

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
Исследование процесса непрерывного сублимационного разделения фтораммонийных комплексов титана, железа, кремния, алюминия и других металлов, производительностью 10000 т/год по исходному концентрату

УДК 536.422

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Кинякин Евгений Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Код	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
P3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
P4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших 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
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки (специальность): 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломной работы

Студенту:

Группа	ФИО
0412	Кинякин Евгений Владимирович

Тема работы:

Исследование процесса непрерывного сублимационного разделения фтораммонийных комплексов титана, железа, кремния, алюминия и других металлов, производительностью 10 000 т/год по исходному концентрату
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 января 2016 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Проектируемый аппарат: сублиматор непрерывного действия. Производительность по исходному концентрату 10000 тонн/год. Данные об исходном составе сырья: $[Al_2O_3] = 4,53 \%$; $[FeTiO_3] = 51,38\%$; $[MgO] = 0,37\%$; $[SiO_2] = 10,9 \%$; $[V_2O_5] = 0,39 \%$; $[Fe_2O_3] = 38 \%$; $[CaO] = 1,19 \%$; $[TiO_2] = 28,31 \%$; $[MnO_2] = 2,93 \%$.
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1. Введение. 2. Аналитический обзор литературных данных. 3. Теоретическая часть. 3.1. Теория процесса. 3.2. Термодинамика процесса. 3.3. Основы кинетики. 4. Экспериментальная часть. 4.1. Методика проведения исследований. 4.1.1. Описание экспериментальной установки. 4.1.2. Приборы и методы анализа. 4.1.3. Реактивы для проведения исследования и анализа. 4.1.4. Порядок проведения эксперимента. 4.2. Результаты и их обсуждение. 5. Укрупнённое проектирование. 5.1. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 5.2. Расчет материального баланса. 5.3. Расчет теплового баланса. 5.4. Расчет основного аппарата. 5.4.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата. 5.4.2. Механический расчет. 5.4.3. Гидравлический расчет. 5.4.4. Энергетический расчет. 6. Автоматизация процесса. 7. Охрана труда и техника безопасности. 8. Расчет себестоимости передела.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>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. Технико-экономические показатели.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>к.ф.н., доцент, Тухватулина Л.Р</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>ассистент Акимов Д. В.</p>
<p>Автоматизация процесса</p>	<p>к.т.н., доцент, Вильнина А.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>3 октября 2016 года</p>

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Кинякин Евгений Владимирович		

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

Уровень образования: инженер

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

Период выполнения осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

дипломная работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.10.16	1. Введение	3
28.10.16	2. Обзор литератур	4
06.11.16	3. Объект и методы исследования	5
10.12.16	4. Расчеты и аналитика	15
23.12.16	5. Результаты проведенного исследования (разработки)	10
30.12.16	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.12.16	7. Социальная ответственность	5
25.12.16	8. Автоматизация процесса	5
02.01.17	9. Заключение (выводы)	3

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Ворошилов Ф.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

1. Определения:

Разделение – количество металла в конечном или промежуточном продуктах технологических работ, выраженное в весовых единицах или процентах к общему весу полезного компонента в пробе, в поступающих на переработку растворах или находившегося в недрах.

Реагент – химическое вещество, используемое для выщелачивания или ускорения извлечения полезного компонента.

Техника безопасности (охрана труда) – система технических, санитарно-гигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих.

2. Обозначения и сокращения:

СД процесс – сублимационно - десублимационный процесс

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ПГС – парогазовая смесь;

ГП – готовый продукт (продукция);

ГДТ – гидратированный диоксид титана;

ППР – плановый предупредительный ремонт;

РЗМ – редкоземельные металлы;

РЗЭ – редкоземельные элементы;

РЗМ – редкоземельные металлы;

РМ – редкие металлы;

СГП – склад готовой продукции;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

3. Нормативные ссылки:

ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные надписи.

ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы.

ГОСТ 2.721-74 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения.

ГОСТ 3.1105-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Формы и правила оформления документов общего назначения.

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.

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 134 с., – 29 рис., – 31 табл., – 53 источника литературы, – 4 приложения.

Ключевые слова: сублимация, десублимация, непрерывный сублиматор, фторирование, фтораммонийная технология.

Объектом исследования является профторированное ильменитовое сырье Туганского месторождения Томской области.

Цель работы – спроектировать аппарат для проведения непрерывной сублимационной очистки фтораммонийных комплексов титана от примесей, таких как железо, кремний алюминий и других металлов.

В процессе исследования проводились эксперименты по сублимационной очистке фторированного продукта содержащего фтораммонийные комплексные соли титана, железа, кремния, алюминия и других металлов с целью отделения титана от примесей. В результате исследований определены оптимальные параметры введения процесса сублимации для выделения отдельных компонентов из смеси фтораммонийных комплексных солей титана, железа, кремния и других металлов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Объем и габаритные размеры основного аппарата составляют: $V = 0,13 \text{ м}^3$; $D = 0,41$; $L = 5 \text{ м}$; $n_{\text{шнека}} = 2 \text{ об/мин}$.

Степень внедрения: проект находится на стадии разработки.

Область применения: сублимационное разделение смесей фторметаллатов аммония.

В будущем планируется улучшение технологической схемы, подбор оптимальных параметров на следующих стадиях переработки, всевозможные усовершенствования проекта по переработки ильменитовых руд фтораммонийным методом, которые могут увеличить эффективность переработки и снизить себестоимость конечного продукта.

Содержание

Введение.....	12
2 Обзор литературы	17
3 Аналитический обзор рассматриваемого процесса.....	22
3.1 Теория процесса сублимации	22
3.2 Краткий обзор существующих сублимационных аппаратов	27
3.3 Сублимационно-десублимационное оборудование для переработки фторидов РЗМ.....	32
3.4 Термодинамика процесса сублимации	36
3.5 Кинетика процесса сублимации	38
4 Экспериментальная часть.....	40
4.1 Методика проведения исследований	40
4.1.1 Описание экспериментальной установки.....	41
4.1.2 Приборы и методы анализа.....	46
4.1.3 Реактивы для проведения исследования и анализа.....	47
4.1.4 Порядок проведения эксперимента.....	48
4.2 Результаты и их обсуждения.....	49
5 Укрупненное проектирование	55
5.1 Описание аппаратурно-технологической схемы участка переработки титансодержащего сырья.....	55
5.2. Расчет материального баланса.....	57
5.2.1 Материальный баланс стадии фторирования.....	58
5.2.2 Материальный баланс улавливания реакционных газов и их очистки	62
5.2.3 Материальный баланс процесса сублимации	66
5.3 Тепловой баланс сублимации	69

5.4 Расчет основного аппарата.....	70
5.4.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата.....	70
5.4.1.1 Расчет шнека питателя.....	75
5.4.1.2 Расчет шнека для разгрузки огарков.....	76
5.4.1.3 Расчет габаритов десублиматора.....	79
5.4.2 Механический расчет.....	83
5.4.2.1 Расчёт вала шнека на прочность.....	83
5.4.2.2 Расчёт вала шнека на жёсткость.....	86
5.4.2.3 Расчет барабана на прочность.....	87
5.4.2.4 Расчет барабана на жесткость.....	89
5.4.3 Гидравлический расчет.....	90
5.4.3.1 Газодинамический расчет.....	90
5.4.4 Энергетический расчет.....	91
5.4.4.1 Расчет теплоизоляции.....	92
6 Автоматизация процесса.....	94
6.1 Введение.....	94
6.2 Описание функциональной схемы автоматизации сублиматора.....	95
6.3. Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации.....	96
6.4 Подбор контрольно-измерительных приборов.....	97
6.5 Пуск и остановка технологического процесса.....	99
7 Охрана труда и техника безопасности.....	101
7.1 Введение.....	101
7.2 Общая характеристика производства.....	101
7.3 Промышленная санитария.....	102

7.5 Микроклимат	106
7.6 Электробезопасность	108
7.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации.....	109
7.8 Производственное освещение.....	110
7.9 Пожарная безопасность	111
7.10 Охрана окружающей среды	112
7.10 Вывод.....	113
8 Экономический расчет.....	114
8.1 Расчет капитальных затрат на аренду	114
8.2 Расчёт эффективного фонда времени	114
8.3 Расчет стоимости оборудования.....	121
8.4 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования.....	122
8.5 Расчет технологических затрат.....	123
8.6 Расчет затрат на реагенты	125
8.7 Калькуляция себестоимости передела.....	125
Заключение	127
Список использованных источников	128
Список публикаций студента	
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	
Приложение Г	
Приложение Д	
Графический материал на отдельных листах:	
ФЮРА.066550.006 ФХОП	Физико-химические основы процесса
ФЮРА. 066550.006 РИ	Результаты исследований

ФЮРА. 066550.006 ПТС	Принципиальная технологическая схема
ФЮРА. 066550.006 АТС	Аппаратурно-технологическая схема
ФЮРА. 066550.006 СБ	Сборочный чертеж
ФЮРА. 066550.006 ТЭП	Технико-экономические показатели
ФЮРА. 066550.006 ФСА	Функциональная схема автоматизации

Введение

Редкие элементы (РЭ) – это условное название большой группы элементов (свыше 60 [1]), куда входят Li (литий), Be (бериллий), Ga (галлий), In (индий), Ge (германий), V (ванадий), Ti (титан), Mo (молибден), W (вольфрам), редкоземельные элементы, а также инертные газы.

Актуальность. Редкие металлы (РМ) для Российской Федерации являются остродефицитным сырьем. В последние несколько лет резко выросли интересы к редким металлам. Это связано с изменением конъюнктуры рынка и развитием технологий, определяющимся ростом спроса на металлы и их сплавы, обладающие уникальными технологическими свойствами, благодаря которым они могут эффективно использоваться в современных технологиях.

В 2011 году министерство энергетики США провело исследование мировых запасов, спроса, и потребления редких материалов, используемых при создании оборудования в секторе чистых технологий и альтернативной энергетики. В ходе данного исследования эксперты пришли к выводу, что ряд РМ являются критическими для энергетических технологий, т.к. уже в ближайшее время их потребление может превысить объемы мировых поставок. В результате, сформировалось новое понятие – «критические элементы», от которых зависит устойчивое развитие и обороноспособность государства [2]. В перечне этих «критических элементов» выступает Ti (титан).

Несмотря на то, что Россия занимает второе место в мире по запасам РЗМ, индивидуальные РЗМ и их смеси для нужд российского металлургического комплекса приобретаются у зарубежных производителей. Сложившаяся ситуация приводит к сырьевой зависимости от импортных производителей.

Данная ситуация требует решения. Одно из которых – это поиск новых способов переработки руд и минералов, содержащих РЗМ, позволяющих осуществить комплексную разработку месторождений с возможностью регенерации используемых в технологической цепочке реагентов и высокой

степенью извлечения РЗМ и других разделяемых веществ из перерабатываемого сырья. Выполнение этих требований позволит снизить себестоимость конечного продукта.

В рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» от 15.04.2014 года (подпрограмма 15 «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов») производятся разработки и применение передовых промышленных технологий, нацеленных на формирование и освоение новых рынков инновационной продукции, эффективно решающих задачи обеспечения экономического развития и обороноспособности страны. Таким образом, в настоящее время одно из ведущих мест в производстве редких металлов имеют редкометалльно-титановые и оловоносные россыпи.

Потребность в титановом минеральном сырье для России можно условно определить, исходя из уровня потребления (в концентратах) на душу населения в экономически развитых странах – от 4,0 до 4,5 кг. В такой оценке потребность может составить от 600 до 675 тыс. тонн TiO_2 в концентратах. Минимальная же потребность оценивается величиной не менее 300 тыс. тонн.

Значительную роль в обеспечении минерально-сырьевой базы титана, циркония, редких и редкоземельных элементов в России играют цирконий-ильменитовые россыпные месторождения (рисунок 1).

В Западно-Сибирском регионе, кроме рассыпного Туганского месторождения, в Томской области находится Георгиевское, в Новосибирской – Ордынское, в Омской – Тарское рассыпные месторождения.

Промышленное значение имеет оксид титана и железа – ильменит, и диоксид титана – рутил, а также диоксид титана, образующийся в гипергенных условиях (в основном по ильмениту) – лейкоксен.

Диоксид титана входит в двадцатку важнейших неорганических соединений, уникальные свойства которого определяют научно-технический прогресс во многих секторах экономики. В производстве пигментного диоксида титана используется около 90 % ежегодно добываемых титановых

минералов. По разведанным запасам титана страны СНГ занимают первое место в мире, большая часть (60 %) сосредоточена в России [3].



Рисунок 1 – Размещение основных россыпных месторождений титана и циркония в России и СНГ

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 титана от примесных металлов, для этого было решено исследовать сублимационный метод очистки целевого продукта от примесей, с целью получения технического диоксида титана.

Цель работы: исследовать непрерывный процесс сублимационного разделения смеси фтораммонийных комплексов на составляющие компоненты

на лабораторной установке, и на основе проведенных опытов, произвести расчет сублимационного аппарата шнекового типа производительностью 10 000 тонн в год по исходной смеси

Объектом исследования является профторированное ильменитовое сырье Туганского месторождения Томской области.

Предметом исследования является исследование влияния температуры сублимации и скорости прохождения сырья через реактор на степень разделения компонентов, а также на чистоту получаемых продуктов.

Научная и практическая новизна заключается в следующем:

– получены показатели степени выделения гексафторотитаната аммония и других сопутствующих элементов из ильменитового концентрата при его сублимации;

– определены оптимальные технологические параметры ведения процесса сублимации и десублимации с высокими показателями степени очистки фтораммонийного комплекса титана от железа, алюминия, кремния и других металлов;

– предложена принципиальная технологическая схема и технологическая схема цепи аппаратов отделения титана от сопутствующих элементов, обеспечивающая комплексную очистку фторированного ильменитового концентрата

Практическая значимость результатов ВКР. Областью применения данного проекта является химическая технология редких металлов. Исследованию подвергался ильменит с Туганского циркон-ильменитового рассыпного месторождения, находящегося в 32 км к северо-востоку от г. Томска. Данные полученные при исследовании, рассчитанные и приведенные в 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 сублимации комплексных солей титана, железа, кремния, алюминия и

других металлов. Результаты, полученные в ходе исследований и отдельные положения работы, были опубликованы в журнале «Актуальные проблемы современной науки в 21 веке» – сборник материалов 12-й международной научно-практической конференции., (г. Махачкала, 25 декабря, 2016 г.)

2 Обзор литературы

На протяжении XIX в. титан не привлекал к себе особого внимания химиков, так как долгое время не находил практического применения. Первым толчком к расширению исследований по химии титана послужило создание в 1916 г. промышленного производства диоксида титана, который оказался прекрасным белым пигментом, превосходящим по своим качествам цинковые и даже свинцовые белила. Бурное развитие химии титана началось после разработки У. Кролем в 1940 г. Метода производства металлического титана, обладающего ценными свойствами и представляющего большой интерес для многих отраслей новейшей техники.

Широкое развитие получили исследования металлических соединений титана, а так же галогенидов, которые стали применяться в производстве металлического титана, титанорганических соединений, представляющих интерес для создания термостойких пластмасс и комплексных соединений [4].

Известно два основных способа получения диоксида титана: сульфатный и хлорный.

В 1931 г. в промышленность был внедрен сульфатный способ, для производства анатазной формы диоксида титана, а позже, в 1941 г. – рутильной.

В 1950 г. компанией «DuPont» был разработан хлорный способ, для производства рутильной формы диоксида титана.

Динамика исследований по получению диоксида титана и их патентования суммарно по всем странам имеет пик, приходящийся на 1997-2001 года, когда количество зарегистрированных за год заявок достигало более 30. Наибольшая изобретательская активность выявлена в США и Российской Федерации с 90-х годов. В РФ практически каждый год публиковался минимум один патент. За исследуемый период РФ и США в сумме опубликовало свыше 96 патентов.

В 2008 г. разработана технологическая схема фтороаммонийной переработки ильменита до диоксида титана и оксида железа с регенерацией

всех вспомогательных реагентов. Схема данной технологии представлена на рисунке 2.

По данной схеме ильменитовый концентрат подвергают гидрофторированию с использованием фторида аммония при 150 – 200° С, образующиеся при этом фтороаммонийные комплексные соли титана и железа, при температуре более 300° С разлагаются на дифторид железа и тетрафторид титана. При гидрофторировании ильменита, образуются смеси газов: аммиак и пары воды, которые направляются на конденсацию гидроксида аммония, что позволяет использовать его для осаждения ГДТ.

После полного вскрытия ильменита, в интервале температур 200-300° С вследствие разложения фтороаммонийных комплексов, смесь газов состоит из аммиака и фтороводорода, которая направляется на регенерацию фторида аммония. При температуре 300° С NH_4TiF_5 (пентафторотитанат аммония), разлагается с выделением газовой фазы: тетрафторида титана, аммиак и фтороводорода, данная смесь газов направляется на конденсацию. При увеличении температуры смеси до 500° С происходит полное отделение титана от железистой составляющей и других примесных элементов.

После сублимации тетрафторида титана, остаток смеси представляет собой дифторид железа, который далее направляется на переработку в печь окислительного пирогидролита с образованием оксида железа (III). Переработка ильменитового концентрата фторидом аммония позволяет отделить титан сублимацией на 98 %, что позволяет использовать твердый остаток (огарок), для получения железооксидного пигмента.

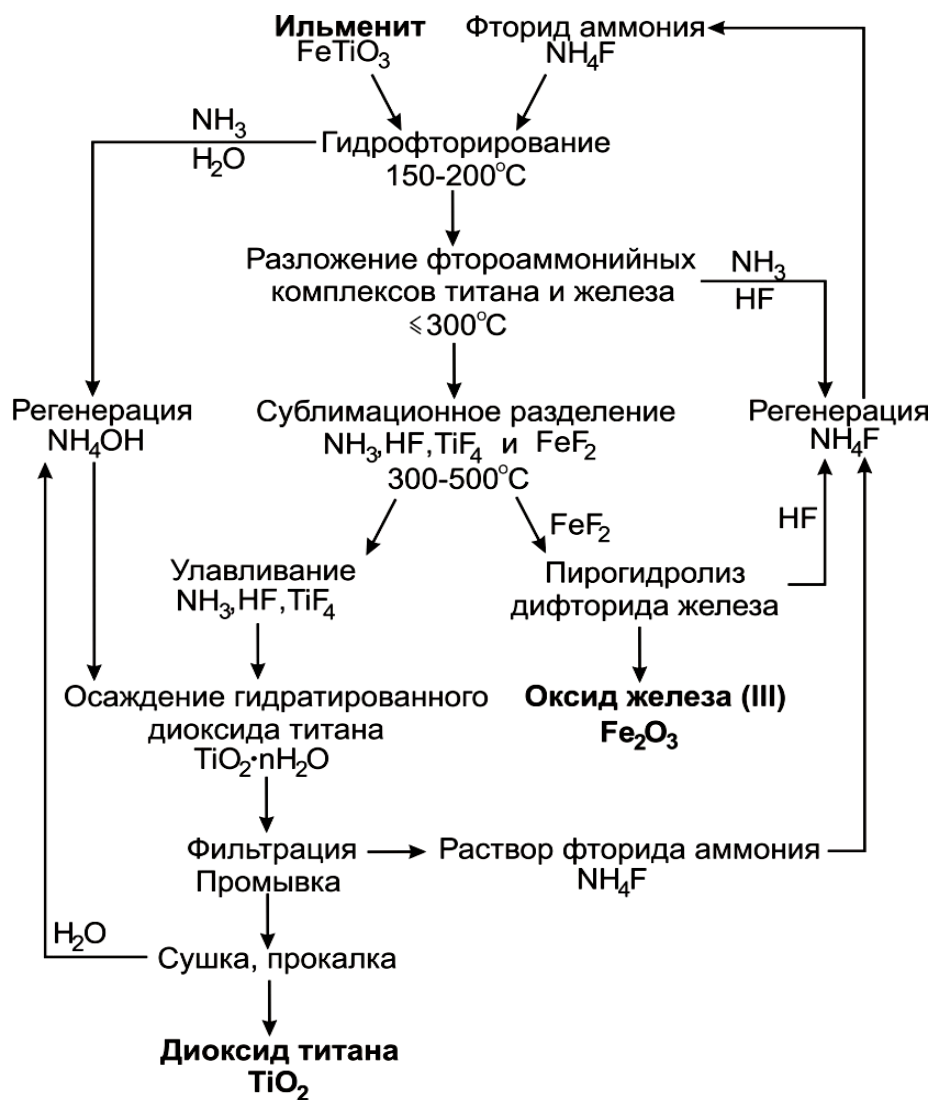


Рисунок 2 – Технологическая схема фтороаммонийной переработки ильменита до диоксида титана и оксида железа

Содержание диоксида титана в железоксидном пигменте 3-4 % масс., что позволяет использовать его для получения красных и желтых пигментов. Структурная форма железа определяется режимами пирогириролиза дифторида: при температуре процесса ниже 530°C , образуется пигмент красного цвета, при 550°C и выше – коричневый, или желтый при разбеливании [5].

Отделенный тетрафторид титана от примесей, улавливается водой с образованием раствора гексафторотитаната аммония. Далее раствор подвергается аммиачному гидролизу, который приводит к образованию коллоидного раствора. После фильтрации данного раствора, полученный

осадок подвергается разбавлением аммиаком (25 %) до pH=12 с переходом остаточного фторида аммония в раствор, затем снова фильтруется для отделения осадка ГДТ высокой чистоты. В результате гидролиза фторидного раствора титана получается раствор фторида аммония. Маточный раствор после первой и второй фильтрации направляется на упаривание с целью возврата фторида аммония, который вновь направляется на разложение следующей партии ильменита.

В зависимости от требуемой структуры конечного титанового пигмента, термообработку пасты ГДТ проводят в двух режимах: при 600° С с получением рутила, или при 500° С с получением анатаза [5].

Фтороаммонийный метод позволяет в одну стадию выделить из ильменита тетрафторид титана и перевести его в форму диоксида титана. Метод сочетает в себе операции по разложению ильменита с одновременной очисткой от примесей. Метод не требует использования агрессивных реагентов и не приводит к образованию жидких или каких-либо других отходов. Предлагаемый способ позволяет получать как рутильную, так и анатазную форму диоксида титана [6].

Замкнутость схемы и возможность практического возврата всех реагентов в систему позволяет организовать высокотехнологичный участок с высокими экономическими показателями.

Разработанная схема производства пигментного диоксида титана и оксида железа (III), так же имеет ряд недоработок. Основными вопросами и недостатками рассматриваемой схемы было:

- 1) Остывание полупродуктов при переходе от одного аппарата к последующему;
- 2) Отсутствие непрерывности. Сублиматор и десублиматор работают в периодическом режиме;
- 3) Отсутствие стадии водоподготовки;
- 4) Несбалансированность производительности между аппаратами.

В связи с необходимостью решения данных вопросов, была поставлена задача разработки и проектирования сублиматора непрерывного действия. Данный аппарат должен обеспечивать максимальный съем продукта (в виде газа) с единицы поверхности, иметь максимальную степень сублимации вещества при минимальном времени пребывания его в аппарате. Должна быть предусмотрена автоматизация процесса, а также должен осуществляться контроль параметров сублимации.

3 Аналитический обзор рассматриваемого процесса

3.1 Теория процесса сублимации

Чаще всего методы глубокой очистки веществ разделяют на две большие группы: «водные» и «безводные» или «сухие». Причем в основе классификации заложено использование или отказ от примесей водной фазы в процессе очистки независимо от физической или химической природы взаимодействия.

Наиболее распространёнными «водными» методами очистки веществ являются кристаллизация из растворов, ректификация, адсорбция, ионный обмен, экстракция, электролиз.

К «сухим» методам очистки веществ от примесей можно отнести метод транспортных реакций, молекулярную дистилляцию, зонную плавку, сублимацию. Эти методы, как правило, не требуют громоздкой, сложной аппаратуры или введения специальных дополнительных веществ. В то же время отсутствие водных растворов на всех стадиях очистки дает возможность с помощью безводных методов получать ультрачистые продукты, практически не содержащие примеси OH^- , O_2 , H_2O .

В технологии получения ряда чистых веществ и полупродуктов особое значение имеет, так называемый, сублимационно-десублимационный передел.

Сублимационные процессы используют практически во всех отраслях промышленности: химической, пищевой, медицинской, металлургической, электронной и других. Их применяют для получения новых продуктов в результате химической реакции между исходными газообразными реагентами (например, хлоридов аммония и металлов, цианурхлорида, технического углерода - сажи), для очистки веществ (йода, хлоридов, фторидов, полупроводниковых материалов и др.), для сублимационной сушки термочувствительных материалов и так далее [7].

Сублимацию, а это фазовый переход твёрдого вещества в газообразное, минуя жидкую фазу, в зависимости от условий проведения процесса можно условно классифицировать по схеме, показанной на рисунке 3 [8].

Процессы сублимации и десублимации являются рафинировочными операциями. Причем, при сублимации основной (целевой) продукт очищается от менее летучих веществ, а при десублимации – от более летучих. Эти процессы широко используются для очистки технологических газов, выделения продуктов из парогазовых смесей, сублимационного обезвоживания, отделения радиоактивных отходов, очистки летучих твердых продуктов от нелетучих или труднолетучих веществ и т.д. [9].

