобашта, Э.М. Карташов – Москва: Химия, 1993. 208 с.
13. Устройство выпарных аппаратов. Электронная статья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – 2015. URL: <http://paht.vector-study.ru/apparat/evapor/construc-page4.html>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 24.11.2016.  
57 с.
34. ГОСТ 12.1.009–76. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Термины и определения. –М.: Электробезопасность, 1976. – 2 с.
35. Кораблев В.П. Электробезопасность на химических предприятиях. – М.: Химия, 1977. – 256 с.
36. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы (СанПиН2.2.4.548–96): утв. и введ. в действие от 01 октября 1996 г. взамен СанПиН4088–86. – М.:Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 30 с.
37. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Санитарные нормы и правила(СНиП 41–01–2003)утв. и введ. в действие от 30 июня 2012 г.– М.:Госкомсанэпиднадзор России, 2012. – 54 с.
38. Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение – М.; 2003. – 58 с.
39. Охрана труда в химической промышленности . Г.В. Макаров, А.Я. Васин, Л.К. Маринина, - М, Химия, 1989, - 481с.
40. Строительные нормы и правила СНиП 21–01–97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. –М.: Госстрой России, 2002.– 41 с.
41. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Статья 27.

Определение категории зданий, сооружений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности

42. НПБ 101-95 «Нормы проектирования объектов пожарной охраны», Москва 1997

43. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы (СН 2.2.4/2.1.8.562–96): утв. и введ. в действие от 31 октября 1996 г. взамен «Санитарных норм допустимых уровней шума на рабочих местах» 3223–85. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 36 с.

44. ГОСТ 12.1.003–2014. ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Межгосударственный стандарт по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014. – 16 с.

45. Карпов Ю. В., Дворянцева Л. Я. «Защита от шума и вибраций на предприятиях химической промышленности», М.: Химия, 1991

46. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха. Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.6.575-96): утв. и введ. в действие от 31 декабря 1996 г. М.: Минздрав России, 1997. – 6 с.

47. Бобков А.С. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности: учебник / Бобков А.С., Блинов А.А., Роздин И.А., Хабарова Е.И. – М.: «Химия», 1998. – 400 с.

## Список публикаций студента

1. Усольцева И. О. Выделение радиоактивной составляющей из отходов переработки титановой руды / И. О. Усольцева ; науч. рук. А. С. Кантаев // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17–20 мая 2016 г., г. Томск. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – с 439-440.

2. Усольцева И.О. Определение зависимости температуры плавления смеси фторида и гидродифторида аммония от их соотношения / И.О. Усольцева; науч. рук. А. С. Кантаев // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, 25 – 29 мая 2015 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – с 94-96.

3. Усольцева И.О. Температурная обработка аморфного диоксида титана в расплаве хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. / И.О. Усольцева; науч. рук. А. С. Кантаев // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сборник материалов IV Всероссийской конференции с международным участием, 24 – 25 ноября 2016 г., г. Чебоксары. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2016. – с 172 – 173.

4. Усольцева И. О. Выделение радиоактивной составляющей из отходов переработки титановой руды / И. О. Усольцева ; науч. рук. А. С. Кантаев // Ломоносов – 2016: сборник материалов международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 12 – 14 апреля 2016 г., г. Москва. – Москва: Изд-во МГУ, 2016. – с 81.

## Приложение А

Таблица 30 – Зависимость степени удаления влаги от времени при различных значениях температуры. Исходный раствор – вода.