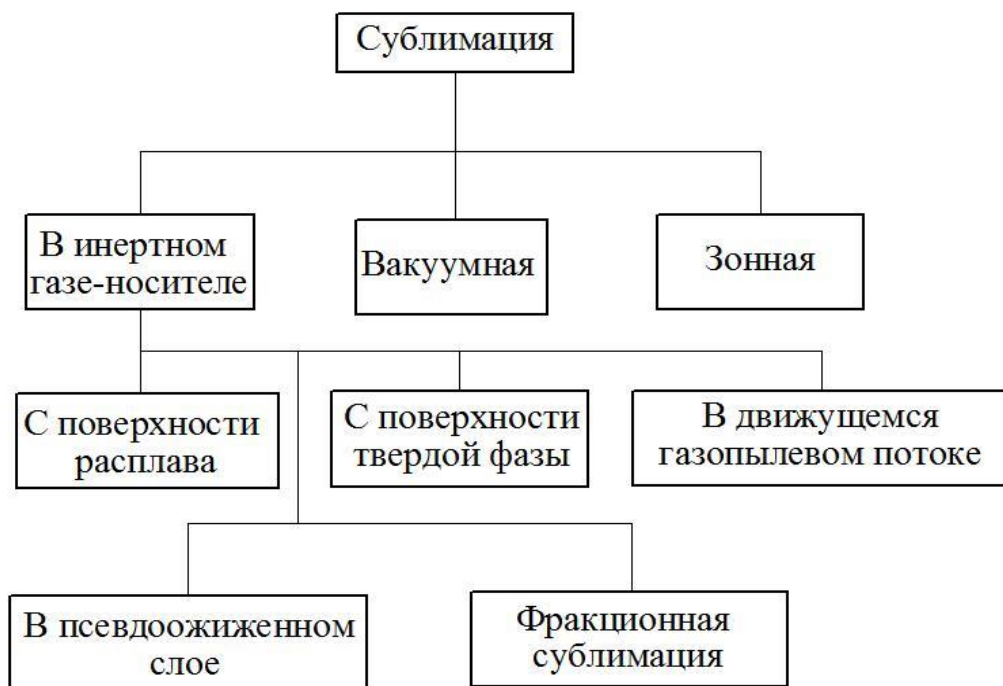


Рисунок 3 – Классификация способов сублимации

Сублимационно-десублимационную очистку веществ можно проводить как в двух различных аппаратах, так и в одном комбинированном аппарате, в котором зоны сублимации и десублимации, размещаются в одном корпусе аппарата, и лишь пространственно отделены друг от друга [10].

В зависимости от состава исходного вещества и технологических параметров (температуры и давления) при сублимации может происходить полное или частичное испарение вещества. Целью полной сублимации является получение чистых паров испаряемого вещества или парогазовой смеси (ПГС). Полное испарение обычно имеет место при переработке индивидуальных веществ. Оно может осуществляться без использования или с использованием газа-носителя.

Частичная (фракционная) сублимация имеет место при переработке многокомпонентных твердых смесей. Целью фракционной сублимации может быть выделение ценных или вредных компонентов из исходной смеси, глубокая очистка вещества от примесей. Фракционная сублимация так же может быть осуществлена без использования (рисунок 4) и с использованием инертного газа-носителя.

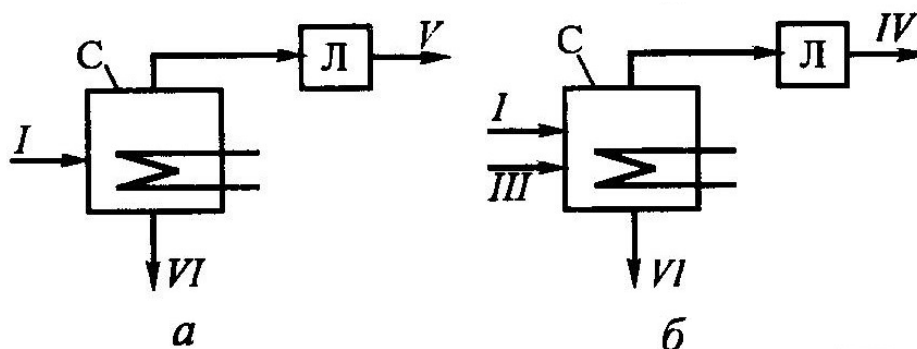


Рисунок 4 – Принципиальные схемы процессов сублимации, где а) частичная сублимация без газа-носителя; б) частичная сублимация с газом носителем; I – исходное вещество; II – чистые пары; III – газ-носитель; IV – парогазовая смесь; V – паровая фракция; Л – ловушка.

В промышленности отсутствуют типовые конструкции десублиматоров. Это объясняется, как и для сублимационных аппаратов, многовариантностью способов ведения десублимации. Десублимация может быть организована при нормальном и при пониженном давлении, в вакууме или в потоке инертного газа. В зависимости от условий процесса продукт можно получать в виде

монолита (крупных кусков) или порошка. По способу выделения твердой фазы из газового потока десублиматоры делят на три группы: поверхностные, объёмные и смешанные. Классификацию способов ведения процесса в поверхностных десублиматорах можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Классификация поверхностных десублиматоров

В поверхностных аппаратах десублимация из парогазовой смеси протекает на охлаждаемой поверхности. Такая десублимация является наиболее распространенным технологическим приёмом выделения продукта из парогазовой смеси. Сами десублиматоры – простые по конструкции, но имеют ряд недостатков. Например, периодическое действие работы, значительные габариты (для получения развитой охлаждаемой поверхности), что снижает удельную производительность оборудования. Для съёма продукта со стенок,

аппараты периодически обстукивают деревянными молотками или специальными вибраторами. Десублимат выгружают через нижние люки аппаратов. Продукт получается в виде кусков, что требует дополнительные операции по дроблению, измельчению и классификации. Поверхностные десублиматоры могут работать и в непрерывном режиме, что определяет способ удаления десублимата. Объёмные десублиматоры сочетают простоту конструкции и непрерывность процесса с большой эффективностью. Образование и рост твердой фазы происходит во всём рабочем объёме аппарата, что позволяет получить продукт в виде порошка заданного гранулометрического состава. Классификация конструкций объёмных десублиматоров показана на рисунке 6.

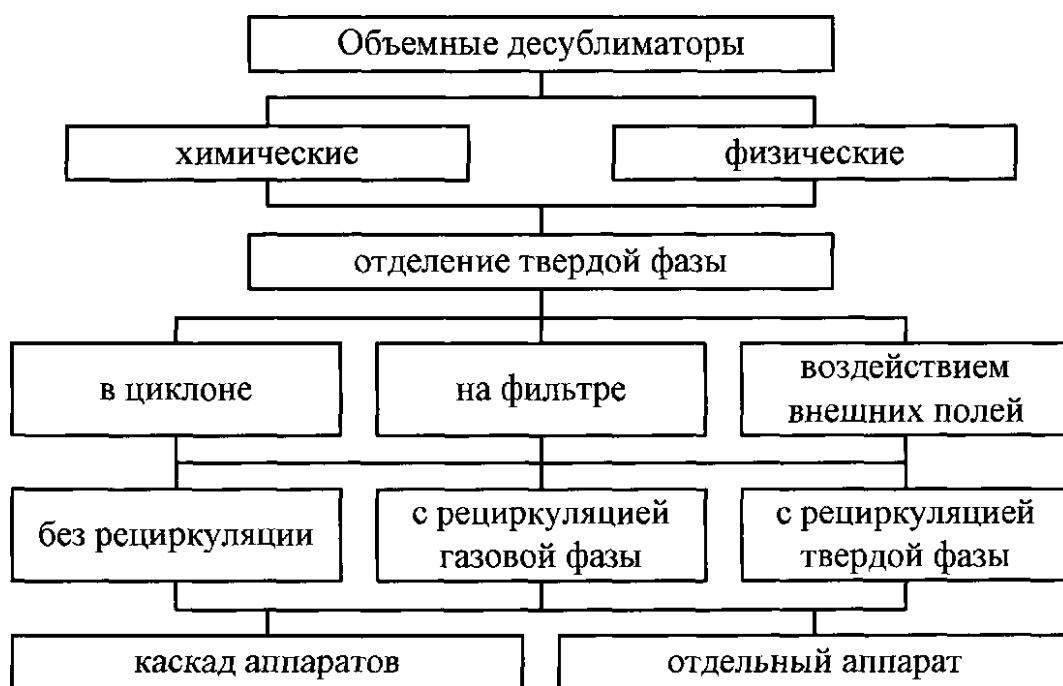


Рисунок 6 – Классификация объёмных десублиматоров

Десублимацию в объёме можно осуществлять простым способом – путём смешивания ПГС с газообразным хладагентом, например инертным газом. Недостатком такого метода объёмной десублимации является

существенное разбавление парогазовой смеси. Часть продукта выделяется в виде тонкодисперсного аэрозоля, который трудно улавливается.

К третьей группе можно отнести десублиматоры, в которых процесс происходит на поверхности насадки, помещенной в аппарат. Следует отметить, что в реальных аппаратах всегда имеют место два, а то и все три упомянутых вида десублимации, но в зависимости от конструктивного оформления аппарата и режима работы один из видов процессов преобладает, а другой вид ухудшает показатели работы десублиматора, и требует дополнительных мер по снижению отрицательного влияния второстепенного фактора десублимации.

3.2 Краткий обзор существующих сублимационных аппаратов

При проектировании сублимационного оборудования приходится решать такие вопросы как увеличение объема продукта с единицы поверхности, обеспечение более полной сублимации вещества при малом времени пребывания его в аппарате, компактность оборудования, непрерывность процесса, исключение ручного труда и т.д.

В ходе проектирования сублимационных аппаратов для более эффективного проведения процесса сублимации стремятся располагать сублиматор и десублиматор как можно ближе друг к другу. Для этого применяют короткую соединительную трубу большого диаметра и располагают сублимационную и десублимационную зоны в одном аппарате. Для нагревания сублимируемого вещества нижняя часть корпуса аппарата помещена внутрь нагревателя (рисунок 7).

Сублимационный аппарат для очистки веществ, разработанный в Чехии, обеспечивает механизированное удаление остатка из сублиматора и транспортировку сублимата в сборник готового продукта (рисунок 8). Работа происходит при относительно высоких температурах и давлении. В установке применен нагревательный цилиндр, внутри которого перемещается сырье, перемешиваемое механическим устройством – лопастным питателем.

Это же устройство служит для удаления осадка. Конденсатор выполнен так же в виде с охлаждаемой поверхностью, с которой сублимат непрерывно удаляется скребками на стальных пружинах. Лопастной питатель и скребки установлены на одном общем валу, вращающемся в цилиндре, одна часть которого служит сублиматором, а другая – десублиматором. Полый вал с лопастями и скребками обогревается изнутри. Обогрев оси шнека необходим, так как в противном случае на нем наблюдается конденсация продукта.

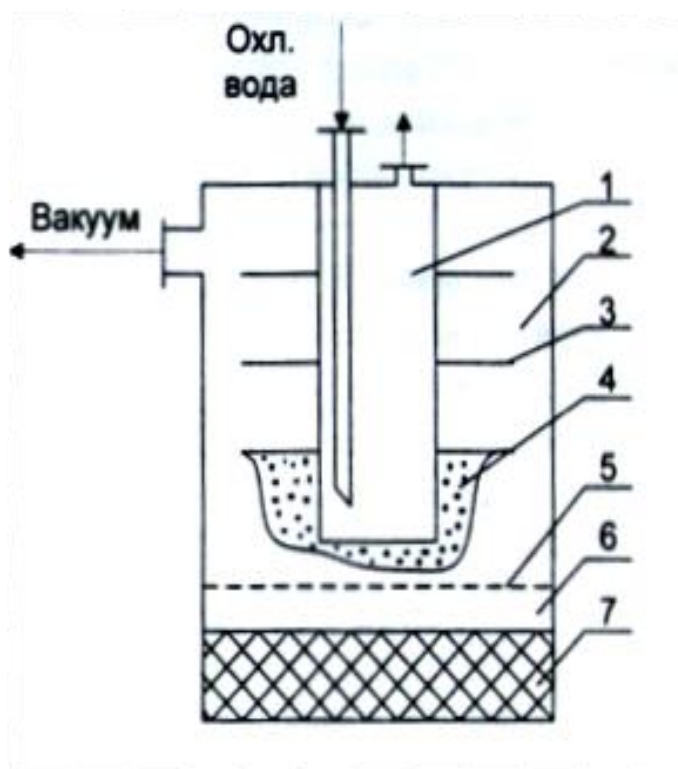


Рисунок 7 – Аппарат для сублимации магнезии, где 1 – зона охлаждения; 2 – конденсационная зона; 3 – тарелки; 4 – готовый продукт; 5 – металлическая сетка; 6 – сублимационная зона; 7 – сырая магнезия.

Как показали исследования, эффективность очистки вещества сублимацией можно значительно повысить, если пар очищаемого вещества пропускать через слой сорбента. Аналогичный результат получается при прохождении пара над слоем сорбента.

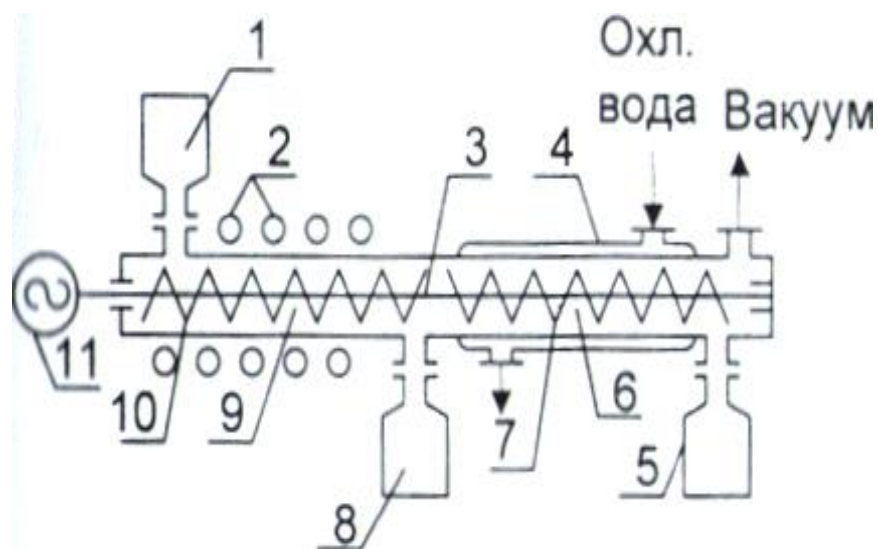


Рисунок 8 – Сублимационная установка полунепрерывного действия, где 1 – бункер для сырья; 2 – нагреватели; 3 – вал; 4 – водяная рубашка; 5 – бункер для готового продукта; 6 – конденсатор; 7 – скребки; 8 – бункер для не сублимируемого остатка; 9 – сублиматор; 10 – лопасти; 11 – привод.

На рисунке 9 показан вакуумный аппарат сублимационной очистки периодического действия. Сублимирующее вещество загружается в нижнюю часть реторты, испаряется, и его пары проходят через слой сорбента. В верхней части аппарата находится конденсатор, на котором происходит десублимация паров.

Недостатком аппаратов периодического действия является то, что они пригодны к работе не со всяким сублимируемым веществом, т.к. плотность паров его должна быть такой, чтобы была возможность создать псевдооживленный слой сорбента. Использование газа-носителя увеличивает пылеунос сорбента и тем самым загрязняет конечный продукт.

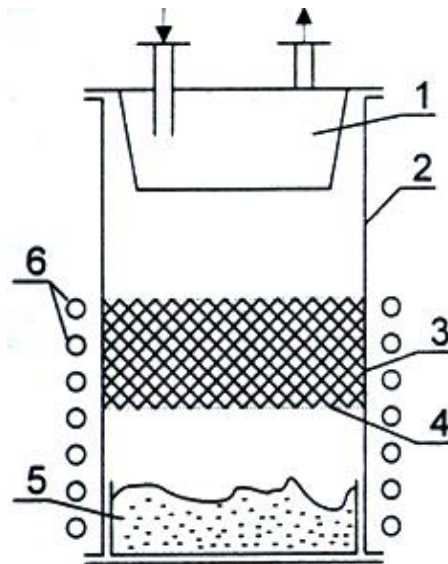


Рисунок 9 – Вакуумный сублимационный аппарат периодического действия, где 1 – десублиматор; 2 – реторта; 3 – сорбционная камера; 4 – пористая перегородка; 5 – стакан-испаритель; 6 – нагреватель.

Аналогичные по назначению сублимационные аппараты, показанные на рисунке 10 [11].

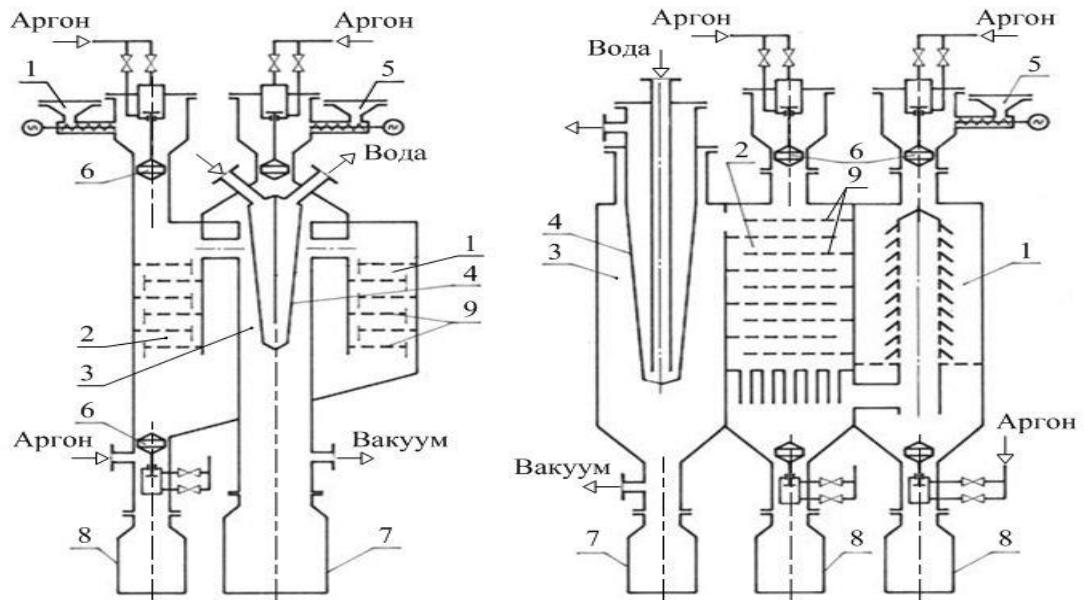


Рисунок 10 – Сублимационные аппараты для непрерывной очистки веществ, где 1 – сублимационная зона; 2 – сорбционная зона; 3 – зона конденсации; 4 – десублиматор; 5 – бункер с ТФЦ; 6 – клапан; 7 – бункер для продукта; 8 – бункер для отработанного сорбента и остатков; 9 – перфорированные полки.

Так же очень распространены сублиматоры непрерывного действия. В непрерывный вакуумный сублиматор (рисунок 11) сырой продукт подают с помощью дозатора, соединенного с сублиматором, сублимируют при непрерывном перемешивании посредством внешнего нагрева, а остаток выгружают отдельно. Для предотвращения уноса мелкодисперсных частиц парами сублимируемого вещества на выходе аппарата устанавливают фильтр.

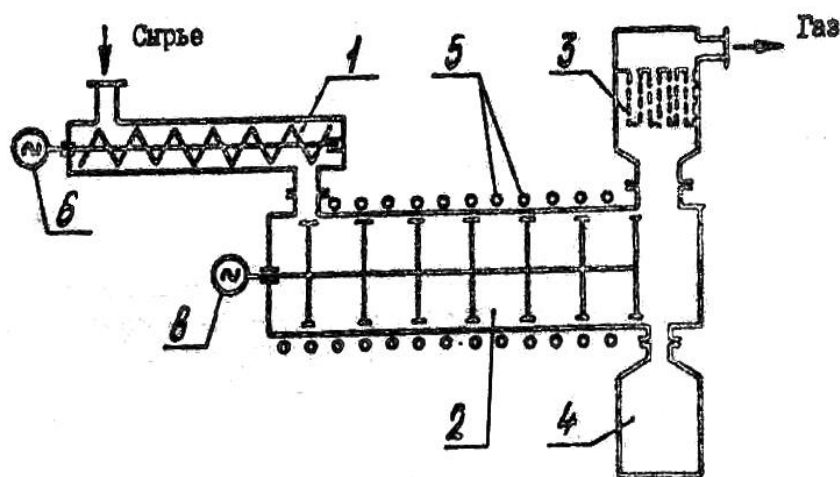


Рисунок 11 – Сублимационная установка непрерывного действия, где 1 – дозатор; 2 – сублиматор; 3 – фильтр; 4 – бункер для остатка; 5 – нагреватели; 6 – привод.

Основным фактором, замедляющим процесс сублимации, является термическое сопротивление слоя шлака из несублимирующихся примесей, образующегося на поверхности нагрева [12]. Для увеличения интенсивности процесса необходимо применять какое-либо воздействие на слой сублимируемого материала с целью повышения теплоотдачи от поверхности нагрева. При всём многообразии конструктивного оформления существующих сублимационных аппаратов с дисперсным материалом фактически в них реализуют один из двух методов воздействия на слой - это уплотнение или перемешивание (или их комбинация), либо можно ввести в сублимируемый продукт вещества, увеличивающих этот коэффициент.

3.3 Сублимационно-десублимационное оборудование для переработки фторидов РЗМ

Основными причинами отсутствия типового оборудования пригодного для проведения процесса сублимационной переработки фторидов редких элементов являются тяжёлые условия эксплуатации оборудования, обусловленные параметрами процесса: коррозионно-активная среда (фтор, фтороводород, фторидные соединения) при достаточно высокой температуре до 1000° С.

Кроме того аппарат должен обеспечивать максимальную степень сублимации исходного материала при минимальном времени пребывания в аппарате, а в случае «глубокой» очистки продукта не должен загрязнять пары исходного продукта и обеспечивать полное улавливание (десублимацию) паров очищенного продукта без уноса его из аппарата виде аэрозолей. Также должны обеспечиваться условия соблюдения обычных правил техники безопасности и промышленной санитарии, предъявляемых при конструировании химических аппаратов: гарантировать надёжность и герметичность установки, а оборудование для гексафторида урана должно дополнительно соответствовать правилам ядерной безопасности. Основные принципы при проектировании сублимационных установок – это простая геометрическая форма; минимальное количество или полное исключение движущихся или трущихся частей и узлов, подверженных нагреву; реакционные зоны (сублимации и десублимации) должны размещаться на минимальном расстоянии друг от друга, а также должна учитываться простота обслуживания установки.

Для очистки тетрафторида циркония от различных примесей путём вакуумной сублимации существует аппарат периодического действия [13], показанный на рисунке 12.

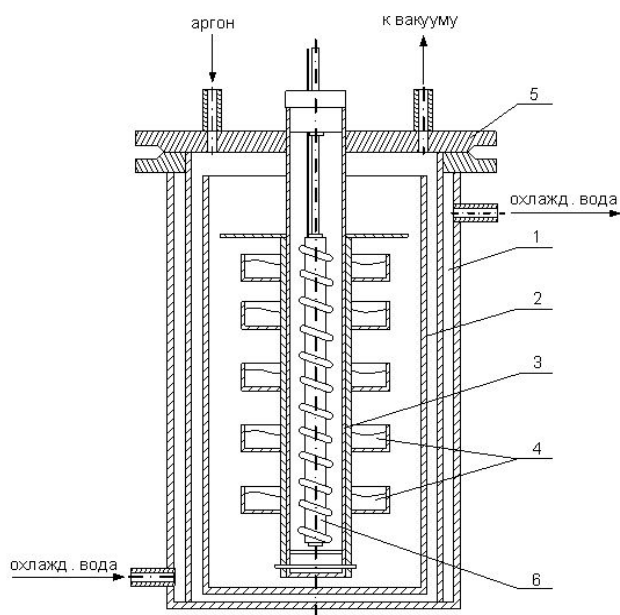


Рисунок 12 – Вакуумный сублимационный аппарат,

где 1 – корпус; 2 – десублиматор; 3 – сублиматор; 4 – тарелки с очищаемым материалом; 5 – крышка аппарата; 6 – электронагреватель.

Корпус 1 сублимационного аппарата снабжён водяной рубашкой. Десублиматор 2 в виде стакана, установлен на минимальном расстоянии от внутренней поверхности охлаждаемого корпуса аппарата. Сублиматор 3, выполнен в виде трубы из жаропрочной стали с установленными на ней тарелками 4, на которые загружают исходный очищаемый продукт. Сублиматор крепится к крышке 5 аппарата. Внутри сублиматора установлен съёмный электронагреватель 6. Посредством термопары, внутри аппарата, контролируют температуру продукта на тарелке в средней части сублиматора. Давление в аппарате контролируют мановакууметром. Загруженный и плотно закрытый аппарат вакуумируют и нагревают от 500 до 550° С. Затем аппарат заполняют инертным газом. После этого температуру в сублиматоре доводят до рабочей (750-800° С), аппарат снова вакуумируют и проводят процесс сублимации. После окончания процесса отключают нагрев, аппарат заполняли инертным газом до атмосферного давления. Охладив сублиматор, снимается крышка вместе с сублиматором и из корпуса извлекается десублиматор с

продуктом. Десублимат снимают со стенок десублиматора ударным способом, а из тарелок сублиматора удаляется несублимируемый остаток. Затем процесс повторяется.

С целью увеличения производительности аппарата за счёт непрерывности ведения процесса был разработан сублимационный аппарат, для получения высокочистого тетрафторида циркония, показанный на рисунке 13 [14].