	100 °С	130 °С	160 °С	190 °С	220 °С	250 °С
t, мин	α, %					
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0,002143
4	0	0	0,002857	0,001429	0,008571	0,011429
5	0	0,001429	0,011429	0,006429	0,019286	0,027143
6	0	0,004286	0,019286	0,015000	0,032143	0,047857
7	0	0,011429	0,029286	0,027857	0,049286	0,070714
8	0,000714	0,015714	0,040000	0,035000	0,067143	0,092857
9	0,002143	0,022143	0,050000	0,057857	0,084286	0,114286
10	0,006429	0,029286	0,060714	0,072143	0,101429	0,132857
11	0,010714	0,034286	0,070000	0,085714	0,118571	0,150000
12	0,015714	0,040000	0,079286	0,098571	0,132857	0,173571
13	0,020000	0,046429	0,086429	0,109286	0,147857	0,197857
14	0,023571	0,052143	0,094286	0,120714	0,161429	0,199714
15	0,027857	0,059286	0,100714	0,130714	0,173571	0,202857
16	0,032143	0,065714	0,107857	0,140714	0,185000	0,212857
17	0,035000	0,070000	0,116429	0,149286	0,197857	0,222857
18	0,039286	0,075714	0,125000	0,159286	0,212143	0,232143
19	0,042857	0,081429	0,130714	0,169286	0,227857	0,242857
20	0,045714	0,085000	0,140000	0,181429	0,244286	0,255000
21	0,048571	0,089286	0,149286	0,195714	0,259286	0,269286
22	0,051429	0,094286	0,160714	0,208571	0,275714	0,285714
23	0,054286	0,097857	0,172857	0,222143	0,289286	0,302143
24	0,057143	0,101429	0,182143	0,235714	0,302857	0,320000
25	0,060000	0,105714	0,187857	0,248571	0,320000	0,336429
26	0,062857	0,109286	0,198571	0,261429	0,332857	0,350714
27	0,065000	0,112143	0,206429	0,272857	0,338571	0,365000
28	0,068571	0,115714	0,212857	0,283571	0,350000	0,377143
29	0,072143	0,118571	0,219286	0,294286	0,362857	0,388571
30	0,075000	0,120714	0,222143	0,300000	0,367143	0,395000

## Приложение Б

Таблица 31 – Зависимость степени удаления влаги от времени при различных значениях температуры. Исходный раствор – 10%-ый раствор  $\text{NH}_4\text{F}$ .

	100 °C	130 °C	160 °C	190 °C	220 °C	250 °C
t, мин	$\alpha$ , %					
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0,002857	0	0	0	0	0
4	0,006429	0	0	0,004286	0,001429	0
5	0,012143	0,002857	0,005000	0,012143	0,007857	0,005
6	0,018571	0,008571	0,014286	0,022143	0,018571	0,017857
7	0,025714	0,014286	0,025000	0,032857	0,031429	0,036429
8	0,032857	0,022143	0,037857	0,045000	0,047857	0,057857
9	0,041429	0,029286	0,048571	0,057857	0,063571	0,076429
10	0,048571	0,035714	0,060000	0,069286	0,079286	0,094286
11	0,056429	0,036429	0,072143	0,081429	0,095000	0,111429
12	0,063571	0,050000	0,082857	0,092143	0,107143	0,125000
13	0,070000	0,057143	0,093571	0,101429	0,120714	0,138571
14	0,075714	0,063571	0,109286	0,111429	0,132857	0,152857
15	0,082143	0,070000	0,117857	0,121429	0,143571	0,167857
16	0,087857	0,076429	0,125714	0,132857	0,157143	0,187143
17	0,092857	0,081429	0,134286	0,144286	0,170714	0,205714
18	0,097857	0,087143	0,141429	0,156429	0,185000	0,225000
19	0,102143	0,092857	0,147857	0,167857	0,199286	0,241429
20	0,106429	0,097857	0,155000	0,180000	0,214286	0,257143
21	0,110714	0,102143	0,163571	0,191429	0,229286	0,272857
22	0,114286	0,106429	0,172857	0,202143	0,255714	0,286429
23	0,117857	0,110000	0,182143	0,212143	0,268571	0,300000
24	0,120714	0,114286	0,191429	0,220714	0,278571	0,314286
25	0,123571	0,118571	0,200714	0,229286	0,290000	0,330000
26	0,127143	0,122857	0,211429	0,238571	0,302143	0,349286
27	0,130000	0,127143	0,220000	0,248571	0,315714	0,365000
28	0,132143	0,134286	0,228571	0,259286	0,329286	0,382857
29	0,134286	0,141429	0,236429	0,270000	0,335714	0,397857
30	0,142857	0,147143	0,247857	0,276429	0,347143	0,413571

# Приложение В

## Рисунок 14 – Схема автоматизации