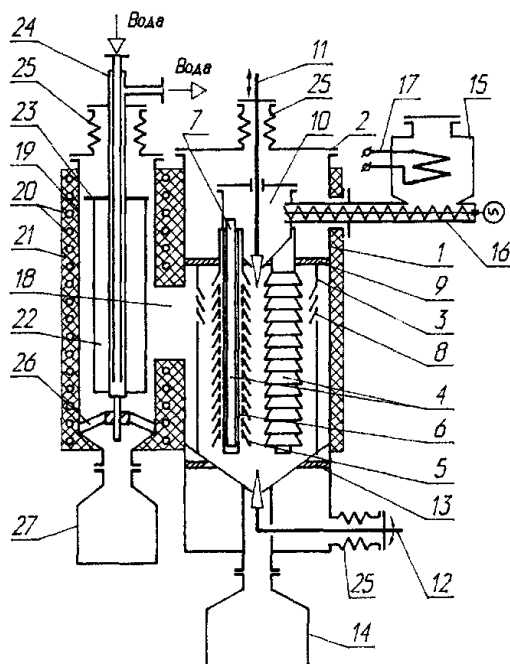


Рисунок 13 – Сублиматор,

где 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – корпус сублиматора; 4 - испаритель; 5 – обечайки; 6 – трубчатый корпус; 7 – нагреватель; 8 – конусные обечайки; 9 – нижняя крышка; 10 – узел загрузки; 11, 12 – затвор; 13 – днище; 14 – бункер для остатка; 15 – загрузочный бункер; 16 – шнек 17 – подогреватель; 18 – паропровод; 19 – конденсатор; 20 – обогреватель; 21 - теплоизоляция; 22 – насадка; 23 – крышка; 24 – узел охлаждения; 25 - сильфоны; 26 – упор; 27 – бункер для продукта.

Аппарат имеет отдельные камеры сублимации и десублимации. Сублимационная камера состоит из загрузочного узла 10, разгрузочного

устройства 12, цилиндрического корпуса 3 и конического днища 13. На внутренней верхней части корпуса установлены три конусных козырька 8, под которыми расположены отверстия для выхода пара из сублимационной камеры в десублимационную.

Типовая конструкция десублиматора. представлена на рисунке 14. Показан аппарат с тепловым сбросом для десублимации низкообогащённого гексафторида урана [15]. Аппарат состоит из цилиндрического корпуса 1 и конического днища 2, обогреваемых змеевиком 3.

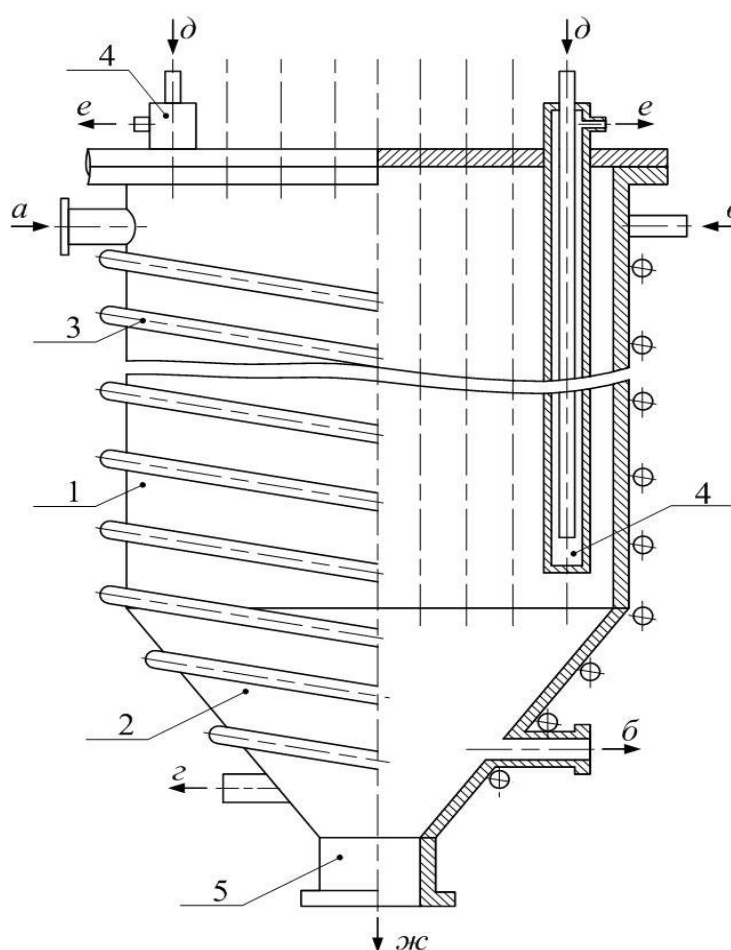


Рисунок 14 – Аппарат с тепловым сбросом,

где а, б – вход и выход технологического газа; в, г – вход и выход теплоносителя; д, е – вход и выход хладагента; ж – выход твёрдого продукта.

На крышке корпуса расположено несколько рядов трубок Фильда 4, в которые подаётся хладагент или теплоноситель. В аппарат подаётся технологический газ, содержащий пары продукта, из которого на трубках Фильда выделяется десублимат. Периодически, по мере накопления десублимата, в один из рядов трубок Фильда подаётся теплоноситель и с поверхности трубок этого ряда твёрдый UF_6 свободно «сползает» в транспортную ёмкость через патрубков 5.

3.4 Термодинамика процесса сублимации

Для определения энергии затрачиваемой на процесс сублимации в настоящих исследованиях, было решено не рассматривать теоретические расчеты по термодинамики процесса сублимации, так как расчёт теплового эффекта реакции между простыми веществами представляется затруднительными и неточными.

Более точной методикой определения теплового эффекта является дифференциальная сканирующая калориметрия. Данная методология позволяет анализировать значительно более сложные системы с одновременным влиянием большого числа факторов. Для проведения исследования использовался фторированный ильменитовый концентрат Туганского месторождения Томской области.

Разложение фторированного ильменитового концентрата исследовали методами термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [51] (рисунок 15) с использованием совмещенного ТГА/ДТА/ДСК анализатора SDT Q600.

На кривой ДТА наблюдается эндотермический эффект в области $45^\circ C$, что связано с процессом разложения на аммиак и фтороводород, избыточного бифторида аммония заканчивающегося при $166^\circ C$ [51, 52]. При дальнейшем нагревании смеси наблюдается эндотермический эффект в области $250^\circ C$, что

возможно связать с разложением первоначального гептафторосиликата аммония до гексафторосиликата аммония ($(\text{NH}_4)_3\text{SiF}_7 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$).

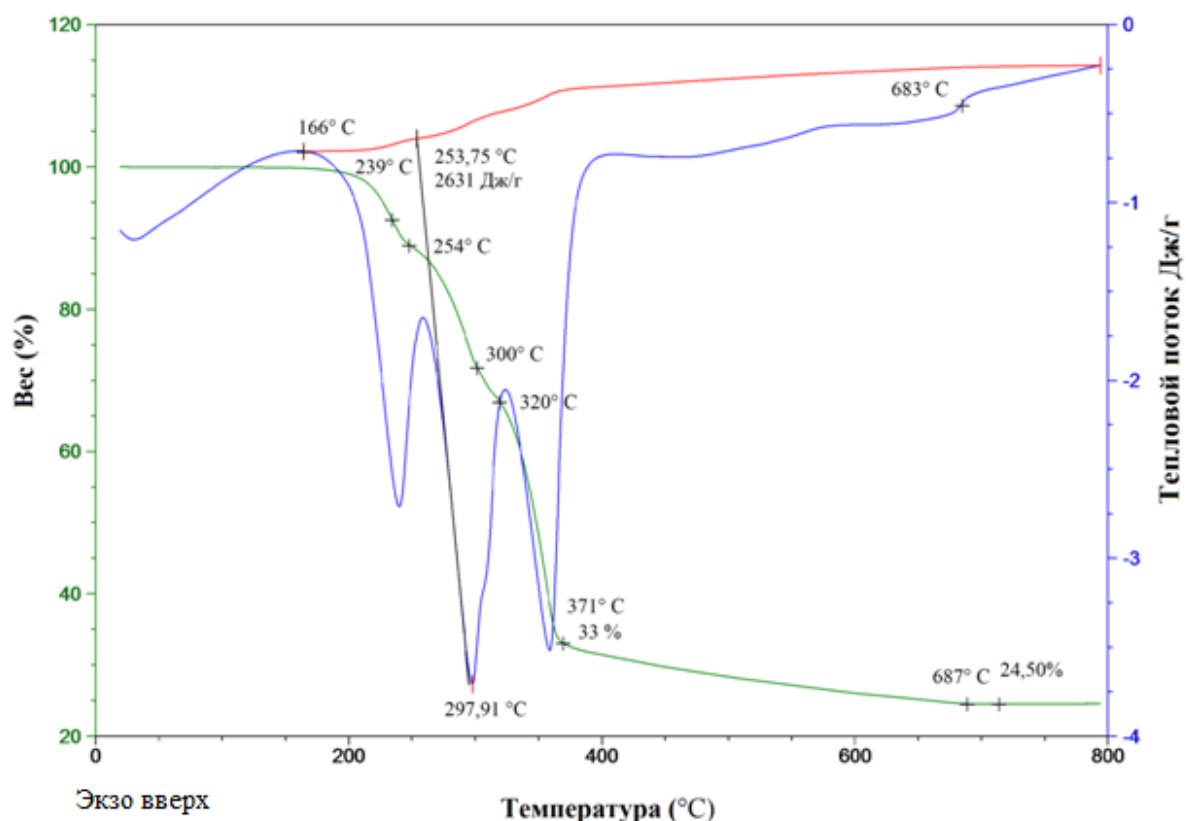


Рисунок 15 – Результаты ТГА и ДСК анализов разложения фторированного ильменитового концентрата

(Скорость нагрева $10^\circ \text{C}/\text{мин}$; масса навески – 14мг; атмосфера – аргон)

На термогравиметрической кривой этот процесс характеризуется уменьшением массы исходного продукта в области температур от 220°C до 260°C . Далее в области 298°C эндотермический максимум, скорее всего соответствует процессу сублимации $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, при этом происходит уменьшением массы комплексных фторидных соединений кремния в области от 260°C до 320°C . Еще один эндотермический максимум соответствует температуре 350°C , это объясняется тем, что происходит разложение фторированного комплекса титана, а именно разложение гептафторотитаната аммония до гексафторотитаната аммония ($(\text{NH}_4)_3\text{TiF}_7 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$). Начиная от 371°C и

заканчивая 683°C , происходит сублимация $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, при этом изменение массы составляет около 8,5 %. Остаточные 24,5 % масс соответствуют несублимирующимся примесям фторидов металлов, основным компонентом которых являются фториды железа FeF_x .

В результате интегрирования полученной зависимости теплового потока от температуры была определена энергия, затрачиваемая на весь процесс разложения, которая составила 2631 Дж/г.

3.5 Кинетика процесса сублимации

Для процесса сублимации необходимо знать скорость испарения вещества в единицу времени. Скорость испарения характеризуется прямой зависимостью от температуры и толщины насыпного слоя, поэтому проводились эксперименты по сублимации $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ [53], в которых выявлялась зависимость между температурой процесса и толщиной насыпного слоя (рисунок 16). В результате экспериментов были поставлены опыты при температурах $600, 650, 700^{\circ}\text{C}$ и толщинах насыпного слоя 30, 40 и 50 мм. Наибольшая степень сублимации комплекса проходила при толщине 50 мм.

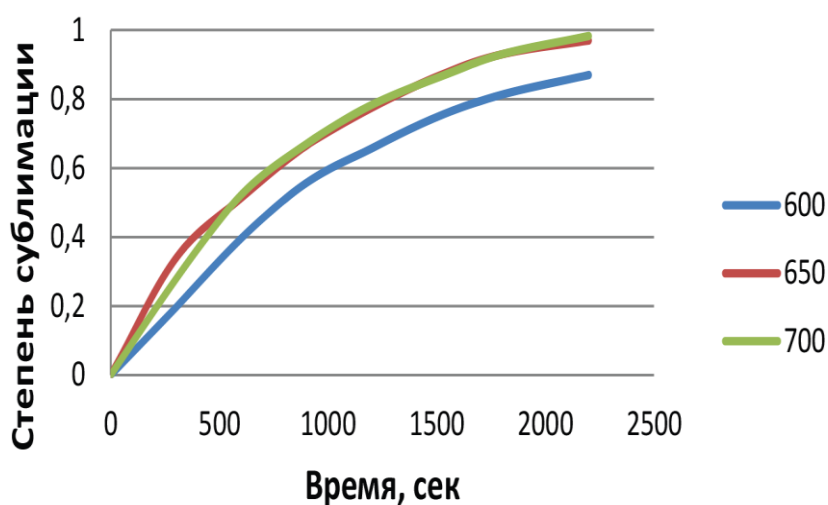


Рисунок 16 – Зависимости степени сублимации от времени при различных температурах

В результате процесса титан переводили в газовую фазу в виде комплекса $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$. Наибольшая степень сублимации достигается при 650°C , при повышении температуры до 700°C выход продукта не изменялся. Это явление объясняется гидролизом влагой воздуха титанового комплекса при его нагревании до 700°C , что приводит к образованию труднолетучего оксифторида титана.



В результате экспериментов были подсчитаны скорости сублимации комплекса (таблица 1).

Таблица 1 – Скорость сублимации ГФТА при различных температурах и толщине слоя

Температура, °C	600	650	700
Толщина слоя, мм	Скорость сублимации кг/ч·м ²		
30	23,5	27,1	32,1
40	33	35,4	38,4
50	45,4	48	52

Таким образом, экспериментально установлено, что процесс сублимации гексафторотитаната аммония наиболее эффективно протекает при температуре $650-700^\circ\text{C}$, при этом скорость сублимации практически совпадают и дальнейшее повышение температуры для увеличения скорости испарения практически не имеет смысла. Так же из полученных результатов можно сделать вывод о том, что для испарения 1100 кг фторированной смеси достаточно времени для полного отделения сублимирующихся веществ в 33 минуты.

4 Экспериментальная часть

Целью экспериментальной части является исследование непрерывного процесса сублимационного разделения смеси фтораммонийных комплексов профторированного ильменитового концентрата Туганского месторождения Томской области, на составляющие компоненты, на лабораторной установке, и на основе проведенных опытов, произвести расчет сублимационного аппарата шнекового типа производительностью 10 000 тонн в год по исходной смеси.

Предметом исследования является изучение влияния температуры сублимации, скорости прохождения сырья через реактор, толщины слоя фторированного сырья на степень разделения компонентов, а также на чистоту получаемых продуктов.

4.1 Методика проведения исследований

Методика проведения исследований, для определения оптимальных режимов работы сублиматора непрерывного действия шнекового типа, включает в себя:

1) Определение оптимальной температуры процесса сублимации, а именно, исследование влияния температуры на качество разделения смеси при постоянной скорости перемещения сырья и производительности ($T = 550; 575; 600; 625; 650; 675; 700^{\circ} \text{C}$).

2) Определение оптимальной скорости вращения главного шнека сублимационной установки при неизменной температуре реактора. В данном пункте проводилось исследование влияния скорости вращения шнека на степень разделения и чистоту получаемого сублимированного продукта, при числе оборотов от 1 об/мин до 4 об/мин с шагом 1 об/мин.

4.1.1 Описание экспериментальной установки

Основными причинами отсутствия типового оборудования пригодного для проведения процесса сублимационной переработки фторидов редких элементов являются тяжёлые условия эксплуатации оборудования, обусловленные параметрами процесса: коррозионно-активная среда (фторидные соединения) при достаточно высокой температуре. Кроме того аппарат должен обеспечивать максимальную степень сублимации исходного материала при минимальном времени пребывания его в аппарате, а в случае «глубокой» очистки продукта не должен загрязнять пары исходного продукта и обеспечивать полное улавливание (десублимацию) паров очищенного продукта без уноса его из аппарата в виде аэрозолей. Также должны обеспечиваться условия соблюдения обычных правил техники безопасности и промышленной санитарии, предъявляемых при конструировании химических аппаратов: гарантировать надёжность и герметичность установки [8].

Основные принципы, которыми придерживались при проектировании сублимационной установки, следующие:

- 1) корпус должен иметь простую форму;
- 2) минимальное количество двигающихся или трущихся частей и узлов, подверженных нагреву;
- 3) реакционные зоны (сублимации и десублимации) должны размещаться на минимальном расстоянии друг от друга;
- 4) простота обслуживания установки.

Разработка конструкций установок для сублимационной переработки фторидов титана велась последовательно и каждая последующая конструкция аппарата, учитывала опыт разработки подобных сублиматоров, которые проектировались на кафедре «Химическая технология редких элементов» ФТИ ТПУ.

Для очистки гексафтортитаната аммония от различных примесей путём сублимации был изготовлен аппарат непрерывного действия шнекового типа,

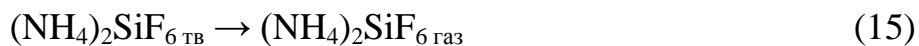
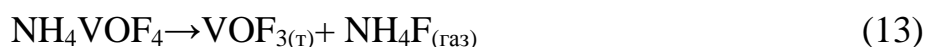
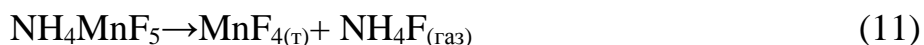
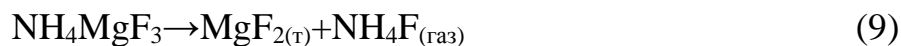
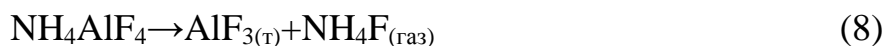
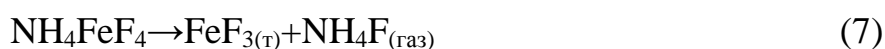
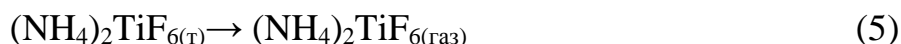
показанный на рисунке 17. Общий вид установки представлен на рисунке 18. Разработка экспериментальной установки велась исходя из известных свойств реагентов. Для изготовления деталей сублимационной установки использовалась сталь 3 (Ст3).

Аппарат имеет теплоизоляцию 17, нагрев аппарат осуществляется с помощью нихромовых спиралей-нагревателей 7, подключенных к сети переменного тока напряжением 380 В. Общая мощность нагревателей составляет 5 кВт. Регулировка температуры реактора осуществляется с помощью регулирующей термопары 16. Также имеются термопары 12, с помощью которых можно отслеживать температуры на узле загрузки, реакторе, разгрузочном узле и в десублиматоре. Датчики связаны с восьмиканальным измерителем-регулятором температуры на базе ОВЕН ТРМ 138 (блок управления рисунок 4.2), который в свою очередь имеет возможность подключения к компьютеру для быстрого отслеживания регистрируемых параметров, выводу графиков на монитор компьютера и записи регистрируемых значений в файл.

Возможность контроля температуры в десублиматоре позволяет судить о начале процесса сублимации и его завершении, а так же позволяют измерять температуру захлаживания стенок десублиматора. Термопары, измеряющие температуру корпуса в начале, середине и на конце обечайки реактора, позволяют отследить равномерность прогрева корпуса.

Сублиматор является непрерывным за счет безостановочной подачи из бункера загрузки 3, фторированного ильменитового концентрата в зону реактора 1, с помощью шнека загрузки 6, который приводится в движение шаговым двигателем 8.2. Сырье, попав в реактор 1, нагретый до температуры сублимации фторидных комплексов титана и кремния, перемещается по длине реактора и направляется в сторону узла разгрузки 14 с помощью главного шнека 5, вращающегося с определенной скоростью. Главный шнек 5 приводится в движение шаговым двигателем 8.1. По мере прохождения сырья через реактор, происходит передача тепловой энергии сырью, в результате

которого, вещества находящиеся в данном сырье, приобретают избыточную энергию, способную перевести твердые соединения, такие как бифторид аммония NH_4HF_2 , фторид аммония NH_4F , гексафторосиликат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, гексафторотитанат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ в газообразное состояние. Другими словами, протекает процесс сублимации, который описывается следующими реакциями:



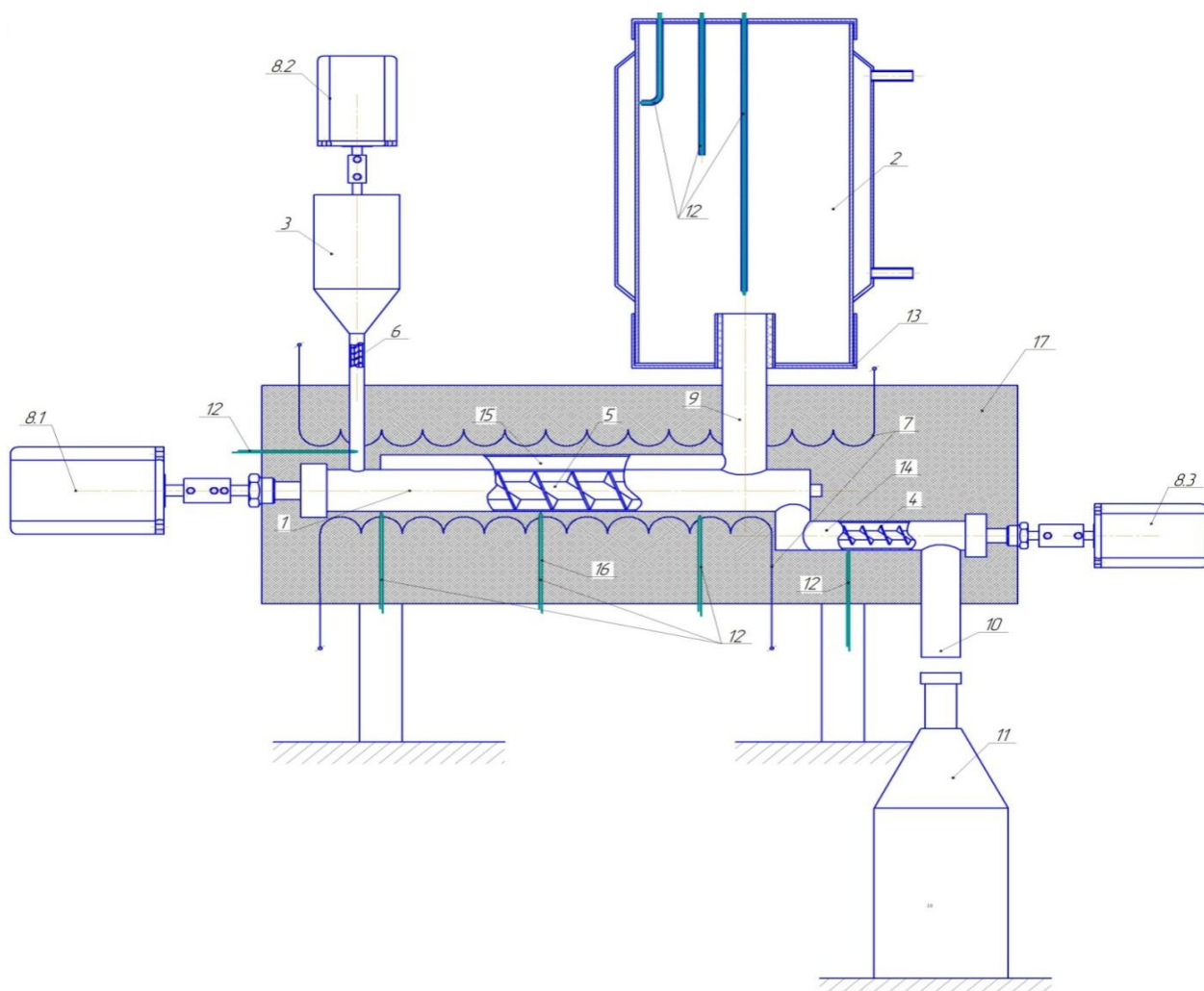


Рисунок 17 – Схема сублиматора непрерывного действия,

где 1 – реактор; 2 – объемный десублиматор; 3 – бункер загрузки сырья; 4 – шнек разгрузочный; 5 – главный шнек реактора; 6 – шнек загрузки сырья; 7 – нихромовые спирали-нагреватели; 8.1, 8.2, 8.3 – шаговый электродвигатель; 9 – патрубок выхода реакционных газов (сублимата); 10 – патрубок разгрузки аппарата; 11 – емкость для сбора остатка фторидных примесей (огарка); 12 – термопары; 13 – дно десублиматора; 14 – узел разгрузки; 15 – компенсационный объем; 16 – регулирующая термопара; 17 – теплоизоляция реактора.



Рисунок 18 – Общий вид установки

За счет разности температур в зоне реактора и десублиматоре 2, следовательно и разности давлений в горячей и холодной зонах, происходит унос реакционных газов в десублиматор, стенки которого постоянно охлаждаются потоком холодной воды. В десублиматоре происходит объемная десублимация газообразных продуктов в виде взвеси твердых частиц, витающих в замкнутом объеме. Появление таких частиц происходит, если в парогазовой смеси имеются центры десублимации в виде мелкодисперсного аэрозоля. Образование аэрозоля происходит при понижении температуры парогазовой смеси, и его пресыщения в замкнутом объеме. Таким образом, твердые частицы с течением времени увеличиваются в объеме, что приводит к увеличению массы частицы. В результате скорость газового потока из реактора слишком мала, чтобы происходило витание тяжелой частицы, и за счет силы тяжести происходит их падению в нижнюю часть 13 (дно) десублиматора (рисунок 19).



Рисунок 19 – Нижняя часть (дно) десублиматора с полученным продуктом

Оставшиеся несублимируемые фторидные примеси различных металлов (огарок), попадают в узел разгрузки и шнеком 4, приводимым в движение шаговым двигателем 8.3, через патрубок 10 выгружаются в приемную емкость 11.

4.1.2 Приборы и методы анализа

Для проведения исследований использовались следующие приборы:

- 1) Лабораторный сублиматор непрерывного действия производительностью 300 г/ч по загружаемому исходному веществу
- 2) Восьмиканальный измеритель регулятор температуры на базе ОВЕН ТРМ 138 с компьютерным управлением и непрерывной записью температурных данных
- 3) Высокопроизводительная микроволновая установка пробоподготовки, для кислотного разложения сублимата и твердого остатка MARS-6

4) Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Thermo Fisher Scientific iCAP 6500 DUO

5) Синхронный термоанализатор ТГ/ДСК/ДТА SDT Q600

6) Рентгеновский дифрактометр XRD 7000S

Количественный анализ состава сублимата и твердого остатка проводился методом атомно-эмиссионной спектроскопии.

Энергия, требуемая для сублимации 1 грамма фторированного ильменитового концентрата, определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Вещественный анализ сублимата и твердого остатка проводился методом рентгено-фазового анализа.

4.1.3 Реактивы для проведения исследования и анализа

Для проведения исследования по процессу сублимации использовался фторированный ильменитовый концентрат, элементный состав (таблица 2) которого, был определен методом атомно-эмиссионной спектроскопии.

Таблица 2 – Содержание элементов в фторированном ильмените

Элемент	Ti	Fe	Si	Ca	Mg	Al	Mn	V
% в ФП	13,93	7,04	0,87	0,9	0,19	1,29	2,93	0,39

Для проведения пробоподготовки сублимата и твердого остатка примесей использовались следующие реагенты:

- серная кислота концентрированная H_2SO_4 (98%)
- соляная кислота концентрированная HCl (35 %)
- азотная кислота концентрированная HNO_3 (65%)
- дистиллированная вода H_2O

4.1.4 Порядок проведения эксперимента

Перед началом проведения эксперимента проверяем исправность оборудования. По плану экспериментов устанавливаем на блоке управления нужную температуру реактора, а на блоках управления шаговыми двигателями загрузки, главного шнека и узла выгрузки необходимое число оборотов шнека. Включаем нагрев аппарата и вращение главного шнека. Пока реактор нагревается, засыпаем в бункер загрузки фторированный ильменитовый концентрат.

После достижения необходимой уставки по температуре и выдержке аппарата при данной температуре не менее 1 часа, включаем подачу фторированного продукта в зону реактора, где происходит его перемещение по длине аппарата и процесс сублимации. Включаем охлаждение десублиматора путем открытия крана с водопроводной водой.

Загрузка сырья и процесс сублимации проводятся в течение 2 часов. Разгрузку твердого остатка не сублимирующихся примесей (огарка) производим через 1,5 часа после включения загрузки (включаем шнек разгрузки). Выгрузка осуществляется в приемную емкость 11 периодически, с интервалом включения/выключения шнека на 10-15 минут.

После завершения процесса сублимации, отключается нагрев, а вращения главного шнека не останавливается, и продолжает работать еще в течение 2 часов, тем самым происходит полная разгрузка реактора от твердого остатка (огарка).

Когда температура реактора снижается до 200° С, производится отключение подачи охлаждающей воды в десублиматор и его разбор с целью извлечения сублимата. Далее отбираются пробы сублимата и твердого остатка на анализ, где определяется количественное содержание интересующих нас элементов.

4.2 Результаты и их обсуждения

С целью определения влияния температуры на ход процесса был проведен ряд экспериментов при температуре реактора 550; 575; 600; 625° С. Результаты исследованных образцов с помощью атомно-эмиссионного анализа представлены в таблице 3 и 4.

Таблица 3 – Содержание элементов в десублимате

Температура, ° С	550	575	600	625
Элемент	Содержание, % масс.			
Ti	9,469	9,657	10,61	9,017
Fe	0,019	0,0438	0,047	0,2599
Si	2,692	2,65	1,95	3,884
Ca	0,0129	0,1249	0,0252	0,0938
Mg	0,0033	0,0243	0,0218	0,0058
Al	0,0603	0,046	0,0059	0,1501
Zn	0,0004	0,001	0,0012	0,001

Таблица 4 – Содержание элементов в огарке

Температура, ° С	550	575	600	625
Элемент	Содержание, % масс.			
Ti	5,185	7,237	6,67	8,894
Fe	25	25,06	24,31	27,82
Si	3,245	3,346	5,94	3,26
Ca	0,9454	0,7436	0,5723	0,7277
Mg	0,4096	0,3615	0,2337	0,2428
Al	0,2551	0,2651	0,422	0,164
Zn	0,1032	0,1099	0,0697	0,0609

На рисунке 20 и 21 представлены данные рентгенофазового анализа исходного профторированного продукта и огарка соответственно.

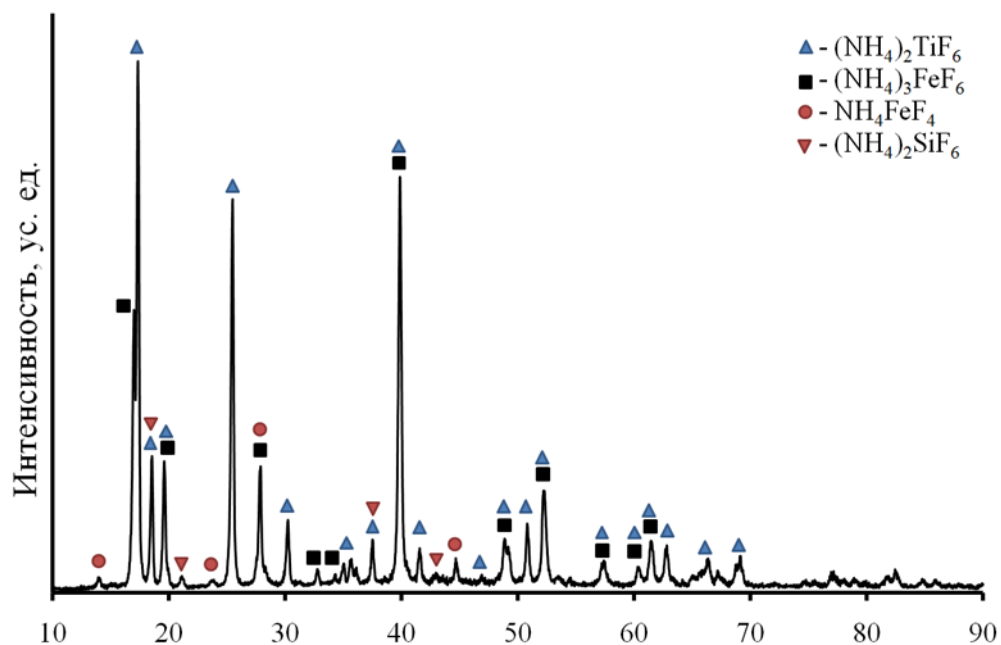


Рисунок 20 – Рентгенофазовый анализ образца фторированного продукта

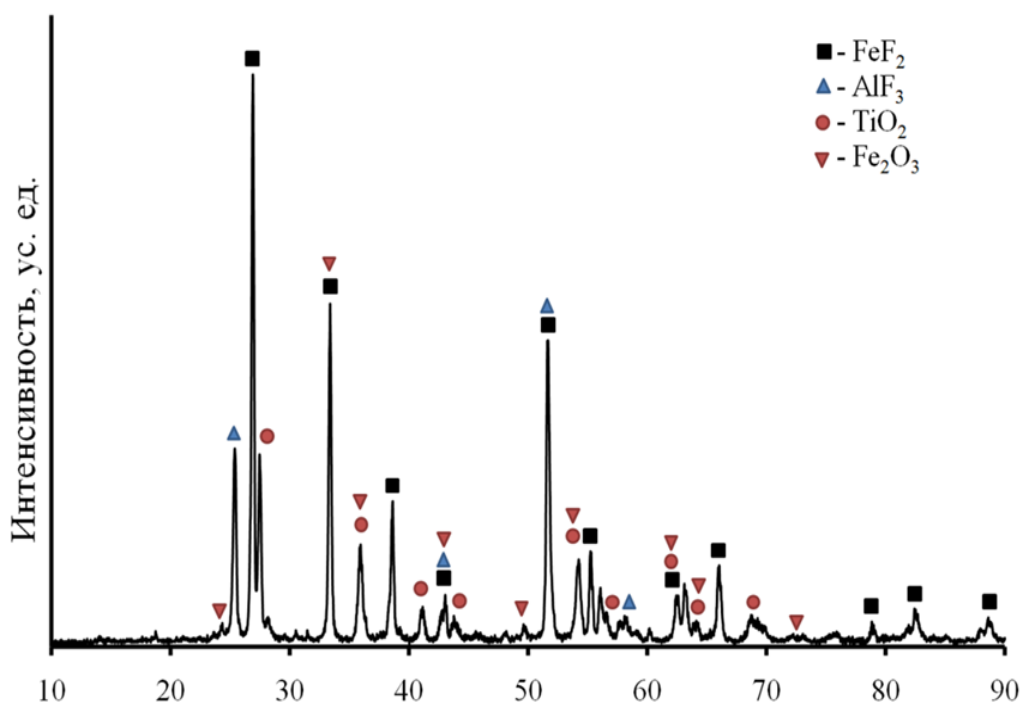


Рисунок 21 – Рентгенофазовый анализ огарка, полученном при $T = 600^{\circ}C$

Результаты распределения титана и железа между десублиматом и огарком представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение титана и железа между десублиматом и огарком, % масс

Температура, °С	Титан		Железо	
	Десублимат	Огарок	Десублимат	Огарок
550	85,08	14,92	0,02	99,98
575	74,87	25,13	0,09	99,91
600	63,91	36,09	0,09	99,91
625	57,95	42,05	0,45	99,55

Выводы: в ходе проведенных исследований установлено, что с повышением температуры доля выхода титана в десублимат снижается. Это происходит за счет взаимодействия гексафторотитаната аммония с кислородом воздуха, попадающим в реактор при загрузке сырья. В диапазоне температур 550-600°С примесь в виде фторида железа содержится в десублимате на уровне сотых долей процента. При повышении температуры реактора выше 625°С скорость испарения частиц гексафторотитаната аммония очень высока, что приводит к захвату с собой частиц фторида железа и увеличению доли железа в десублимате. Таким образом, для оптимального ведения процесса можно рекомендовать диапазон температур 550-575°С. Однако надо заметить, что для полного разделения титана от железа методом сублимации необходимо исключить возможность происхождения побочных реакций, в частности, образование диоксида титана из-за подсоса воздуха.

С целью определения оптимальных оборотов главного шнека был поставлен ряд экспериментов при изменяемой скорости вращения шнека 1;2;3;4 об/мин. При этом скорость подачи разделяемого сырья в реактор и температура корпуса реактора остаются неизменными.

Исходные предположения:

1. Чем быстрее вращается шнек, тем лучше идет прогревание фторированной смеси в реакторе. За счет перемешивания лучше идет отделение титановой составляющей от железной.

2. Чем быстрее вращается шнек, тем меньше времени находится реакционная смесь в сублиматоре. При малом времени нахождения сырья в сублимационной зоне, не все частицы титановой составляющей успевают испариться, что ведет к снижению доли выделения гексафтортитаната аммония в десублимат.

3. Чем быстрее вращается шнек, тем больше частиц фторида железа могут подняться в воздух и, соответственно, попасть в десублимат.

Результаты исследованных образцов с помощью атомно-эмиссионного анализа представлены в таблице 6 и 7.

Таблица 6 – Содержание элементов в десублимате

Частота, об/мин	1	2	3	4
Элемент	Содержание, % масс.			
Ti	6,67	5,287	6,6	6,358
Fe	24,31	23,89	25,88	27,15
Si	5,94	3,02	3,213	3,288
Ca	0,5723	0,2977	0,6382	0,7935
Mg	0,2337	0,2411	0,2744	0,3355
Al	0,422	0,247	0,1916	0,2301
Zn	0,0697	0,0788	0,0837	0,0739

Таблица 7 – Содержание элементов в огарке

Частота, об/мин	1	2	3	4
Элемент	Содержание, % масс.			
Ti	9,017	11,67	9,025	10,57
Fe	0,2599	0,0329	0,0654	0,1278
Si	1,95	3,078	2,149	2,477
Ca	0,0252	0,047	0,0692	0,0324
Mg	0,0058	0,0048	0,0059	0,0065
Al	0,0059	0,0055	0,0153	0,0222
Zn	0,0012	0,0005	0,0009	0,0006

Результаты распределения титана и железа между десублиматом и огарком представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Распределение титана и железа между десублиматом и огарком, % масс

Скорость шнека, об/мин	Загрузка	Огарок	Десублимат	Доля титана, %		Железо, %	
	Масса, г	Масса, г	Масса, г	Десуб	огар	десуб	огар
1	470	180,34	200,73	29,2	70,71	0,02	99,98
2	231,3	60,8	143,7	52,05	47,95	0,3	99,7
3	289,0	76,0	186,0	48,6	51,4	0,59	99,41
4	223,2	81,1	141,7	48,18	51,8	1,1	98,9

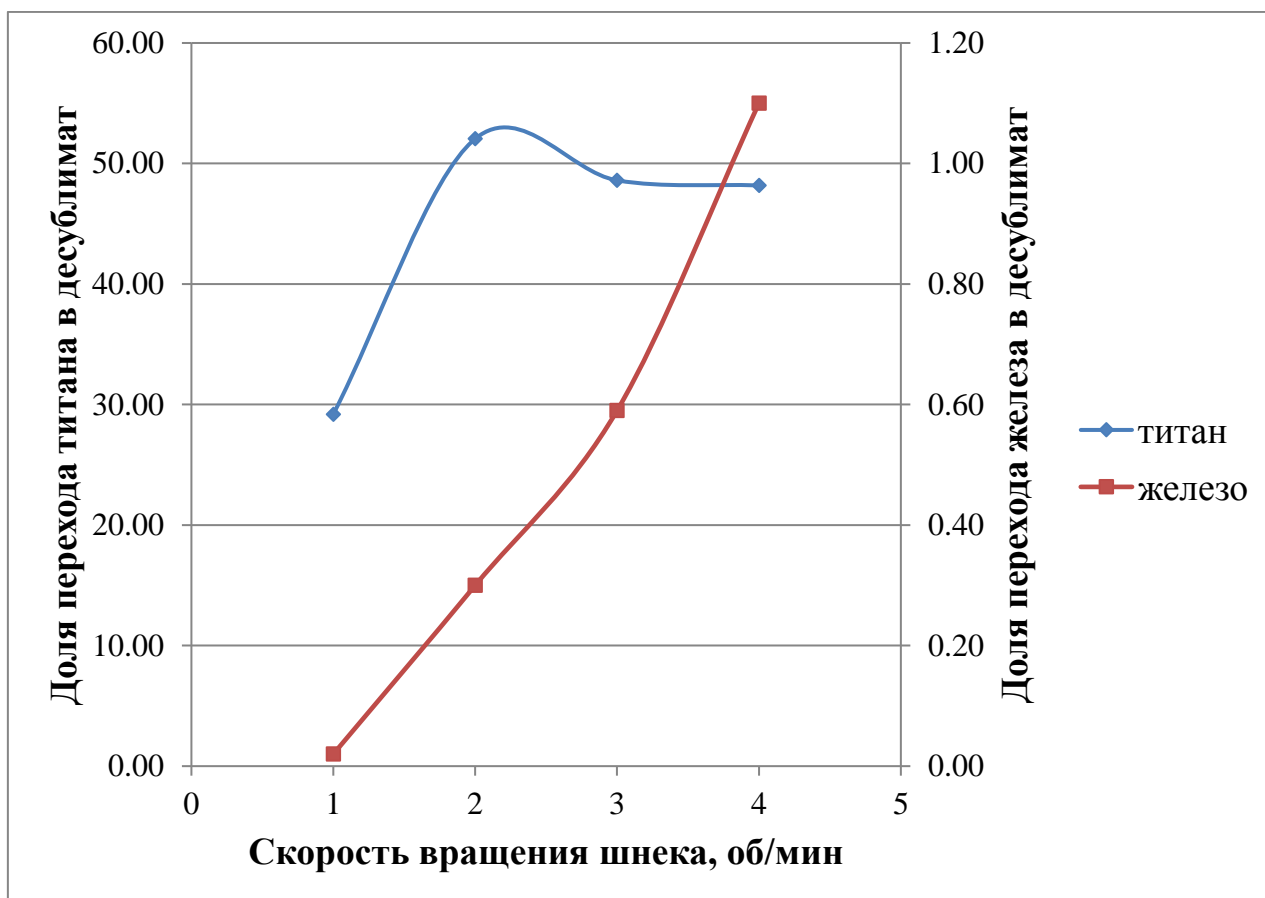


Рисунок 22 – Распределение титана и железа в десублимате

Вывод: при увеличении скорости вращения шнека, как и ожидалось, доля железа в десублимате увеличивается. Доля выхода титана в десублимат при малой скорости вращения невысокая, что связано с образованием комков и затруднению диффузии гексафтортитаната аммония. Увеличение скорости вращения шнека выше 2 оборотов приводит к разрыхлению поверхности сублимации и облегчению диффузии.

Таким образом, при медленном перемещении скорость испарения лимитируется диффузией газа через твердый слой, при повышении скорости перемещения сырья увеличивается доля железа в десублимате. Поэтому на данной установке можно увеличивать скорость подачи сырья в единицу времени, тем самым увеличится часовая производительность, без потери чистоты получаемого десублимата, так как площадь испарения велика.

5 Укрупненное проектирование

5.1 Описание аппаратурно-технологической схемы участка переработки титансодержащего сырья

Аппаратурно-технологическая схема участка переработки титансодержащего сырья представлена на рисунке (Приложение А).

Для фторирования используется избыток гидрофторида аммония, процесс начинается с подающе-дозировочного смесителя 1, где происходит смешение концентрата с фторидом аммония. Далее смесь направляется в барабанно-вращающуюся печь 2. В результате химических реакций образуются газы, на 60 % это пары воды количество и состав печного газа зависит от состава исходного концентрата и выбранного фторирующего агента (фторид или гидродифторид аммония). Газы улавливаются при помощи скруббера Вентури, 10 % от массы твердых частиц уносится с газовым потоком, порядка 90 % улавливается при помощи пылеотбойника 3, каждый циклон (аппараты 4-1 и 4-2) обеспечивают улавливание минимум 90 % оставшейся пыли, а 99,9 % оставшейся пыли улавливается совместно с аммиаком и водой. Твердые продукты из циклона и пылевой камеры направляются обратно в барабанную печь. Печь фторирования работает при температуре 190-210° С, циклон и фильтр обогреваются и изолируются теплоизоляцией для поддержания температуры выше 100° С. Степень реагирования концентратов с фторидом аммония 85-97 % (зависит от состава сырья).

Фторированный продукт поступает на первую стадию сублимации (аппарат 6-1, 6-2, 6-3, 6-4). На первой стадии сублимации отделяется избыточный фторид аммония, происходит разложение комплексов с выделением фторида аммония и сублимационное отделение гексафторосиликат аммония ГФСА и гексафторотитаната аммония. Температура процесса первой сублимации 650-700° С. Десублимация начинает протекать при температуре

порядка 150° С (аппарат 7-1, 7-2, 7-3, 7-4). В результате протекания первой сублимации отделяется кремний и титан в виде фторидов и скапливается в приемных емкостях 8-1, 8-2, 8-3, 8-4. Получаемый полупродукт, называемый фторидным огарком, накапливается в емкости 9-1, 9-2, 9-3, 9-4.

Далее фториды титана и кремния направляются на вторую стадию сублимации (аппарат 10-1, 10-2, 10-3, 10-4), где отделяется кремниевая составляющая. Температура этого процесса 320-400° С, десублимация (аппарат 11-1, 11-2, 11-3, 11-4) начинает протекать при температуре порядка 150° С. Затем десублимат ГФСА из десублиматора и тверды остаток фторидов титана, направляется на растворение.

Огарок фторидов примесей после выделения кремния и титана, направляется на печь пирогидролиза 14, где происходит регенерация фтора в технологическую цепочку процесса. В печь из парогенератора 16 подается водяной пар с 200 % избытком от стехиометрического по содержанию фтора. Избыточные пары воды и фтороводород конденсируются в конденсаторе 15. Разбавленная плавиковая кислота накапливается в емкостях 15-1, 15-2. Плавиковую кислоту можно применять в скруббере Вентури для более эффективного улавливания аммиака, а также для нейтрализации фильтрационных вод после фильтрации осадков аммиачного гидролиза десублиматов (гексафторосиликат аммония ГФСА и гексафторотитанат аммония ГФТА).

В зависимости от содержания кремния в десублимате, после второй сублимации его направляют на фторирование, если содержание не превышает 20 % (в пересчете на SiO₂). Если содержание кремния больше 20 % (в пересчете на SiO₂) его направляют на получение диоксида кремния. Далее идут процессы гидromеталлургического передела.

5.2. Расчет материального баланса

Материальный (технологический) баланс – соотношение количеств веществ, введенных и полученных в химико-технологическом процессе. Материальный баланс составляют по уравнению основной суммарной реакции с учетом побочных реакций; он базируется на законе сохранения массы. Материальный баланс составляют в расчете на единицу сырья или продукции, или для одного аппарата в единицу времени [16,17].

Закон сохранения масс веществ в данном случае заключается в том, что общая масса поступающих в производство материалов равняется массе выходящих материалов. Суммарная масса вводимых в реактор веществ должна быть равна сумме расхода, вне зависимости от протекающих процессов в реакторе.

Расчеты технологических процессов, в результате которых происходит химическое изменение веществ, основаны на стехиометрических законах: законе постоянства состава (любое вещество, какими бы способами его не получали, имеет вполне определенный состав) и законе кратных отношений (при образовании какого-либо простого или сложного вещества элементы в молекулу последнего входят в количествах, равных или кратных их атомному весу).

Материальный расчет технологических процессов сводится к определению материальных потоков и составлению материального баланса. Материальный расчет основывается на законе сохранения материи (массы веществ):

$$\sum G_{i \text{ исх.}} = \sum G_{j \text{ прод.}} \quad (16)$$

где $\sum G_{i \text{ исх.}}$ – количество реагентов, поступающих в аппарат за единицу времени, т/г.;

$\sum G_{j \text{ прод.}}$ – количество продуктов, удаляемых из аппарата за единицу времени, т/г. [*].

Для получения ильменитового концентрата минеральное сырье с Туганского циркон-ильменитового месторождения подвергается физическому обогащению.

На основании заданной годовой производительности 10000 тонн в год по ильменитовому концентрату и количества рабочих часов в году (с учетом времени на текущий и плановый предупредительный ремонт) определяется часовая производительность. Цех будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, плановый предупредительный ремонт (ППР) будет проводиться раз в месяц в течение 2 дней. Следовательно, число дней в году, с учетом текущего и планового предупредительного ремонта, в которые цех работает, составляет 340 дней.

Исходя из годового объема перерабатываемой руды, рассчитаем часовую производительность:

$$G_{\text{ч}} = \frac{G_{\text{г}}}{340 \cdot 24} = \frac{10000000}{340 \cdot 24} = 1225,49 \text{ кг/ч} \quad (17)$$

где $G_{\text{ч}}$ – часовая производительность по руде, кг/ч;

$G_{\text{г}}$ – годовая производительность по руде, кг/г.

5.2.1 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 %.

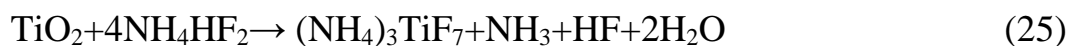
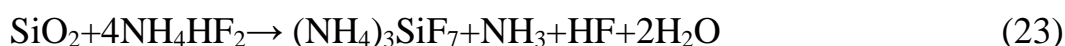
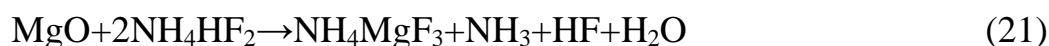
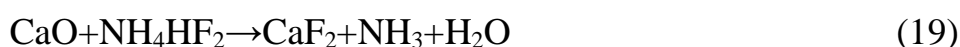
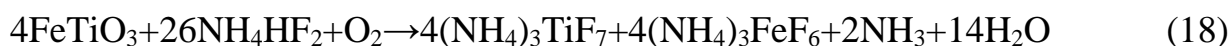
Содержание элементов в оксидной форме Туганском концентрате представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание элементов в оксидной форме Туганском концентрате

Образец	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MgO	SiO ₂	FeTiO ₃	V ₂ O ₅	MnO ₂	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:

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

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

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

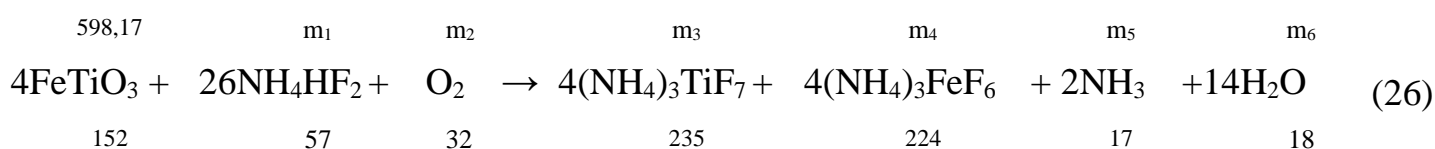
$$m_{\text{MgO}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot n_{\text{MgO}}}{100} \cdot \alpha = \frac{1225,49 \cdot 0,37}{100} \cdot 0,95 = 4,31 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Таблица 10 – Материальный баланс процесса гидрофторирования ильменита

Приход				Расход			
№ п/п	Статья прихода	m_i , кг	%	№ п/п	Статья расхода	m_i , кг	%
1	Ильменитовый концентрат, в том числе FeTiO ₃ V ₂ O ₅ SiO ₂ TiO ₂ CaO Al ₂ O ₃ MgO MnO ₂			1	Твердый продукт, в том числе (NH ₄) ₃ TiF ₇ (NH ₄) ₃ FeF ₆ CaF ₂ NH ₄ AlF ₄ NH ₄ MgF ₃ (NH ₄) ₂ MnF ₆ (NH ₄) ₃ SiF ₇ NH ₄ VOF ₄		
		629,66	11,92			1892,98	35,83
		4,78	6,57			881,52	16,69
		133,58	0,28			19,30	0,37
		346,94	1,05			125,13	2,37
		14,58	0,09			10,66	0,20
		55,51	0,68			80,38	1,52
		4,53	0,09			454,72	8,61
		35,91	2,53			8,03	0,15
2	Реагент, в том числе NH ₄ HF ₂			2	Газы, в том числе NH ₃ H ₂ O HF		
		4025,58	76,21			170,57	3,23
						522,16	9,88
						126,85	2,40
3	Окислитель, в том числе O ₂			3	Избыток NH ₄ HF ₂		
		31,48	0,60			928,98	17,59
				4	Непрореагировавший реагент, в том числе FeTiO ₃ V ₂ O ₅ SiO ₂ TiO ₂ CaO Al ₂ O ₃ MgO MnO ₂		
							0,60
						31,48	0,33
						17,35	0,01
						0,73	0,05
						2,78	0,01
						0,23	0,03
						1,80	0,00
						0,24	0,13
						6,68	
	Итого:	5282,55	100		Итого:	5282,55	100

5.2.2 Материальный баланс улавливания реакционных газов и их очистки

Из барабанной печи отходят газы, в том числе: воздух, NH₃, HF, H₂O и частички пыли, которые составляют 10% от твердого продукта. Газы и частички пыли поступают в пылуловительную камеру, где оседает 90 % пылевой фракции, затем газы поступают в первый циклон, где улавливается 90 % от оставшейся пыли, после первого циклона, газы и твердые частицы попадают во второй циклон, где удаляется 90 % пыли от оставшейся.

Таблица 11 – Состав пылегазовой смеси

№ п/п	Статьи	<i>m_i</i> , кг	%
1	Твердый продукт, в том числе:		
	(NH ₄) ₃ TiF ₇	199,26	14,93
	(NH ₄) ₃ FeF ₆	92,79	6,97
	CaF ₂	2,03	0,15
	NH ₄ AlF ₄	13,17	0,99
	NH ₄ MgF ₃	1,12	0,08
	(NH ₄) ₂ MnF ₆	8,46	0,64
	(NH ₄) ₃ SiF ₇	47,87	3,59
	NH ₄ VOF ₄	0,85	0,06
	FeTiO ₃	3,15	0,24
	V ₂ O ₅	1,74	0,13
	SiO ₂	0,07	0,01
	TiO ₂	0,28	0,02
	CaO	0,02	0,01
	Al ₂ O ₃	0,18	0,01
	MgO	0,02	0,01
MnO ₂	0,67	0,05	
2	Газы, в том числе:		
	NH ₃	179,55	13,48
	H ₂ O	549,64	41,26
	HF	133,53	10,02
	NH ₄ HF ₂	92,90	7,34
	Итого:	1326,63	100

Таблица 12 – Материальный баланс пылуловительной камеры

Приход				Расход			
№	Вещество	кг/час	%	№	Вещество	кг/час	%
1	Пыль, в том числе:			1	Твердое, в том числе:		
	(NH ₄) ₃ TiF ₇	199,26	14,93		(NH ₄) ₃ TiF ₇	179,33	13,47
	(NH ₄) ₃ FeF ₆	92,79	6,97		(NH ₄) ₃ FeF ₆	83,51	6,27
	CaF ₂	2,03	0,15		CaF ₂	1,83	0,14
	NH ₄ AlF ₄	13,17	0,99		NH ₄ AlF ₄	11,85	0,89
	NH ₄ MgF ₃	1,12	0,08		NH ₄ MgF ₃	1,01	0,08
	(NH ₄) ₂ MnF ₆	8,46	0,64		(NH ₄) ₂ MnF ₆	7,61	0,57
	(NH ₄) ₃ SiF ₇	47,87	3,60		(NH ₄) ₃ SiF ₇	43,08	3,24
	NH ₄ VOF ₄	0,85	0,06		NH ₄ VOF ₄	0,76	0,06
	NH ₄ HF ₂	92,90	7,34		NH ₄ HF ₂	88,01	6,61
	FeTiO ₃	3,15	0,24		FeTiO ₃	2,84	0,21
	V ₂ O ₅	1,74	0,13		V ₂ O ₅	1,57	0,12
	SiO ₂	0,07	0,01		SiO ₂	0,06	0,00
	TiO ₂	0,28	0,02		TiO ₂	0,25	0,02
	CaO	0,02	0,01		CaO	0,02	0,00
	Al ₂ O ₃	0,18	0,01		Al ₂ O ₃	0,16	0,01
	MgO	0,02	0,01		MgO	0,01	0,00
2	Газообразные продукты, в том числе:			2	Газообразные продукты, в том числе:		
	NH ₃	179,55	13,48		NH ₃	179,55	13,48
	H ₂ O	549,64	41,28		H ₂ O	549,64	41,28
	HF	133,53	10,03		HF	133,53	10,03
				3	Пыль, в том числе:		
					(NH ₄) ₃ TiF ₇	19,93	1,50
					(NH ₄) ₃ FeF ₆	9,28	0,70
					CaF ₂	0,20	0,02
					NH ₄ AlF ₄	1,32	0,10
					NH ₄ MgF ₃	0,11	0,01
					(NH ₄) ₂ MnF ₆	0,85	0,06
					(NH ₄) ₃ SiF ₇	4,79	0,36
					NH ₄ VOF ₄	0,09	0,01
					NH ₄ HF ₂	9,29	0,73

Продолжение таблицы 12

Приход				Расход			
№	Вещество	кг/час	%	№	Вещество	кг/час	%
				3	Пыль, в том числе:		
					FeTiO ₃	0,32	0,02
					V ₂ O ₅	0,17	0,01
					SiO ₂	0,007	0,00
					TiO ₂	0,03	0,00
					CaO	0,002	0,00
					Al ₂ O ₃	0,02	0,00
					MgO	0,002	0,00
					ИТОГО	1326,63	100 %
ИТОГО		1326,63	100 %				

Таблица 13 – Материальный баланс циклона № 1

Приход				Расход			
№	Вещество	г/час	%	№	Вещество	г/час	%
1	Пыль, в том числе:			1	Твердое, в том числе:		
	(NH ₄) ₃ TiF ₇	19926	2,276		(NH ₄) ₃ TiF ₇	17933	1,973
	(NH ₄) ₃ FeF ₆	9279	1,060		(NH ₄) ₃ FeF ₆	8351	0,919
	CaF ₂	203	0,021		CaF ₂	183	0,020
	NH ₄ AlF ₄	1317	0,104		NH ₄ AlF ₄	1185	0,130
	NH ₄ MgF ₃	112	0,013		NH ₄ MgF ₃	101	0,011
	(NH ₄) ₂ MnF ₆	846	0,074		(NH ₄) ₂ MnF ₆	761	0,084
	(NH ₄) ₃ SiF ₇	4787	0,507		(NH ₄) ₃ SiF ₇	4308	0,474
	NH ₄ VOF ₄	85	0,010		NH ₄ VOF ₄	76	0,008
	NH ₄ HF ₂	9289	1,085		NH ₄ HF ₂	8801	0,968
2	Газообразные продукты, в том числе:			2	Газообразные продукты, в том числе:		
	NH ₃	179550	19,318		NH ₃	179550	19,751
	H ₂ O	549639	60,650		H ₂ O	549639	60,463
	HF	133527	14,882		HF	133527	14,689
				3	Пыль, в том числе:		
					(NH ₄) ₃ TiF ₇	1993	0,219
					(NH ₄) ₃ FeF ₆	928	0,102
					CaF ₂	20	0,002

Продолжение таблицы 13

Приход				Расход			
№	Вещество	г/час	%	№	Вещество	г/час	%
				3	Пыль, в том числе:		
					NH ₄ AlF ₄	132	0,014
					NH ₄ MgF ₃	11	0,001
					(NH ₄) ₂ MnF ₆	85	0,009
					(NH ₄) ₃ SiF ₇	479	0,053
					NH ₄ VOF ₄	8	0,001
					NH ₄ HF ₂	929	0,108
ИТОГО		909050	100 %	ИТОГО		909050	100 %

Таблица 14 – Материальный баланс циклона № 2

Приход				Расход			
№	Вещество	г/час	%	№	Вещество	г/час	%
1	Пыль, в том числе:			1	Твердое, в том числе:		
	(NH ₄) ₃ TiF ₇	1993	0,230		(NH ₄) ₃ TiF ₇	1793	0,207
	(NH ₄) ₃ FeF ₆	928	0,107		(NH ₄) ₃ FeF ₆	835	0,096
	CaF ₂	20	0,002		CaF ₂	18	0,002
	NH ₄ AlF ₄	132	0,015		NH ₄ AlF ₄	119	0,014
	NH ₄ MgF ₃	11	0,001		NH ₄ MgF ₃	10	0,001
	(NH ₄) ₂ MnF ₆	85	0,010		(NH ₄) ₂ MnF ₆	76	0,009
	(NH ₄) ₃ SiF ₇	479	0,055		(NH ₄) ₃ SiF ₇	431	0,050
	NH ₄ VOF ₄	8	0,001		NH ₄ VOF ₄	8	0,001
	NH ₄ HF ₂	929	0,113		NH ₄ HF ₂	880	0,101
2	Газообразные продукты, в том числе:			2	Газообразные продукты, в том числе:		
	NH ₃	179550	20,701		NH ₃	179550	20,701
	H ₂ O	549639	63,370		H ₂ O	549639	63,370
	HF	133527	15,395		HF	133527	15,395
				3	Пыль, в том числе:		
					(NH ₄) ₃ TiF ₇	199	0,023
					(NH ₄) ₃ FeF ₆	93	0,011
					CaF ₂	2	0,000

Продолжение таблицы 14

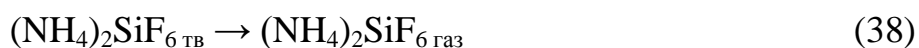
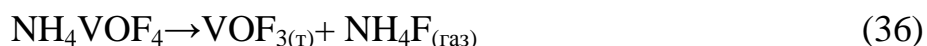
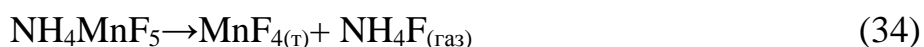
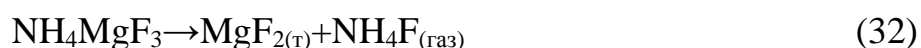
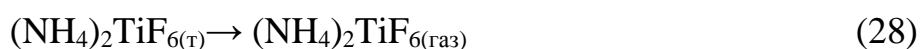
Приход				Расход			
№	Вещество	г/час	%	№	Вещество	г/час	%
1	Пыль, в том числе:			1	Твердое, в том числе:		
				3	Пыль, в том числе:		
					NH ₄ AlF ₄	13	0,002
					NH ₄ MgF ₃	1	0,000
					(NH ₄) ₂ MnF ₆	8	0,001
					(NH ₄) ₃ SiF ₇	48	0,006
					NH ₄ VOF ₄	1	0,000
					NH ₄ HF ₂	93	0,011
	ИТОГО	867350	100 %		ИТОГО	867350	100 %

В итоге после прохождения всех пылеуловительных устройств газовый поток очищается от пыли на 99,5 %. Таким образом 369,15 кг фторированного продукта из 371,01 кг отходящих из печи твердых частиц, отделяется в пылеуловительной камере и возвращается в реактор фторирования. Далее газы поступают в скруббер Вентури, где улавливаются, на 99,9 %.

5.2.3 Материальный баланс процесса сублимации

Ранее, в прошлых схемах передела ильменитового концентрата до диоксид титана, разработанной на кафедре «Химической технологии материалов современной энергетики» физико-технического института НИ ТПУ, предлагалось проводить процесс очистки соединений титана от примесей в две стадии, где на первой стадии при температуре 320-400° С отделялся кремний в виде гексафторотитаната аммония, а титан и примеси уходили в твердый остаток. На второй стадии твердый остаток подвергали повторной сублимации, где при температурах от 650° С до 700° С отделялся титан в виде гексафторотитаната аммония, а примеси уходили в огарок, который направлялся на стадию пиролизиса.

В рамках проводимой работы было решено изменить последовательность проводимой ранее перечистке титана. Таким образом, на первой стадии отделяются все сублимирующиеся вещества: избыточный фторид аммония, происходит разложение комплексов гексафторотитаната и гексафторосиликат аммония. Температура процесса первой сублимации 650-700° С. В остатке остается железо в виде фторида и все примеси, которые направляются на пиролиз с целью получения пигментного оксида железа (III). Протекают следующие реакции:



При второй стадии процесса, температура которого 320-400° С в сублиматор направляется десублимат из первой стадии сублимации. На данной стадии отделяется кремний в виде гексафторотитаната аммония, а в остатке остается гексафторотитант аммония. При этом протекают следующие реакции:

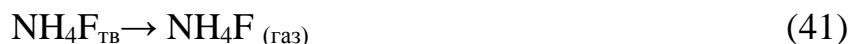
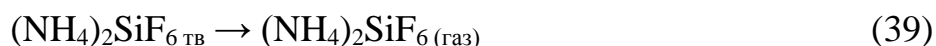


Таблица 15 – Материальный баланс сублимации № 1

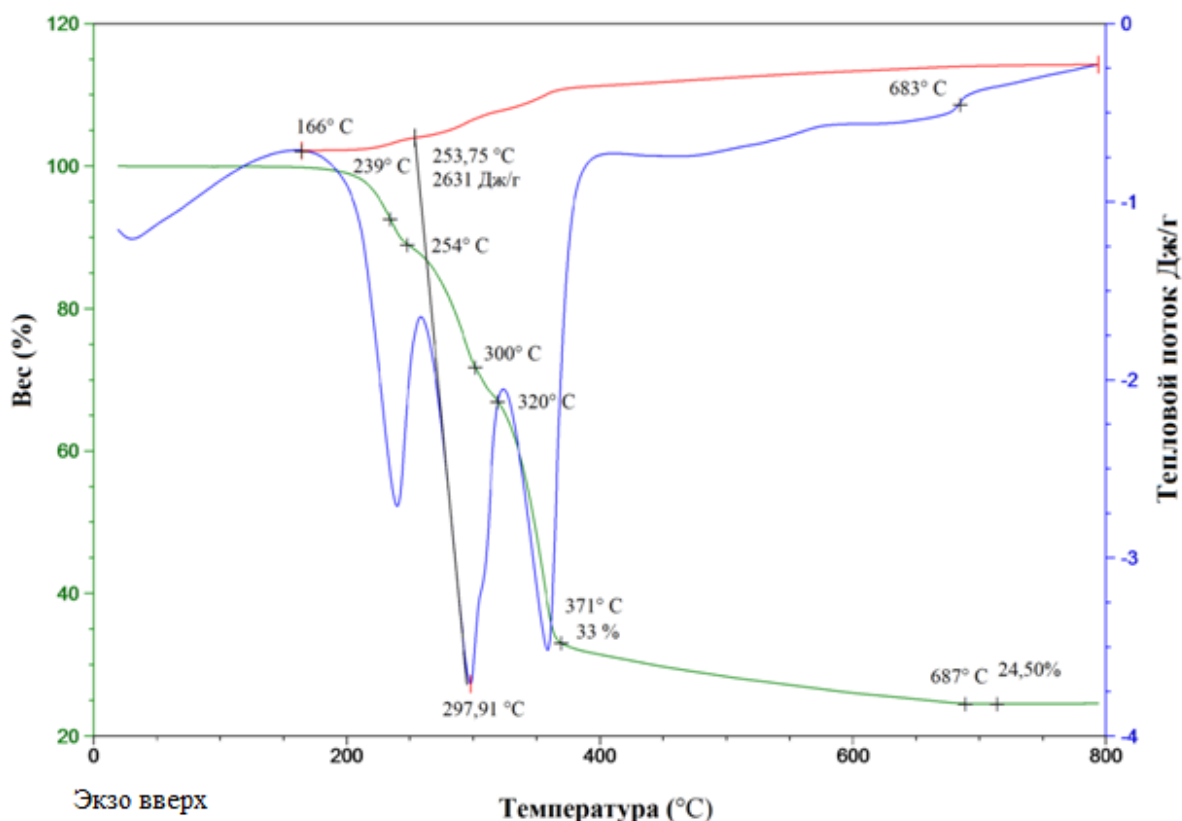
Приход				Расход			
№	Вещество	кг/час	%	№	Вещество	кг/час	%
1	Фторированный продукт, в том числе:			1	Огарок, в том числе:		
	(NH ₄) ₃ TiF ₇	1892,79	43,01		FeF ₃	444,65	10,10
	(NH ₄) ₃ FeF ₆	881,43	20,03		CaF ₂	19,29	0,44
	CaF ₂	19,29	0,44		AlF ₃	86,86	1,97
	NH ₄ AlF ₄	125,11	2,84		MgF ₂	6,68	0,15
	NH ₄ MgF ₃	10,66	0,24		MnF ₄	51,36	1,17
	(NH ₄) ₂ MnF ₆	80,37	1,83		VOF ₃	6,19	0,14
	(NH ₄) ₃ SiF ₇	454,68	10,33				
	NH ₄ VOF ₄	8,03	0,18	2	Газовая фаза, в том числе:		
	NH ₄ HF ₂	928,89	21,11		(NH ₄) ₂ TiF ₆	1594,77	36,23
					NH ₄ HF ₂	928,89	21,11
					(NH ₄) ₂ SiF ₆	376,43	8,55
					NH ₄ F	886,14	20,13
Итого		4401,25	100	Итого		4401,25	100

Таблица 16 – Материальный баланс сублимации № 2

Приход				Расход			
№	Вещество	кг/час	%	№	Вещество	кг/час	%
1	Десублимат, в том числе:			1	Остаток, в том числе:		
	NH ₄ HF ₂	928,89	24,53		(NH ₄) ₂ TiF ₆	1594,77	42,12
	(NH ₄) ₂ SiF ₆	376,43	9,94		Газовая фаза, в том числе:		
	NH ₄ F	886,14	23,40		NH ₄ HF ₂	928,89	24,53
	(NH ₄) ₂ TiF ₆	1594,77	42,12		(NH ₄) ₂ SiF ₆	376,43	9,94
					NH ₄ F	886,14	23,40
Итого		3786,23	100 %	Итого		3786,23	100 %

5.3 Тепловой баланс сублимации

По данным ТГА и ДСК анализов разложения фторированного ильменитового концентрата и интегрирования полученной зависимости теплового потока от температуры (рисунок 15) была определена энергия, затрачиваемая на весь процесс разложения, которая составила 2631 Дж/г.



Скорость нагрева 10° С/мин; масса навески – 14 мг; атмосфера – аргон

Рисунок 23 – Результаты ТГА и ДСК анализов разложения фторированного ильменитового концентрата

Общая необходимая теплота для непрерывно действующего сублиматора составляет:

$$Q = 1100000 \cdot 2631 = 2,89 \cdot 10^8 \text{ Дж/ч}$$

Так как процесс сублимации фтораммонийных комплексных солей эндотермический, то необходимо производить обогрев аппарата, тогда количество электроэнергии, затрачиваемое для нагрева, рассчитаем по формуле:

Потери тепла в окружающую среду примем равными 10 %:

$$Q_{\text{нагрева}} = Q \cdot 1,1 \quad (42)$$

$$Q_{\text{нагрева}} = 2,89 \cdot 10^8 \cdot 1,1 = 3,18 \cdot 10^8 \text{ Дж/ч} = 88,3 \text{ кВт/ч}$$

5.4 Расчет основного аппарата

5.4.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата

Из расчетов главы 5.2 часовая производительность стадии сублимации составляет 4401,25 кг/ч. т. к. в работе будет использовано четыре сублиматора то, часовая нагрузка на один сублиматор будет в четыре раза меньше и составит 1100,31 кг/ч. Расчет производился по методике описанной в литературе [8].

Определим секундную производительность аппарата:

$$G_c = \frac{G_{\text{ч}}}{\tau_c} = \frac{1100,31}{3600} = 0,306 \text{ кг/с,}$$

где $G_{\text{ч}} = 1100,31 \text{ кг/ч}$ – требуемая часовая производительность аппарата;

$\tau_c = 3600 \text{ с}$ – число секунд в 1 часе.

Время нагревания определим по формуле:

$$F_0 = \frac{\lambda \cdot \tau_n}{c_p \cdot \rho_n \cdot l^2}, \quad (43)$$

где F_0 – критерий гомохронности Фурье, равный

$$F_0 = \frac{l}{\eta_1^2} \cdot \ln \frac{B_1}{\theta} \quad (44)$$

τ_n – время нагревания, с;

c_p – удельная теплоёмкость фторированного продукта, равная 800 Дж/(кг·К);

ρ_n – насыпная плотность материала, 650 кг/м³;

l – толщина слоя, равная 0,123 м;

λ – коэффициент теплопроводности нагреваемого слоя фторированного продукта, равный 0,35 Вт/(м·К);

η_1 – первый корень характеристического уравнения;

B_1 – корень характеристического уравнения.

$$\eta_m = (2m - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \quad (45)$$

$$\eta_1 = (2 \cdot 1 - 1) \cdot \frac{\pi}{2} = 1,57$$

Относительная температура нагрева определяется по формуле:

$$\theta = \frac{T_c - T_d}{T_{\Pi} - T_0}, \quad (46)$$

где θ – относительная температура, равная

T_c – температура сублимации продукта, К;

T_d – температура десублимации продукта, К;

T_{Π} – температура поверхности нагрева, К;

T_0 – начальная температура слоя, К;

Отсюда:

$$\theta = \frac{T_c - T_d}{T_{\Pi} - T_0} = \frac{973 - 423}{1023 - 298} = \frac{550}{725} = 0,76$$

$$\operatorname{ctg} \mu = \mu / Bi; \quad (47)$$

где μ_1 – первый корень характеристического уравнения

Определим критерий Био по формуле:

$$Bi = \frac{\alpha_l \cdot l}{\lambda} \quad (48)$$

где Bi – критерий Био;

α_l – коэффициент теплопередачи лучеиспусканием от поверхности нагрева стали 3 к слою продукта, равный 58 Вт/(м²·К);

λ – коэффициент теплопроводности фторированного продукта, равный 0,35 Вт/(м·К).

$$Bi = \frac{\alpha_l \cdot l}{\lambda} = \frac{58 \cdot 0,123}{0,35} = 20,38$$

По таблице Б.1 [8, стр. 214], $\mu_1=1,49$, тогда:

$$B_1 = \frac{1}{\cos \mu} \left[\frac{\sin(\mu - \eta_1)}{\mu - \eta_1} + \frac{\sin(\mu + \eta_1)}{\mu + \eta_1} \right] - \frac{2}{\eta_1} \cdot \sin \eta_1 \quad (49)$$

$$B_1 = \frac{1}{\cos 1,51} \left[\frac{\sin(1,49 - 1,57)}{1,49 - 1,57} + \frac{\sin(1,49 + 1,57)}{1,49 + 1,57} \right] - \frac{2}{1,57} \cdot \sin 1,57 = 0,016$$

Рассчитаем критерий гомохронности Фурье:

$$F_0 = \frac{l}{\eta_1^2} \cdot \ln \frac{B_1}{\theta} = \frac{0,123}{1,57^2} \cdot \ln \frac{0,016}{0,76} = 0,019$$

Рассчитаем время нагрева по формуле:

$$\tau_H = \frac{C_p \cdot \rho_H \cdot l^2 \cdot F_0}{\lambda} = \frac{800 \cdot 650 \cdot 0,123^2 \cdot 0,019}{0,35} = 427,07 \text{ с}$$

Определим время сублимации с единицы площади поверхности $0,6 \text{ м}^2$ по формуле (50):

$$\tau_c = \frac{m_c}{W_c \cdot F_{\text{исп}}} \quad (50)$$

где $m_c = 950 \text{ кг}$ – масса сублимата;

$W_c = 46 \text{ кг/ч} \cdot \text{м}^2$ – скорость испарения фторированного продукта при 700°С ;

$F_{\text{исп}} = 0,6 \text{ м}^2$ – площадь испарения.

$$\tau_c = \frac{950}{46 \cdot 0,6} = 34,4 \text{ с}$$

По известному времени сублимации τ_c , определим длину зоны сублимации:

$$L_c = \tau_c \cdot n \cdot t = 34,4 \cdot 0,033 \cdot 0,320 = 0,36 \text{ м} \quad (51)$$

где L_c – длина зоны сублимации, м;

$t = 0,320 \text{ м}$ – шаг винта шнека;

$n = 2 = 0,033 \text{ об/с}$ – частота вращения шнека.

Определим длину зоны нагрева

$$L_H = \tau_H \cdot n \cdot t = 427,07 \cdot 0,033 \cdot 0,320 = 4,5 \text{ м}, \quad (52)$$

где L_H – длина зоны нагрева, м;

Отсюда общая длина аппарата составит:

$$L = L_c + L_H = 0,36 + 4,5 = 4,9 \text{ м}$$

Принимаем длину цилиндрической части аппарата равной 5 метров.

Определим массу вещества, находящегося одновременно в аппарате:

$$m_B = G_C \cdot \tau = 0,306 \cdot 461,5 = 141,21 \text{ кг}, \quad (53)$$

где $\tau = (\tau_H + \tau_C)$ – технологическое время процесса.

Объем вещества:

$$V_B = \frac{m}{\rho} = \frac{141,21}{650} = 0,22 \text{ м}^3;$$

Объем аппарата:

$$V_a = \pi \cdot R^2 \cdot L = 3,14 \cdot 0,205^2 \cdot 4,9 = 0,65 \text{ м}^3;$$

Степень заполнения аппарата материалом:

$$\gamma = V_a/V_B = 0,22/0,65 = 0,3$$

Расчет основного шнека:

Необходимый диаметр винта определяется по формуле:

$$D = \frac{m_B}{\rho_H \cdot \gamma \cdot R_B \cdot n \cdot E} = \frac{0,141}{0,65 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1} = 0,362 \text{ м} \quad (54)$$

где D – диаметр винта, м;

$m_B=141,21 \text{ кг/час} = 0,141 \text{ т/ч}$ – масса вещества находящаяся одновременно в аппарате;

E – отношение шага винта к его диаметру (для необразивных грузов $E=1$);

$n=2$ – частота вращения винта, об/мин;

$\rho_H=650 \text{ кг/м}^3=0,65 \text{ т/м}^3$ – насыпная плотность груза;

$R_B=1$ – коэффициент уменьшения производительности от наклона конвейера;

$\gamma = 0,3$ – коэффициент заполнения аппарата.

Из стандартного ряда выбираем диаметр винта $D = 400 \text{ мм}$ и шаг $S=320 \text{ мм}$ (как для хорошо сыпучих материалов).

Шаг винта связан с диаметром сублиматора соотношением:

$$t = [0,5 - 0,8] \cdot D_C; \quad (55)$$

Отсюда:

$$D_C = [640 - 400] \text{ мм}; \quad (56)$$

В соответствии со стандартным рядом стальных труб ст3 по ГОСТ 10704 – 91 принимаем значение диаметра сублиматора 426,0 мм и толщину стенки 8,0 мм.

Мощность на валу винта определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{Q}{367} \cdot (L_r \cdot \omega_B \pm H) + 0,02 \cdot R \cdot g_k \cdot L_r \cdot \omega, \quad (57)$$

где: N_0 - мощность на валу винта, кВт;

L_r – горизонтальная проекция длины конвейера, м (принимаем $L = L_r$);

$H = 0$ м - высота подъема;

$\omega = 1,2$ – коэффициент сопротивления перемещению груза (для легких неабразивных грузов);

$R = 0,2$ – коэффициент, учитывающий характер перемещения винта;

$g_k = \frac{m_{\text{шнека}}}{5}$ – погонная масса вращающихся частей конвейера, кг/м;

$w_B = 0,16$ – коэффициент сопротивления движению вращающихся частей конвейера.

Для определения погонной массы шнека, рассчитаем массу деталей шнека:

$$m_{\text{шнека}} = m_B + m_{\Pi} \quad (58)$$

где m_B – масса вала, кг;

m_{Π} – масса витков шнека, кг.

Для вала шнека принимаем трубу 83×14 ст3. Масса погонного метра трубы составляет 17,14 кг, тогда:

$$m_B = 17,14 \cdot 5 = 85,7 \text{ кг}$$

Масса витка шнека рассчитывается исходя из размеров одного витка: $D_{\text{нар}} = 400$ мм; $d_{\text{внут}} = 83$ мм; $S = 16$ мм. Количество лопастей установленных на валу шнека составляет 15 штук. Таким образом $m_{\Pi} = 43,5$ кг.

Тогда:

$$m_{\text{шнека}} = 85,7 + 43,5 = 129,2 \text{ кг}$$

$$N_0 = \frac{1100,31}{367} \cdot (5 \cdot 0,16 \pm 0) + 0,02 \cdot 0,2 \cdot 26 \cdot 5 \cdot 1,2 = 3,024 \text{ кВт}$$

Мощность двигателя определяется:

$$N = \frac{K \cdot N_0}{\eta}, \quad (59)$$

где K – коэффициент запаса мощности, для приводов шнеков $K=1,25$;
 η – КПД привода (0,6-0,85), примем $\eta= 0,85$.

$$N = \frac{1,25 \cdot 3,024}{0,85} = 4,5 \text{ кВт}$$

5.4.1.1 Расчет шнека питателя

В качестве шнека питателя выбираем шнек длиной 2 метра, диаметром $D=100$ мм и шагом $t = 75$ мм. Труба выполнена из Ст3 диаметром 114 мм и толщиной стенки 5 мм.

Рассчитаем необходимую частоту вращения загрузочного шнека с учетом коэффициента заполнения $\gamma = 1$:

$$n = \frac{Q}{\rho_n \cdot \gamma \cdot R_b \cdot D \cdot E} = \frac{1,1}{0,65 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 1} = 17 \text{ об/мин} \quad (60)$$

Для вала шнека принимаем цельнометаллический вал $D = 48$ мм ст3. Масса погонного метра вала составляет 14,1 кг, тогда:

$$m_b = 14,1 \cdot 2 = 28,2 \text{ кг}$$

Масса витка шнека рассчитывается исходя из размеров одного витка: $D_{\text{нар}} = 100$ мм; $d_{\text{внут}} = 48$ мм; $S = 5$ мм. Количество лопастей установленных на валу шнека составляет 26 штук. Таким образом $m_{\text{ш}} = 32,5$ кг.

Тогда:

$$m_{\text{шнека}} = 28,2 + 32,5 = 60,7 \text{ кг}$$

Мощность на валу винта:

$$N_0 = \frac{1100,31}{367} \cdot (2 \cdot 0,16 \pm 0) + 0,02 \cdot 0,2 \cdot 2 \cdot 30,3 \cdot 1,2 = 1,3 \text{ кВт}$$

Тогда мощность двигателя:

$$N = \frac{K \cdot N_0}{\eta}, \quad (59)$$

где K – коэффициент запаса мощности, для приводов шнеков $K=1,25$;

η – КПД привода (0,6-0,85), примем $\eta = 0,85$.

$$N = \frac{1,25 \cdot 1,3}{0,85} = 1,9 \text{ кВт}$$

5.4.1.2 Расчет шнека для разгрузки огарков

В качестве шнека для разгрузки огарков выбираем шнек длиной 2 метра, диаметром $D = 100$ мм и шагом $t = 75$ мм. Труба выполнена из Ст3 диаметром 114 мм и толщиной стенки 5 мм.

Рассчитаем необходимую частоту вращения разгрузочного шнека с учетом того, что разгрузочный шнек будет работать периодически и включаться один раз в 5 часов. Коэффициента заполнения $\gamma = 1$ и масса огарка в бункере $Q = 150,31 \text{ кг/час} \cdot 5 = 751,55 \text{ кг} = 0,752 \text{ т/ч}$; $\rho_{\text{огарка}} = 4000 \text{ кг/м}^3$:

$$n = \frac{Q}{\rho_n \cdot \gamma \cdot R_v \cdot D \cdot E} = \frac{0,752}{4 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 1} = 1,9 \text{ об/мин}$$

Для вала шнека принимаем цельнометаллический вал $D = 48$ мм ст3. Масса погонного метра вала составляет 14,1 кг, тогда:

$$m_v = 14,1 \cdot 2 = 28,2 \text{ кг}$$

Масса витка шнека рассчитывается исходя из размеров одного витка: $D_{\text{нар}} = 100$ мм; $d_{\text{внут}} = 48$ мм; $S = 5$ мм. Количество лопастей установленных на валу шнека составляет 26 штук. Таким образом $m_{\text{ш}} = 32,5$ кг.

Тогда:

$$m_{\text{шнека}} = 28,2 + 32,5 = 60,7 \text{ кг}$$

Мощность на валу винта:

$$N_0 = \frac{752}{367} \cdot (2 \cdot 0,16 \pm 0) + 0,02 \cdot 0,2 \cdot 2 \cdot 30,3 \cdot 1,2 = 1 \text{ кВт}$$

Тогда мощность двигателя N :

$$N = \frac{K \cdot N_0}{\eta}, \quad (59)$$

где K – коэффициент запаса мощности, для приводов шнеков $K=1,25$;

η – КПД привода (0,6-0,85), примем $\eta = 0,85$.

$$N = \frac{1,25 \cdot 1}{0,85} = 1,5 \text{ кВт}$$

В результате проведенных расчетов определены геометрические размеры аппарата и отдельных деталей. Основные расчетные параметры представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры рассчитанного аппарата

Параметры реакционной зоны	
Производительность аппарата	1100,31 кг/ч
Шнек	однозаходный
Длина барабана главного шнека	5 м
Внутренний диаметр барабана	410 мм
Рабочая длина главного шнека	5 м
Угол наклона аппарата	0°
Шаг винта шнека	320 мм
Диаметр винта шнека	400 мм
Частота вращения главного шнека	2 об/мин
Мощность на валу	3,024 кВт
Требуемая мощность электродвигателя	4,5 кВт
Характер работы аппарата	круглосуточно
Параметры загрузочного узла	
Производительность	1100,31 кг/ч
Шнек	однозаходный
Длина барабана загрузочного шнека	2 м
Диаметр барабана	114 мм
Рабочая длина главного шнека	2 м
Угол наклона аппарата	0°
Шаг винта шнека	75 мм
Диаметр винта шнека	100 мм
Частота вращения загрузочного шнека	17 об/мин
Мощность на валу	1,3 кВт
Требуемая мощность электродвигателя	1,9 кВт
Характер работы	круглосуточно
Параметры разгрузочного узла	
Производительность	150 кг/ч
Шнек	однозаходный
Длина барабана загрузочного шнека	2 м
Диаметр барабана	114 мм
Рабочая длина главного шнека	2 м
Угол наклона аппарата	0°
Шаг винта шнека	75 мм

Диаметр винта шнека	100 мм
Частота вращения загрузочного шнека	2 об/мин

Продолжение таблицы 17

Параметры разгрузочного узла	
Мощность на валу	1 кВт
Требуемая мощность электродвигателя	1,5 кВт
Характер работы	включается периодически, через каждые 5 часов работы всего аппарата

Для главного шнека из стандартного ряда асинхронных электродвигателей АИР принимаем характеристики двигателя, представленные в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики двигателя АИР 132 М8

Модель	Мощность, кВт	об/мин	КПД, %	Масса, кг
АИР 132 М8	5,5 кВт	750	83	82

Для шнека загрузки из стандартного ряда асинхронных электродвигателей АИР принимаем характеристики двигателя, представленные в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристики двигателя АИР 112 МА8

Модель	Мощность, кВт	об/мин	КПД, %	Масса, кг
АИР 112 МА8	2,2 кВт	750	76,5	43

Для шнека разгрузки из стандартных асинхронных электродвигателей АИР принимаем характеристики двигателя, представленные в таблице 20.

Таблица 20 – Характеристики двигателя АИР 100 L8

Модель	Мощность, кВт	об/мин	КПД, %	Масса, кг
АИР 100 L8	1,5 кВт	750	76,5	26

Редуктора для данных двигателей, с необходимым передаточным числом отсутствуют, поэтому рассчитываются механиками. Необходимая частота вращения выходного вала для редукторов представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Требуемая частота вращения выходного вала редуктора

Параметр	Главный шнек	Загрузочный шнек	Разгрузочный шнек
$V_{вх}$, об/мин	750	750	750
$V_{вых}$, об/мин	2	17	2

5.4.1.3 Расчет габаритов десублиматора

При расчёте десублиматоров определяют площадь требуемой поверхности десублиматора и количество теплоты, отводимого от десублимирующегося продукта.

Площадь поверхности десублиматора рассчитывают из условия вместимости десублимата либо во всём десублиматоре (если десублимационная часть аппарата расположена в отдельном корпусе), либо в свободном пространстве между сублимационной и десублимационной частями аппарата (если эти части находятся в одном корпусе).

Расчет необходимых размеров десублиматора, производим по методике описанной в литературе [8].

Определим необходимый объем десублиматора для полной вместимости десублимата, по формуле:

$$V = \frac{M_d}{\rho_d} \quad (61)$$

где $M_d = 950$ кг – масса десублимата;

$\rho_d = 1200$ кг/м³ – плотность десублимата.

$$V = \frac{950}{1200} = 0,8 \text{ м}^3$$

Так как корпус десублиматора будет иметь форму цилиндра (рисунок 24), то для данного объема подбираем трубу $D = 500$ мм и $H = 2$ м.

Для принятой геометрической формы и размеров десублиматора, рассчитаем требуемую площадь поверхности охлаждения.

Диаметр камеры десублиматора определим по формуле:

$$D_k = \sqrt{\frac{8 \cdot M_d}{\pi \cdot \rho_d \cdot H_k}} \quad (62)$$

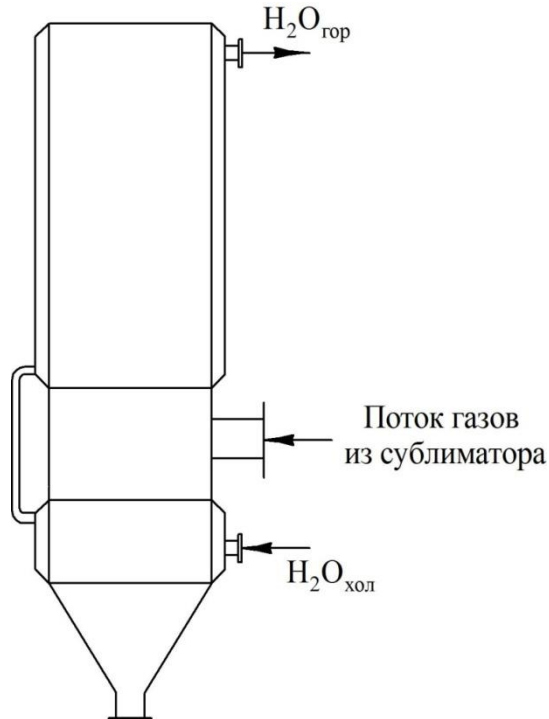


Рисунок 24 – Схема десублиматора

$$D_k = \sqrt{\frac{8 \cdot 950}{3,14 \cdot 1200 \cdot 2}} = 1 \text{ м}$$

Отсюда, величина рабочей поверхности F_k десублиматора будет рассчитываться по формуле:

$$F_k = \pi \cdot D_k \cdot H_k + \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \quad (63)$$

$$F_k = 3,14 \cdot 1 \cdot 2 + \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 7,1 \text{ м}^2$$

Тогда высота для трубы диаметром 1 метр составит:

$$H = \frac{S - 2\pi R^2}{2\pi R} = \frac{7,1 - 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} = 1,8 \text{ м} \quad (64)$$

В данной конструкции сублимат ГФТА и ГФСА поступает в аппарат тангенциально и за счет повышенного давления газа на входе, а также наличия разности давления внутри аппарата, происходит его центробежное вращение относительно обечайки десублиматора. При этом имеющиеся на обечайке различные дефекты поверхности, такие как микротрещины и различного рода выпуклости, служат источником зародышеобразования. Поток газа, поступающий из сублиматора, срывает данные микрокристаллы и возвращает их в газовое ядро, где продолжается окончательное образование поликристалла.

С целью равномерного распределения градиента пониженных температур в центр десублиматора встраивается холодильник, охлаждающийся водой. Создаваемые вихревые потоки провоцируют рост поликристаллов на поверхности микрочастиц, захваченных газовым потоком в слое порошка с испарителя сублиматора.

Поэтому на крышку десублиматора устанавливаем дополнительно четыре трубки Фильда (рисунок 25) под углом в 90° относительно центра крышки. Принимаем диаметр труб 102×3 мм длина 1 м.

Данная конструкция десублиматора должна исключить рост поликристаллов на внутренних поверхностях и соответственно возникновение поверхностной десублимации.

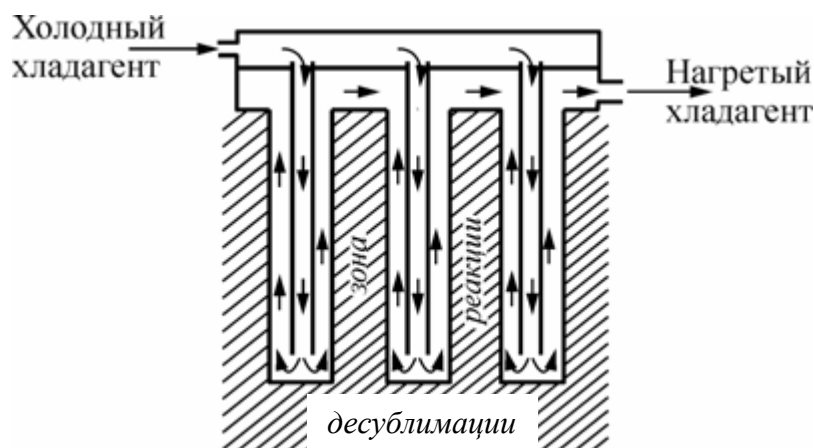


Рисунок 25 – Трубки Фильда

Для расчета количества охлаждающей воды определим, какое количество теплоты нужно отводить от газа чтобы происходил процесс десублимации. Для этого воспользуемся формулой:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (65)$$

где $m = 950$ кг/ч – масса сублимата;

$c = 800$ Дж/ кг·К = 0,2 Дж/ кг·град – удельная теплоемкость газа

Δt – разница температур процесса сублимации и десублимации

$$Q = 0,2 \cdot 950 \cdot (700 - 150) = 1 \frac{\text{МДж}}{\text{ч}} = 0,277 \text{ КДж/с}$$

Таким образом, чтобы охладить газ до температуры десублимации необходимо за 1 секунду отводить 0,277 КДж энергии. Так как теплоемкость воды 4,187 Дж/ кг·град, то определим, какое количество теплоты поглотит 1кг охлаждающей воды

$$Q = 4,187 \cdot 950 \cdot (700 - 150) = 2,18 \frac{\text{МДж}}{\text{ч}} = 0,605 \text{ КДж/с}$$

Тогда масса воды требуемая для отведения 0,277 КДж/с тепла

$$1 \text{ кг} \quad - \quad 0,605 \text{ КДж/с}$$

$$m_{\text{в}} \quad - \quad 0,277 \text{ КДж/с}$$

$$m_{\text{в}} = 0,45 \text{ кг/с} = 1620 \text{ кг/час}$$

Таким образом, расчет десублиматора считается законченным. Результаты расчетов сведены в таблицу 1

Таблица 22 – Параметры рассчитанного десублиматора

Производительность по сублимату	950 кг/ч
Площадь охлаждения	7,1 м ²
Высота цилиндрической части десублиматора	1,8 м
Диаметр цилиндрической части десублиматора	1 м
Расход воды для охлаждения	1620 кг/час
Материал аппарата	алюминий

5.4.2 Механический расчет

5.4.2.1 Расчёт вала шнека на прочность

Определим крутящий момент на валу шнека:

$$M_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot N \cdot \eta}{2\pi n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (66)$$

$$M_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 5,5 \cdot 0,83}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} = 21807,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Наибольшая продольная сила, действующая на шнек:

$$P = \frac{M_{кр}}{r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho_B)} \quad (67)$$

где r – радиус шнека (приведённый), $r = \frac{(0,7...0,8) \cdot D}{2}$, м,

$$r = \frac{0,75 \cdot 0,4}{2} = 0,15 \text{ м}$$

α – угол подъёма линии шнека, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi \cdot D}$,

$$\tan \alpha = \frac{0,32}{3,14 \cdot 0,4} = 0,255$$

$$\alpha = 0,004 \text{ град.}$$

ρ_B – угол трения груза о поверхности конвейера, $\rho_B = \operatorname{arctg}(f_B)$, град,

f_B – коэффициент трения груза $f_B = 0,26$

$$\rho_B = \arctg(f_B), \text{ град}$$

$$P = \frac{21807,3}{0,09 \cdot \tan(0,0044 + 15,57)} = 872292 \text{ Н}$$

Расстояние между опорами 1,67 метров. Определим интенсивность нагрузки q , Н/м

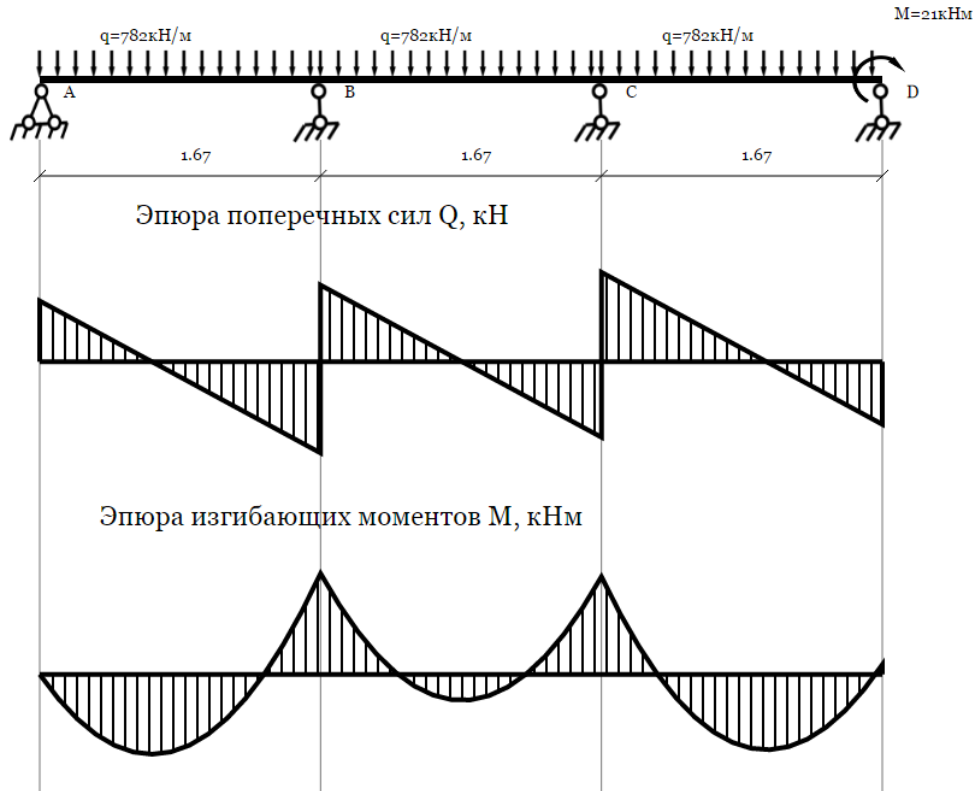


Рисунок 26 – Эпюры нагрузок на валу шнека

$$m_{\text{шнек}} = 129,2 \text{ кг}$$

Линейная нагрузка, действующая на шнек, определяется по формуле:

$$q = mg = 129,2 \cdot 9,81 = 1267,45 \text{ Н/м}$$

Определим реакции опор от действия R_A, R_B, R_C, R_D (рисунок 26):

$$R_A = R_B = \frac{q \cdot L}{3} + q \cdot \frac{l_1}{L} = \frac{1267,45 \cdot 5}{3} + 1267,45 \cdot \frac{1,67}{5} = 2535,7 \text{ Н}$$

$$R_C = R_D = \frac{q \cdot L}{2} + q \cdot \frac{(l_2 + l_1)}{2} = \frac{1267,45 \cdot 5}{2} + 14715 \cdot \frac{(1,67 + 1,67)}{2} = 5285,2 \text{ Н}$$

Тогда общая нагрузка на вал рассчитывается:

$$q_{\text{общ}} = \frac{R_A + R_B + R_C + R_D}{5} = \frac{2535,7 \cdot 2 + 5285,2 \cdot 2}{5} = 3128,4 \text{ Н/м}$$

$$M_{\text{и}} = \frac{q \cdot L^2}{4} \quad (68)$$

где $M_{\text{и}}$ – изгибающий момент, действующий на шнек, Н·м:

$$M_{\text{и}} = \frac{3128,4 \cdot 5^2}{4} = 19552,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим момент сопротивления сечения вала шнека:

$$W = 0,1 \cdot d^3 \quad (69)$$

$$W = 0,1 \cdot 83^3 = 57178,7 \text{ мм}^3$$

Рассчитаем напряжение вала $\sigma_{\text{и}}$:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W} \quad (70)$$

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{195523}{57178,7} = 3,4 \text{ МПа}$$

Определим сопротивление сжатия:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{83} \quad (71)$$

где P – наибольшая продольная сила, Н

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{872292}{83} = 10,59 \text{ МПа}$$

Определим сопротивление кручения, МПа

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} \quad (72)$$

где W_p – полярный момент сопротивления сечения

Определим полярный момент сопротивления сечения вала шнека:

$$W_p = 0,2 \cdot d^3 \quad (73)$$

$$W_p = 0,2 \cdot 83^3 = 114357,4 \text{ мм}^3$$

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{218073}{114357,4} = 1,9 \text{ МПа}$$

Проверку прочности вала винта осуществляют по эквивалентным напряжениям:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_{\text{И}}^2 + \sigma_{\text{СЖ}}^2 + 3\tau_{\text{КР}}^2} \leq [\sigma] \quad (74)$$

$[\sigma] = 25$ МПа – допускаемое напряжение для вала из стали марки Ст3 при рабочей температуре $t < 600^\circ\text{C}$.

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{3,7^2 + 10,59^2 + 3 \cdot 1,9^2} = 11,69 \text{ МПа}$$

Вывод: $\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq [\sigma]$ условие прочности выполняется

5.4.2.2 Расчёт вала шнека на жёсткость

Проверка жёсткости вала винта по углу закручивания ϕ град. проводится по условию жёсткости:

$$\phi = \frac{180 \cdot M_{\text{кр}}}{\pi \cdot J_p \cdot G} 10^3 \leq [\phi] \quad (75)$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент, Н·мм;

$[\phi]$ – допускаемый угол закручивания ($[\phi] = 0,4^\circ$ на 1 погонный метр длины);

J_p – полярный момент инерции поперечного сечения вала, мм^4 ;

G – модуль упругости второго рода, МПа

$$J_p = 0,1d^4$$

$$J_p = 0,1 \cdot 83^4 = 4745832,1 \text{ мм}^4$$

$$G = 0,8 \cdot E$$

где E – модуль упругости первого рода, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа,

$$G = 0,8 \cdot 2 \cdot 10^5 = 1,6 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$\phi = \frac{180 \cdot 2180730}{3,14 \cdot 4745832,1 \cdot 1,6 \cdot 10^5} \cdot 10^3 = 0,2^\circ$$

т. к. $\phi < [\phi]$, условие жёсткости выполняется.

5.4.2.3 Расчет барабана на прочность

Барабан сублиматора устанавливается на три жесткие опоры. Схема действия поперечных сил и изгибающих моментов представлены эпюрой на рисунке 27.

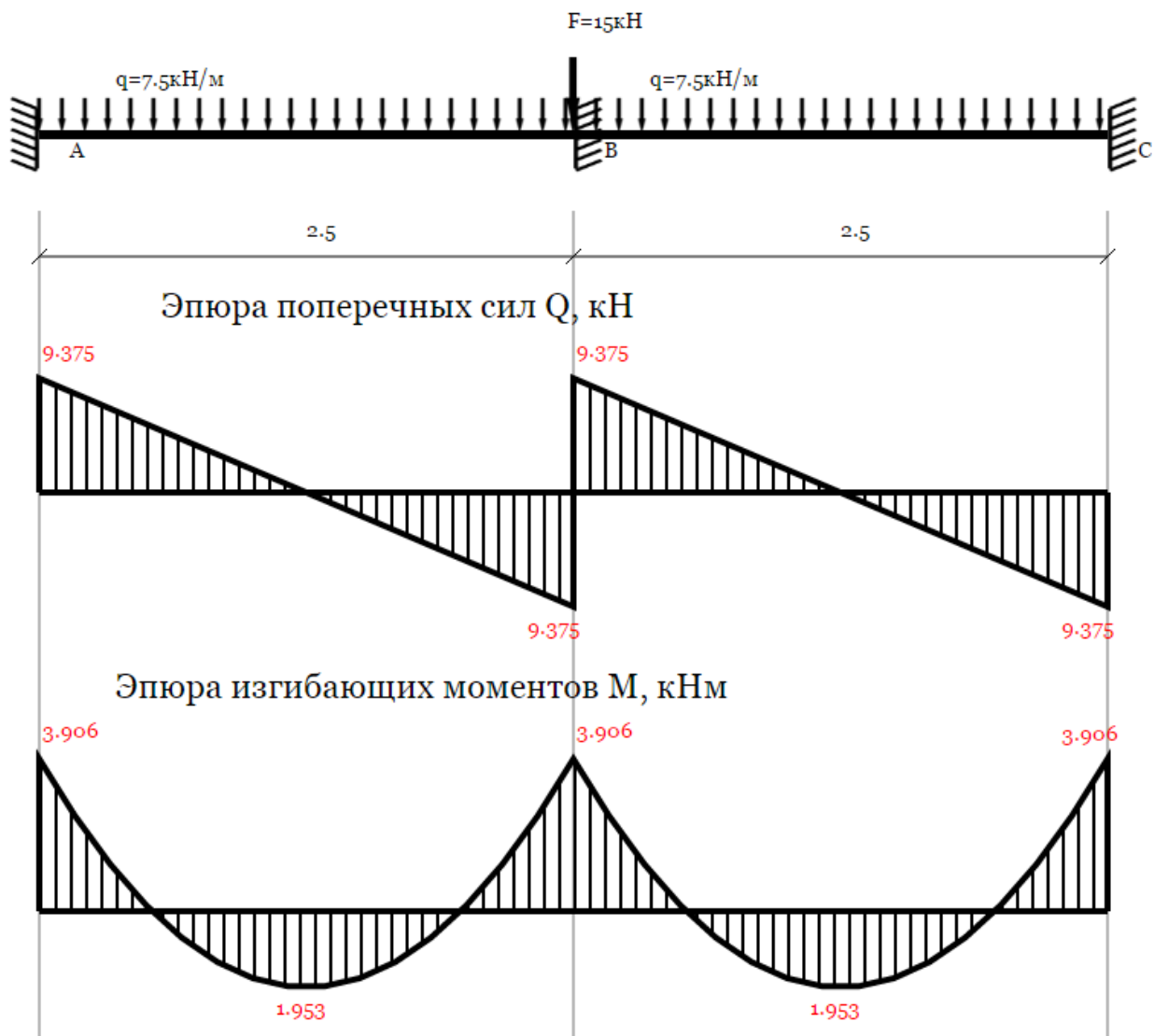


Рисунок 27 – Эпюра действия поперечных сил и изгибающих моментов

Суммарная масса барабана и материала:

$$m = 1512,66 \text{ кг,}$$

Линейная нагрузка, действующая на барабан, определяется по формуле:

$$F = mg = 1512,66 = 15 \text{ кН}$$

Реакции опор от действия q (рисунок 12):

$$R_A = R_B = R_C = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{7,5 \cdot 2,5}{2} = 9,375 \text{ кН}$$
$$M_{\text{и}} = \frac{q \cdot L^2}{3} \quad (76)$$

где $M_{\text{и}}$ —изгибающий момент, действующий на барабан, кН·м:

$$M_{\text{и}} = \frac{7,5 \cdot 2,5^2}{3} = 15,625 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Определим момент сопротивления сечения барабана:

$$W = 0,1 \cdot d^3 \quad (69)$$
$$W = 0,1 \cdot 0,426^3 = 0,01 \text{ мм}^3$$

Рассчитаем напряжение барабана $\sigma_{\text{и}}$:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W} \quad (70)$$
$$\sigma_{\text{и}} = \frac{15,625}{0,1} = 1,56 \text{ МПа}$$

Определим сопротивление сжатия:

$$q_{\text{общ}} = R_A + R_B + R_C = 9,375 \cdot 5 = 46,9 \text{ кН/м}$$

где $q_{\text{общ}}$ – наибольшая продольная сила, кН/м

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{q_{\text{общ}}}{426}$$
$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{46,92}{0,426} = 11 \text{ МПа}$$

Проверку прочности барабана осуществляют по эквивалентным напряжениям:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_{\text{и}}^2 + \sigma_{\text{сж}}^2} \leq [\sigma] \quad (77)$$

$[\sigma] = 25 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение для вала из стали марки Ст3 при рабочей температуре $t < 600^\circ\text{C}$.

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{1,56^2 + 11^2} = 11,1 \text{ МПа}$$

Вывод: $\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq [\sigma]$ условие прочности выполняется

5.4.2.4 Расчет барабана на жесткость

Суммарный максимальный прогиб от действующих нагрузок:

$$y_{\max} = \frac{D_{\text{ср}}^3}{8 \cdot E \cdot I_x} \cdot (0,004 \cdot q_1 + 0,002 \cdot q_2) \quad (78)$$

где q_1 – линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала, Н/м;

$$q_1 = g \cdot \frac{m_M}{L} = 9,81 \cdot \frac{1100,31}{5} = 2158,8 \text{ Н/м}$$

q_2 – линейная нагрузка от массы барабана, Н/м;

$$q_2 = g \cdot \frac{m_K}{L} = 9,81 \cdot \frac{412,35}{5} = 809,03 \text{ Н/м}$$

$E=1 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала корпуса при рабочей температуре ($t < 600^\circ \text{C}$);

I_x – момент инерции единичного кольцевого участка барабана, м^3 .

$$I_x = \frac{1 \cdot S_6^3}{L}$$

где S_6 – толщина стенки барабана, м

$$I_x = \frac{0,08^3}{5} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$y_{\max} = \frac{0,418^3}{8 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,004 \cdot 2158,8 + 0,002 \cdot 809,03) = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

ε – относительный прогиб;

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{\text{ср}}} \leq [\varepsilon]$$

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{\text{ср}}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-3}}{0,418} = 0,021 \text{ м}$$

$[\varepsilon] = 1/20$ – допускаемый относительный прогиб (для барабана без футеровки);

Условие жесткости выполняется: $\varepsilon \leq [\varepsilon]$, ($0,021 < 0,05$).

5.4.3 Гидравлический расчет

Расчёт диаметра трубопровода для подачи охлаждающей воды в десублиматор определяется из уравнения расхода .

В соответствии с [27] в зависимости от характера движения, агрегатного состояния и условий движения вещества принимаем скорость подачи и вывода воды $\omega = 2$ м/с.

Следовательно, диаметр равен:

$$d = \sqrt{\frac{V}{\omega \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 0,785}} = \sqrt{\frac{1,16}{2 \cdot 1000 \cdot 0,785}} = 0,027 \text{ м.} \quad (79)$$

из стандартного ряда принимаем размеры штуцера 32×3 мм.

5.4.3.1 Газодинамический расчет

Диаметр штуцера для входа газовой смеси рассчитываем по формуле [11]:

$$d = (G/(0,785 \cdot \rho \cdot \omega))^{0,5} \quad (80)$$

где G – массовый расход газа, равный 0,3 кг/с;

ρ – плотность газовой смеси 252 кг/м³;

ω – скорость движения газа, принятая равной 0,1 м/с.

Диаметр штуцера для входа штуцера:

$$d = (0,3/(0,785 \cdot 252 \cdot 0,1))^{0,5} = 0,123 \text{ м}$$

Так как в сублиматоре имеет место пылеунос, то принимаем диаметр штуцер в два раза больше от теоретически рассчитанного, и из стандартного ряда принимаем трубу 273×5 мм

Штуцера для загрузки фторированного продукта и выгрузки огарка принимаются такими же, как и труба шнеков выгрузки и загрузки размеры которых 114×5 мм.

Все штуцеры снабжаются плоскими приварными фланцами (рисунок 28) по ГОСТ 12820-80. Данные фланцы могут использоваться при температурах

от – 70 до 450° С, и выдерживают давление до 25 кгс/см². Герметизация соединений фланцев осуществляется за счет прокладок из алюминия.



Рисунок 28 – Плоский приварной фланец

5.4.4 Энергетический расчет

Общая необходимая теплота для непрерывно действующего сублиматора составляет $Q = 2,89 \cdot 10^8$ Дж/ч

Потери тепла в окружающую среду примем равными 10 %:

$$Q_{\text{нагрева}} = Q \cdot 1,1 \quad (81)$$

$$Q_{\text{нагрева}} = 2,89 \cdot 10^8 \cdot 1,1 = 3,18 \cdot 10^8 \text{ Дж/ч} = 88,3 \text{ кВт/ч}$$

Электронагреватели трубчатые (ТЭНы) предназначены для нагрева различных сред путем конвекции, теплопередачи и излучения посредством преобразования электрической энергии в тепловую. ТЭНы применяются в качестве комплектующих изделий в промышленных и бытовых установках [30].

Мощность ТЭНов определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{Q_{\text{нагрева}}}{\eta} \quad (82)$$

где $Q_{\text{нагрева}}$ – теплота, необходимая для нагрева печи, кВт/ч;

η – коэффициент полезного действия ТЭН, ($\eta=0,75$).

$$W = \frac{88,3}{0,75} = 117,7 \text{ кВт/ч}$$

Нагревательная система печи представлена подовым электрообогревом. В качестве нагревателя будут использоваться высокотемпературные трубчатые электронагреватели, которые производятся из стали инколой 825 (нержавейка), обладающей высоким уровнем жаропрочности и делающей возможным достижение 1100°C .

Для производства высокотемпературных трубчатых электронагревателей используются хромит лантана (пригоден в электрических печах сопротивления с воздушной средой) [18].

ТЭНы расположены под барабаном в пазах кирпичной кладки. ТЭНы позволяют производить нагрев барабана печи до 750°C , срок работы нагревателя составляет 1500 часов.

Длина ТЭНа – 1200 мм, диаметр – 30 мм. Номинальная мощность составляет 10 кВт, напряжение питания – 220 В.

Найдем количество тэнов, зная мощность одного ТЭНа:

$$n = \frac{117,7}{10} = 12$$

Для нормальной работы барабанной печи необходимо не менее 12 ТЭНов, с учетом большой нагрузки на ТЭНы их общее число должно быть увеличено на 20%, что составит 15 ТЭНов.

5.4.4.1 Расчет теплоизоляции

В качестве материала тепловой изоляции выберем ТЕРМОИЗОЛ – 1300 и 1400 – вакуумформованный материал на основе волокна оксида алюминия и оксида кремния. По техническому заданию заказчика могут выпускаться в

любой форме – полуцилиндр, цилиндр, круглая плита и т.д. Плотность 0,36 г/см³. Максимальная температура применения 1300° С и 1400° С соответственно, термостойкость высокая. Теплопроводность в рабочем диапазоне температур от 0,01 до 0,023 Вт/м·К.

Принимаем температуру наружной поверхности стенки $t_{ст} = 40^{\circ} \text{С}$, температуру окружающей среды $t_{в} = 25^{\circ} \text{С}$, тогда толщина слоя изоляции:

$$\delta_{и} = [\lambda_{и} \cdot (t_{б} - t_{ст})] / [\alpha_{в} \cdot (t_{ст} - t_{в})] \quad (83)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляции в окружающую среду;

$t_{б}$ – температура стенки аппарата без изоляции, равная 750° С.

$$\alpha_{в} = 8,4 + 0,06 \cdot (t_{ст} - t_{в}) = 8,4 + 0,06 \cdot (40 - 25) = 9,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Таким образом, формула принимает вид:

$$\delta_{и} = [0,023 \cdot (750 - 40)] / [9,3 \cdot (40 - 25)] = 0,120 \text{ м}$$

Принимаем толщину слоя тепловой изоляции равной 120 мм.

6 Автоматизация процесса

6.1 Введение

В химической промышленности автоматизации уделяется большое внимание. Это объясняется сложностью и высокой скоростью протекания технологических процессов, вредностью условий работы и т.д.

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 уменьшение отходов, уменьшение затрат сырья и энергии, уменьшение численности основных рабочих, снижение капитальных затрат на строительство зданий, удлинение сроков межремонтного пробега оборудования.

Для получения информации о состоянии объекта и условиях работы служат устройства контроля (контрольно-измерительные приборы). Они могут быть выполнены либо в виде отдельных приборов, 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).

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 пусков и остановок аппаратов для ремонтных работ в критических ситуациях [19].

6.2 Описание функциональной схемы автоматизации сублиматора

Функциональная схема автоматизации данной работы приведена в приложении Б.

Реакция сублимации фторированного ильменитового концентрата протекает в сублиматоре, поделенного на три зоны нагрева, температура 700°C в каждой. Для этого реализованы три контура контроля, регулирования и сигнализации температуры (контур 2-3,5-6,8-9). Для контроля общей мощности ТЭН используется ваттметр (позиции 1-1, 4-1,6-1,8-1). Для предотвращения десублимации в патрубке выхода реакционных газов реализован контур регулирования температур (контур 11-12).

Для вращения шнека сублиматора, используется мотор-редуктор (позиция 10-6). Регулирование скорости вращения ротора мотор-редуктора осуществляется частотным преобразователем (позиция 10-1). На бункере загрузки имеется тензометрический датчик веса, который используется для контроля степени заполнения бункера фторированным ильменитовым концентратом (позиция 11-1). Загрузка сырья в аппарат в количестве 1100 кг/час осуществляется шнековым питателем, имеющим электромеханический привод (позиция 12-6). Регулирование скорости вращения ротора электродвигателя, производится за счет изменения частоты питающего напряжения, осуществляемая с помощью частотного преобразователя (позиция 12-1). На патрубке загрузки сырья в сублиматор осуществляется контроль температуры, для этого установлена термопара (позиции 13-1). Для определения начала процесса сублимации фторированной смеси, на барабан сублиматора установлен датчик давления (позиция 14-1).

Продукты сублимации поступают в десублиматор с охлаждаемым водой контуром. Расход воды регулируется и контролируется с помощью контура 20-21. Для контроля температуры в десублиматоре установлены термодатчики (позиции 16-1, 17-1, 18-1), а для контроля давления в установлен манометр (позиция 19-1).

Выгрузка огарков из бункера-накопителя, производится за счет шнека выгрузки приводимого в движение электродвигателем (позиция 20-6). Регулирование скорости вращения ротора электродвигателя осуществляется частотным преобразователем (позиция 20-1). Температура патрубка выгрузки огарка контролируется термопарой (позиция 21-1).

Конечные полупродукты сублимации и огарок разгружаются в приемные емкости. Контроль веса емкостей осуществляется тензометрическим датчиком веса (позиции 22-1, 23-1).

6.3. Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и 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.

- температура в сублиматоре;
- температура в десублиматоре;
- температура патрубка загрузки;
- температура патрубка выхода реакционных газов;
- температура в патрубка разгрузки огарка;
- частота вращения загрузочного шнека;
- частота вращения шнека сублиматора;
- частота вращения разгрузочного шнека;
- расход охлаждающей воды;
- масса продукта в приемных и загрузочных емкостях.
- давление в сублиматоре;
- давление в десублиматоре.

Для того чтобы обеспечить заданное протекание процесса необходимо контролировать и поддерживать технологические параметры. Регулированию подлежат следующие параметры:

- температура в сублиматоре;
- частота вращения загрузочного шнека;
- частота вращения шнека сублиматора;
- частота вращения разгрузочного шнека;
- расход охлаждающей воды.

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.

- масса продукта в приемных емкостях;
- температура в сублиматоре.

6.4 Подбор контрольно-измерительных приборов

В данной функциональной схеме автоматизации используются следующие контрольно-измерительные приборы:

- 1) Термопары ТПК 135 – 9 штук
Тип термопары: (НСХ) К (ХА);
Диапазон измерения: от минус 40 до плюс 1200° С;
Длина монтажной части: 500 мм;
Присоединительная резьба: М27×2 мм;
Диаметр погружной части: 20 мм;
Степень защиты: IP 54;
Выходной сигнал: 4-20 мА

2) Манометр цифровой МЦЗ еК2.832.081-07

Предназначен для дистанционного измерения и местного контроля перепада давления соединений фтора и других агрессивных газов и паров с представлением результата измерения в цифровом виде на индикаторном табло и передачи информации об измеряемом давлении по одному из двух интерфейсов ИРПС или RS485.

Питание осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением от 187 до 242 В частотой 50 Гц или от двух (или одной) сетей постоянного тока напряжением от 160 до 360 В. Предел измерения: от 0 до 760 мм.рт.ст.

3) Тензодатчик колонного типа С16І (цифровой)

Применение: в автомобильных, бункерных весах и смесителях;

Особенности: цифровой выходной сигнал (RS485/4-проводный).
Самоустанавливающийся датчик;

Предел измерения: от 0 до 3000 тонн;

Материал: нержавеющая сталь, IP68;

4) Ваттметр ЩВ120 - прибор, предназначенный для измерения активной, реактивной, мощности в трехфазных трехпроводных и трехфазных четырехпроводных электрических сетях переменного тока. Также приборы предназначены отображения на цифровом индикаторе измеренного значения, преобразования его в цифровой код для передачи по интерфейсу RS485 и в унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока.

Максимальный диапазон отображения показаний - от -9999 до 9999.

Диапазон измерения по току - от 0 до 1,2 номинального предела измерения.

Диапазон измерения по напряжению - от 0 до 1,2 номинального предела измерения.

Количество каналов аналогового выхода - 1 или 2.

Потребляемая мощность по цепи питания - не более 8Вт.

Габариты - 120×120×130мм.

Масса прибора - 0,8кг.

5) Delta VFD-E - преобразователь частоты мощностью 0,2- 22 кВт

Характеристики:

- вольт-частотный и векторный алгоритмы управления;
- автотестирование и определение параметров двигателя при векторном управлении;
- выходная частота от 0.1 до 600.0 Гц;
- встроенный ПЛК (программируемый логический контроллер);
- встроенный РЧ-фильтр (в моделях 230В/1ф и 460В/3ф) для снижения электромагнитных помех и соответствия нормам ЭМС;
- возможность выноса пульта управления и возможность эксплуатации без пульта управления;
- встроенный порт RS-485 (MODBUS), а так же дополнительные сетевые модули.

7) Ультразвуковой расходомер РУС-1

Работает от сети переменного напряжения 220V. РУС-1 используются для измерения расхода холодной и горячей воды, стоков, других жидких сред, в том числе для технологического учета нефтепродуктов.

6.5 Пуск и остановка технологического процесса

1) Аппаратчик визуально проверяет исправность сублиматора и десублиматора, а так же вспомогательных узлов аппарата.

2) По заданию инженера-технолога, аппаратчик устанавливает на пульте управления аппаратом нужную температуру сублиматора, скорости вращения шнека загрузки, шнека сублиматора и шнека выгрузки.

3) После достижения необходимой уставки по температуре в 700 - 750° С и выдержке аппарата при данной температуре не менее 2-3 часов, аппаратчик на пульте управления включает подачу фторированного продукта, с помощью шнека загрузки, в зону реактора, где происходит его перемещение по длине аппарата и процесс сублимации.

4) По показаниям датчика давления, аппаратчик определяет начало процесса сублимации. Как только давление в аппарате начинает расти, то аппаратчик на пульте управления, включает подачу охлаждающей воды в десублиматор, путем открытия вентиля с охлаждающей водой. Через каждые пять часов работы аппарат, производится разгрузку твердого остатка не сублимирующихся примесей (огарка) из бункера-накопителя в приемную емкость. Разгрузка осуществляется разгрузочным шнеком.

5) Степень наполнения приемных емкостей с сублиматом и огарком отслеживается по показаниям тензочувствительных весов.

При нормальной работе аппарата, задачей аппаратчика является отслеживание показаний контрольно-измерительных приборов и осуществление операций по смене приемных емкостей для сублимата и огарка.

В случае неисправности оборудования, аппаратчик производит следующие действия:

- 1) Прекращает подачу фторированного продукта в зону реактора, путем отключения загрузочного шнека;
- 2) Отключает нагрев аппарата, но не производит отключение охлаждения десублиматора.
- 3) Отключает вращение главного шнека;
- 4) Отключает вращение шнека разгрузки;
- 5) В случае неисправности со стороны электрической части аппарата, производит полное обесточивание установки;
- 6) Сообщает о неисправности инженеру-технологу и инженеру КИПиА.

7 Охрана труда и техника безопасности

7.1 Введение

Охрана труда (ОТ) в России является одним из важнейших социально-экономических, санитарно-гигиенических и экологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасных и здоровых условий труда.

Основная цель правил охраны труда и техники безопасности на предприятии – сохранение здоровья работников, обеспечение роста производительности труда и экологической безопасности [20].

Главными законодательными документами, лежащими в основе трудового законодательства и ОТ, являются [20]:

1) Конституция РФ (ст.7. п.2. «В РФ охраняется труд и здоровье людей...», п.3. «Каждый человек имеет право на безопасный труд...», ст.39, ст.41, ст.42, ст.52, ст.58.)

2) Основное законодательство РФ об охране труда (ст.3, ст.4, ст.5, ст. 9, ст.20)

3) ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999г. №52-ФЗ (ст.25, ст.26, ст.27, ст. 34, ст.55)

4) ФЗ РФ от 10.01.2002г №7 – ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст.11).

7.2 Общая характеристика производства

По результатам исследовательской работы, на проектируемом участке по переработке ильменитового концентрата с целью получения чистых фтораммонийных комплексных солей, к числу факторов, оказывающих вредное воздействие на работников, относится [31]:

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ (фторводород, аммиак, плавиковая кислота, гидрофторид аммония, фторид аммония и т.д.);
- опасность поражения электрическим током;
- наличие вращающихся частей и механизмов оборудования;
- опасность термических ожогов;
- опасность воздействия вибрации и различных шумов на производстве (компрессоры, насосы, барабанные шаровые печи);
- опасность возникновения пожара;
- нанесения вреда здоровью человека в связи с неблагоприятными условиями микроклимата на участке.

Ввиду перечисленных факторов производство относится к вредным, на основании ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ [31].

Воздействие данного производства на экологию должно подчиняться основным принципам охраны окружающей среды. Допускается воздействие предприятия на природную среду, исходя из требований в области охраны окружающей среды. При этом снижение негативного воздействия на окружающую среду должно достигаться на основе использования наилучших существующих технологий с учетом экономических и социальных факторов.

7.3 Промышленная санитария

В процессе переработки ильменитового концентрата используются следующие химические соединения: фторид аммония, гидрофторид аммония. Продуктами и полупродуктами являются аммиак (NH_3), фтористый водород (HF), гексафторотитанат аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$), гексафторосиликат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ и др. Данные вещества согласно ГН 2.2.5.1313–03 [22] имеют следующие ПДК, представленные в таблице 23.

Таблица 23 – Предельно-допустимые концентрации веществ в воздухе рабочей зоны [22]

Наименование	Класс опасности	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³
Оксид титана (TiO ₂)	4	10
Оксид алюминия (Al ₂ O ₃)	2	0,5
Оксид кальция (CaO)	2	1
Оксид железа III (Fe ₂ O ₃)	3	0,5
Оксид кремния IV (SiO ₂)	4	1,5
Гидрофторид аммония (NH ₄ HF ₂)	2	1/0,2
Аммония фторид (NH ₄ F)	2	0,5
Фтористый водород (HF)	2	0,5
Аммиак (NH ₃)	4	20
Гексафторотитанат аммония (NH ₄) ₂ TiF ₆	2	0,5
Гексафторосиликат аммония (NH ₄) ₂ SiF ₆	2	1,0
Гексафтороферрат аммония (III) (NH ₄) ₃ FeF ₆	2	1,0
Гексафтороалюминат аммония (III) (NH ₄) ₃ AlF ₆	2	1,0
Тetraфторид кремния SiF ₄	2	0,2

Все трудящиеся на рабочих местах, в зависимости от вида и класса работ, уровня и характера загрязнения воздуха, поверхностей помещений и оборудования, где также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты. Запрещено допускать к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств [23]. Поэтому для работы на данном производстве, работники обязаны использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) [32]:

– спецодежда повседневного применения (костюмы ГОСТ 29057–91 [33] –защиты от нетоксичной пыли; ГОСТ 27652–88 [34] – для защиты от кислот, ГОСТ 27653–88 [35] – для защиты от механических воздействий, воды и щелочей; халаты, нательное белье) и спецодежда кратковременного использования (из нетканых материалов – комбинезоны и костюмы; из пленочных материалов и материалов с полимерным покрытием – полухалаты, полукомбинезоны, фартуки, чехлы, бахилы и т.д.);

– средства защиты органов дыхания – респираторы – ГОСТ 12.4.028–76 [36], противогазы промышленные фильтрующие – ГОСТ 12.4.121–83 [37], самоспасатели; автономные изолирующие дыхательные аппараты;

– спецобувь – ГОСТ 12.4.127–83 [38] (основная спецобувь, сапоги специальные резиновые формовые, защищающие от воды, нефтяных масел и механических воздействий – ГОСТ 12.4.072–79 [39]);

– средства защиты рук – ГОСТ 12.4.010–75 [40] (защитные хлопчатобумажные и резиновые перчатки, камерные перчатки, рукавицы и т.д.);

– средства защиты глаз – ГОСТ 12.4.153–85 [41] (защитные очки, защитные щитки);

– средства защиты органов слуха – ГОСТ 12.4.275-2014 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха (противошумные наушники) [42].

Во избежание воздействия агрессивных химических веществ на человека должны применяться меры по коллективной и индивидуальной защите работающих. К коллективной безопасности относятся:

- применение только цельных трубы из стойкого металла;
- полная герметизация оборудования;
- окрашивание емкостей и коммуникации в определенный цвет;
- изолированное хранение емкостей под давлением;
- эффективная вентиляция и своевременная проверка ее работы;
- полная или частичная автоматизация и механизация технологического процесса;

– постоянный контроль состава воздуха на присутствие в нем соединений фтора;

– четкое ведение технологического процесса и возможное отключение всех аппаратов в случае нарушений приводящих к загрязнению воздуха и нарушению технологического процесса;

– обязательное наличие в рабочем помещении аптечки: противоожоговой мази, раствора аммиака, борной кислоты, питьевой соды и других средств обеззараживания и нейтрализации вредного воздействия токсических и агрессивных веществ.

Так же на проектируемом участке имеются химические аппараты. К наиболее опасным аппаратам в технологической схеме относятся шаровые барабанные печи для выщелачивания ильменитового концентрата, которые являются источником шума и вибрации, печи для пирогидроллиза фторидов железа, работающие при высоких температурах и оснащенные подачей перегретого водяного пара, сублимационные установки, которые работают при высоких температурах.

При эксплуатации данных аппаратов могут возникнуть неполадки вследствие ослабления болтов, крепящих фланцевые соединения, что может привести к попаданию реакционных газов в воздух рабочей зоны, вследствие чего произойдет отравлению рабочих. Разгерметизация трубопровода с водяным паром под давлением может нанести непоправимый вред здоровью рабочего, что вызовет термические ожоги или в худшем случае – летальный исход. Печи и сублиматор работают при температурах до 700° С, поэтому очень важно отслеживать целостность теплоизоляции аппаратов, чтобы исключить возможность термических ожогов рабочих.

Печи и сублиматор должны быть оснащены автоматической системой отключения при возникновении аварийных и опасных случаев, таких как:

а) поломка соединительных муфт;

б) нагрев подшипников выше 75° С или появление дыма из подшипников;

- в) появление запаха дыма или искр из электродвигателя;
- г) появление сильной вибрации, стуков или ненормального шума механизмов или электродвигателя;
- д) прекращение подачи перегретого водяного пара.

При соблюдении правил промышленной санитарии и принятии во внимание различных факторов опасности на производстве, гарантируется залог безопасной работы и исключается производственный травматизм, несчастные случаи, заболевания и т.д.

7.5 Микроклимат

Один из основных факторов, влияющих на работоспособность и здоровье человека – это состояние воздушной среды рабочих мест производственных помещений. Микроклимат производственной зоны зависят от физического состояния воздушной среды и характеризуются следующими параметрами: температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, а также интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей (оборудования, сырья, электродвигателей, трубопроводов и т.д.) [43].

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 установлены оптимальные и допустимые микроклиматические условия, представленные в таблице 24, 25 [44].

Таблица 24 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [44]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ-ая влажность воздуха, %	Скорость движ-я воздуха, м/с
Холодный	IIa (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2

Продолжение таблицы 24

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ-ая влажность воздуха, %	Скорость движ-я воздуха, м/с
Теплый	Па (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2

Нормирование микроклимата в рабочих помещениях осуществляется в соответствии с санитарными правилами и нормами, изложенными в СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Таблица 25 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [44]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Тем-ра повер-тей, °С	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптималь-ных величин	диапазон выше оптималь-ных величин			для диапазона темп-р воздуха не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин не более
Холодный	Па (175 - 232)	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	Па (175 - 232)	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75*	0,1	0,4

Таким образом, в помещении цеха, для нормализации температурно-влажностного режима применяется система вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха. Система вентиляции, должна обеспечивать такие параметры воздухообмена, которые отвечают нормам ассимиляции избыточной теплоты и влаги, а также уменьшают концентрацию вредных паров и газов до допустимых пределов [24].

7.6 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие электрического тока и электрической дуги на работающих [25].

На данном технологическом участке имеются барабанные шаровые печи, сублиматоры и другие электроустановки, работающие от трехфазной сети переменного тока, напряжением 380 В. При эксплуатации технологического оборудования возникает необходимость обхватить рукой различные части оборудования. Поэтому при пробое изоляции электрооборудования, человек, работающий на нем, подвергается действию электротока.

Основные опасности, обусловленные электрическим током [26]:

1. Опасность напряжения прикосновения – при прикосновении человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

2. Опасность напряжения перехода – при прикосновении человека к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

3. Опасность токов короткого замыкания.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

– оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;

– изолирующие устройства и покрытия;

– устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;

– устройства дистанционного управления;

– предохранительные устройства и др;

– предупредительные знаки и надписи [46].

Для защиты от напряжения прикосновения используются малое напряжение (в переносных светильниках), изоляция токоведущих частей, предупредительная сигнализация.

Для защиты от напряжения перехода используется защитное заземление.

Для защиты от токов нагрузки используются автоматическое отключение, установка плавких предохранителей.

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

Электробезопасность на производстве должна строго контролироваться специально нанятыми для этого людьми. Все системы должны функционировать в штатном режиме, а периодические проверки должны быть направлены на выявление потенциальных поломок и быстрое их устранение. При выполнении данных условий гарантируется безопасная работа персонала участка с электрифицированным оборудованием.

7.7 Мероприятия по защите от шума и вибрации

Источниками шума являются барабанные шаровые печи, вентиляторы и электродвигатели, которые при установке в соответствии с техническими требованиями не должны превышать установленные техническими условиями допустимых норм.

Ожидаемые уровни шума для всех аппаратов участка не должны превышать допустимое значение звукового давления по ГОСТ 12.1.003-2014 равным 85 дБ [45].

Мероприятия по защите от шума и вибрации:

– установка вентиляторов в отдельных выгороженных помещениях-венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест;

– подбор диаметров воздухоотводящей трубы по средним скоростям в магистральных воздуховодах для уменьшения сопротивления прохождения воздуха;

– соединение воздуховодов с вентиляционным агрегатом с помощью гибких вставок;

– виброизоляция вентагрегатов и иных электромеханических приводов с помощью пружинных амортизаторов-виброизоляторов, идущих в комплекте к агрегатам;

– монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки. Исключаются жёсткие связи между виброизолируемым агрегатом и строительными конструкциями. [26].

При соблюдении режимов работы оборудования, использования работниками СИЗ слуха, а так же ограничения времени нахождения персонала в зоне эксплуатации агрегатов с повышенным уровнем шума, сводит к минимуму вредное воздействие на центральную и вегетативную нервную систему человека и органы слуха.

7.8 Производственное освещение

Работа аппаратчика заключается в непрерывном наблюдение за показаниями контрольно-измерительных приборов, за механизмами и аппаратурой, запорными устройствами, трубопроводами, что неосуществимо без правильного освещения.

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) [28].

Так же необходимо предусмотреть наличие аварийного освещения, которое выполняется в основных производственных помещениях, щитовых и

операторских. В венткамерах, щитовых, производственных помещениях используется ремонтное освещение напряжением 36 В.

7.9 Пожарная безопасность

Участок переработки ильменитового концентрата относится к помещениям класса А, т.к. в результате реакции фторирования и сублимации выделяется фтороводород, существует взрывоопасность его при взаимодействии с огнем или искрой, поэтому электрооборудование в отделении применяется в обычном исполнении с повышенной герметичностью [47]. Так как все оборудование сделано из стали Х18Н10Т, ЭИ943, Ст3, АЛ4 и материалов, способных гореть, то отделение переработки ильменитового концентрата относится к зданиям I категории [48]. Во избежание возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила:

- запрещается пользоваться органическими смазочными материалами во время эксплуатации оборудования;
- соблюдать герметичность аппаратов, не допускать смешения газовой смеси с парами воды;
- не допускать перегрузок токоведущих частей;
- не загромождать помещение и проходы к аппаратам посторонним оборудованием и материалами, способными гореть;

Меры противопожарной безопасности:

- обеспечить наличие в помещениях средств пожаротушения: углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5; порошковые огнетушители ОПС-6, ОПС-10, асбестовое полотно.
- исключения применения пожаро- и взрывоопасных веществ, либо снижение их доли;
- автоматизация и механизация процесса, своевременный контроль технологической аппаратуры;
- строгое соблюдение технологического режима;

- использование электрооборудования в закрытом исполнении;
- административно-режимные мероприятия (запрещение открытого огня);
- установка звуковой и световой сигнализации;
- установка на пожароопасных участках средств пожаротушения;

При соблюдении данных правил пожарной безопасности, на производстве будут исключены случаи возникновения несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением пожара.

7.10 Охрана окружающей среды

Химические предприятия являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. К утилизации отходов этих предприятий предъявляются высокие требования. Источники загрязнения условно делятся на две группы:

- места специализированного выброса газа, пыли, вентиляционного воздуха;
- места неорганизованного выброса загрязняющих веществ, вследствие разгерметизации аппаратуры и коммуникаций [29].

На данном технологическом участке все использующиеся и образующиеся в ходе работы твердые вещества и жидкости, зациклены по технологической цепочке. Данный участок не имеет превышенных вредных выбросов в атмосферу, так как воздух общеобменных вентиляционных систем и образующихся газов из аппаратов, перед выбросом в атмосферу проходит очистку на газоочистных сооружениях в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02–78 [49].

7.10 Вывод

В разделе охраны труда рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, средства защиты работающих, электробезопасность, пожарная безопасность, микроклиматические условия, вопрос освещенности и охрана окружающей среды.

Соблюдение правил по ТБ и ОТ на участке переработки ильменитового концентрата, позволяет свести к минимуму риски возникновения нештатных ситуаций, производственного травматизма, а также причинения вреда здоровью человека. Правильная и слаженная работа членов участка, с соблюдением всех установленных правил и норм, не приведет к возникновению чрезвычайных ситуаций, следовательно, будет обеспечен рост производительности труда.

8 Экономический расчет

Целью экономического расчёта данной работы является экономическое обоснование процесса непрерывного сублимационного разделения фтораммонийных комплексов титана, железа, кремния, алюминия и других металлов. И представить экономическую оценку эффективности способа.

8.1 Расчет капитальных затрат на аренду

Величина капитальных затрат на здание участка сублимационной переработки сырья и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1 м^3 здания согласно действующим поясным ценам на аренду.

Выбираем под участок помещение: длина которого составляет 30 м, ширина – 12 м, высота – 6 м. Производственная площадь – 360 м^2 , периметр здания 84 м.

Стоимость 1 м^2 производственного помещения 500 руб/мес. (Томская область). Таким образом, за аренду помещения в месяц тратится 180 000 руб/мес.

8.2 Расчёт эффективного фонда времени

Проектируемый участок будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, с остановками для выполнения ТР и ППР производимых согласно действующего утвержденного графика один раз в месяц в течение двух дней.

Проектируемый участок работает круглосуточно в три смены (дневная, вечерняя и ночная), продолжительностью по 8 часов каждая. Работа будет производиться 4-мя производственными бригадами.

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{М}}, \quad (84)$$

где $n_{\text{б}}$ – число бригад;

$T_{\text{М}}$ – число дней, когда бригада ходит в смену (3 дня).

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{М}} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ дней}$$

Сменность бригад отображена в таблице 1, где А, Б, В, Г – бригады. Таким образом, в год 102 ночных и дневных смен, 72 вечерние смены. Длительность отдыха рабочего в году составляет 89 дней. Таблица 25, приложение В.

В таблице 26 приведены значения баланса рабочего времени среднесписочного рабочего.

Таблица 26 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

Показатель	Дни	Часы
Календарное число дней	365	8784
Нерабочие дни, выходные	59	1416
Номинальный фонд рабочего времени	306	7344
Планируемые выходные:		
А) очередные и дополнительные отпуска	32	768
Б) по болезни	10	240
В) выполнение общественных обязанностей	1	24
Эффективный фонд рабочего времени	263	6312

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 263 \cdot 8 = 2104 \text{ часа.}$$

Составим перечень должностных обязанностей для участка и их характеристики (таблица 27, приложение Г) [50].

Численность производственных рабочих определяется, исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении технологическим персоналом всех рабочих мест. Число рабочих мест определяется, исходя из необходимых точек наблюдения и операций по обслуживанию процесса, а также объема работы управления на участке.

Один аппаратчик способен обслуживать 2 аппарата в смену. Определим явочную численность основных рабочих в сутки по формуле (85):

$$N_{\text{яв.}} = \frac{1}{N_{\text{обсл.}}} \cdot F \cdot C = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 3 = 18 \text{ чел.} \quad (85)$$

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

$N_{\text{обсл.}}$ – количество аппаратов, которое может обслуживать один аппаратчик;

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

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 списочную численность основных рабочих по формуле (86):

$$N_{\text{сп.}} = N_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб}}} = 18 \cdot \frac{341}{263} = 23 \text{ чел.} \quad (86)$$

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

$T_{\text{эф.обор.}}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год (без учета времени на ТР и ППР);

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

Принимаем 23 человека в штат основных рабочих данного участка.

Специфика работы участка, предполагает присутствие в рабочую смену руководителя (начальника участка) – 1 и специалиста (инженера-технолога) – 1.

Принимаем, что в штате руководящего состава данного участка, начальников участка и специалистов должно быть по 1 человеку, а мастеров 4 специалиста, по одному в каждую рабочую смену.

Теперь определим суммарную списочную численность основного персонала, специалистов и руководителей по формуле (87)

$$\Sigma N_{\text{сп.}} = 23 + 6 = 29 \text{ чел.} \quad (87)$$

Комплектуем участок вспомогательным персоналом, который будет

заниматься обслуживанием данного участка в рабочую смену в составе: дежурный электрик – 1, дежурный КИПиА – 1.

Отдельно посчитаем явочную и списочную численность механиков. Т.к. монтажные, демонтажные, ремонтные и пусконаладочные работы проводятся исключительно в дневное время. Смена механиков длится 10 часов в сутки. График сменности выглядит следующим образом: 3дня рабочих через 3 дня выходных. График работы: с 7 часов 10 минут до 18 часов 30 минут, с техническим перерывом 1 час. Расчет ведется по формулам (88-89).

$$N_{\text{яв.}} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ чел.}; \quad (88)$$

$$N_{\text{сп.}} = 1 \cdot \frac{341}{263} = 1,3 \text{ чел.} \quad (89)$$

Принимаем 7 человек в штат вспомогательных рабочих осуществляющих обслуживание данного цеха, из них: 3 электрика, 3 КИПиА, 2 механика.

Определим явочную и списочную численность младшего обслуживающего персонала в сутки (формула 90 и 91)

$$N_{\text{яв.}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ чел.}; \quad (90)$$

$$N_{\text{сп.}} = 2 \cdot \frac{341}{263} = 2,5 \text{ чел.} \quad (91)$$

Принимаем 3 человека в штат младшего обслуживающего персонала.

Расчет годового фонда заработной платы руководителей, специалистов, основных и вспомогательных рабочих цеха, работающих в смену.

Расчетный фонд вычисляется по формуле (92):

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}} \text{ руб./г.} \quad (92)$$

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 (93):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{в.см.}} + D_{\text{н.см.}} + D_{\text{пр.}}, \text{руб./г.} \quad (93)$$

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

$D_{\text{в.см.}}$ – доплата за работу в вечернюю смену (30% от $Z_{\text{тар.}}$);

$D_{\text{н.см.}}$ – доплата за работу в ночную смену (40% от $Z_{\text{тар.}}$);

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

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

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i \cdot 1,3, \text{руб./г.} \quad (94)$$

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;

1,3 – районный коэффициент для города Томска.

Все **начальники участка** должны являться инженерами-технологами первой категории, со стажем работы не менее 7 лет. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 1 категории составляет – 165 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}}^1 = 1 \cdot 2112 \cdot 165 \cdot 1,3 = 416773,5 \text{руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр.}} = 416773,5 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 162541,665 \text{руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$\begin{aligned} Z_{\text{осн.}} &= 1667094 + 160360,2 + 211411,2 + 650166,66 + 260066,66 \\ &= 2949098,72 \text{руб./г.} \end{aligned}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$Z_{\text{доп.}} = Z_{\text{осн.}} \cdot P_{\text{д.зп}} = 2949098,72 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 383382,83 \text{руб./г}$$

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

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$Z_{\text{год}} = 2949098,72 + 383382,83 = 3332481,55 \text{руб./г}$$

Часовая тарифная ставка инженера-технолога 2 категории составляет – 157 руб./ч. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 3 категории

составляет – 152 руб./ч.

Для инженеров-технологов 2 категории:

$$З_{\text{тар.}}^2 = 1 \cdot 2112 \cdot 157 \cdot 1,3 = 431059,2 \text{ руб./г;}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 431059,2 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 168113,088 \text{ руб./г;}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{\text{осн.}} = 431059,2 + 168113,088 = 599172,288 \text{ руб./г;}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 599172,288 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 77892,397 \text{ руб./г;}$$

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

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 599172,288 + 77892,397 = 677064,685 \text{ руб./г}$$

Для мастеров смен (инженеров-технологов 3) категории:

$$З_{\text{тар.}}^3 = 4 \cdot 1543 \cdot 152 \cdot 1,3 = 1219587,2 \text{ руб./г;}$$

$$Д_{\text{в.см.}} = 4 \cdot 72 \cdot 8 \cdot 152 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 136581,12 \text{ руб./г;}$$

$$Д_{\text{н.см.}} = 4 \cdot 102 \cdot 8 \cdot 152 \cdot 0,4 \cdot 1,3 = 257986,56 \text{ руб./г;}$$

$$Д_{\text{пр.}} = 1219587,2 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 475639,008 \text{ руб./г;}$$

$$\begin{aligned} З_{\text{осн.}} &= 1219587,2 + 136581,12 + 257986,56 + 475639,008 \\ &= 2089793,888 \text{ руб./г;} \end{aligned}$$

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 2089793,888 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 271673,205 \text{ руб./г}$$

$$З_{\text{год}} = 2089793,888 + 271673,205 = 2361467,093 \text{ руб./г.}$$

Часовая тарифная ставка для механиков составляет – 146 руб./ч. Так как механики работают только в дневную смену, продолжительностью 10 часов, то эффективное время работы одного механика с учетом выходных дней и отпусков, составляет 1450 часов в год.

$$З_{\text{тар.}} = 2 \cdot 1450 \cdot 146 \cdot 1,3 = 550420 \text{ руб./г;}$$

$$Д_{\text{пр.}} = 550420 \cdot 0,3 \cdot 1,3 = 214663,80 \text{ руб./г;}$$

$$З_{\text{осн.}} = 550420 + 214663,80 = 765083,8 \text{ руб./г;}$$

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 765083,8 \cdot 0,1 \cdot 1,3 = 99460,894 \text{ руб./г;}$$

$$Z_{\text{год}} = 765083,8 + 99460,894 = 864544,694 \text{ руб./г.}$$

Для проектируемого участка к работе будут привлекаться **аппаратчики 3-го, 4-го и 5-го разряда. А также электрики, КИПиА и младший обслуживающий персонал.**

Оклады персонала принимаем следующим образом:

- аппаратчик 5-го разряда – 40000 руб.
- аппаратчик 4-го разряда – 32000 руб.
- аппаратчик 3-го разряда – 26000 руб.
- КИПиА – 27000 руб.
- электрик – 20000 руб.
- уборщица – 18000 руб.

1. Фонд заработной платы вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для ИТР принимаем равным 11 месяцев, для служащих – 11,3 месяца.

$$\Phi_{\text{осн.}} = 5 \cdot 11 \cdot 40000 + 9 \cdot 11 \cdot 32000 + 9 \cdot 11 \cdot 26000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 27000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 20000 + 3 \cdot 11,3 \cdot 18000 = 10145500 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{доп.}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}} \cdot D_{\text{отп.}}}{V_{\text{к}}} = \frac{10145500 \cdot 30}{365} = 833876,712 \text{ руб.}$$

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

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

$V_{\text{к}}$ – календарный год – 365 дней.

3. Доплата за работу в праздничные дни (для уборщицы):

$$D_{\text{пр.д.}} = \frac{\text{окл.} \cdot N \cdot R_{\text{яв.}}}{26,5} = \frac{18000 \cdot 12}{23,4} = 9230,769 \text{ руб.}$$

где окл. – месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году;

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

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

$$\Phi_{зп} = \Phi_{осн} + З_{доп.} + Д_{пр.д.} = 10145500 + 833876,712 + 9230,769 \\ = 10988607,5 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$З_3 = \Phi_{зп} \cdot 1,3 = 10988607,5 \cdot 1,3 = 14285189,8 \text{ руб.}$$

Полный годовой фонд заработной платы на участке гидрометаллургической переработки для всех сотрудников составляет:

$$\Phi_{зп} = 3332481,55 + 677064,685 + 2361467,093 + 864544,694 \\ + 14285189,8 = 21520747,8 \text{ руб./г}$$

8.3 Расчет стоимости оборудования

Таблица 28 – Стоимость основного и вспомогательного оборудования

Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Цена, руб
Сублиматор	8	15000000	120000000
Емкость для сбора продуктов (полипропилен)	30	5000	150000
Барабанная вращающаяся печь пирогидроллиза	1	12000000	12000000
Барабанная вращающаяся печь (для фторирования)	1	12000000	12000000
Циклон	2	276000	552000
Арматура и трубопроводы	–	2500000	2500000
Вспомогательное оборудование	–	2380000	2380000
КИПиА	–	2500000	2500000
Итого			152082000

8.4 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

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

$$Z_{\text{тр}} = 152082000 \cdot 0,08 = 12166560 \text{ руб/год}$$

• стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{монт.}} = 152082000 \cdot 0,2 = 30416400 \text{ руб/год.}$$

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

$$Z_{\text{сп. р.}} = 152082000 \cdot 0,1 = 15208200 \text{ руб/год.}$$

Таблица 29 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Сумма, руб.
Транспортные расходы	8	12166560
Монтажные расходы	20	30416400
Специальные работы	10	15208200
Итого:	38	57791160

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{\text{к.об.}} = C_{\text{об}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{сп.р.}} = 152082000 + 57791160 = 209873160 \text{ руб/год.}$$

Ремонт производственного оборудования обходится в 15% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{р.}} = 209873160 \cdot 0,15 = 31480974 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 5% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 209873160 \cdot 0,05 = 10493658 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = 209873160 \cdot 0,1 = 20987316 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z_{об} = 31480974 + 10493658 + 20987316 = 62961948 \text{ руб.}$$

Аренда помещения в год составит:

$$Z_{аренда} = 12 \cdot 180\,000 = 2\,160\,000 \text{ руб}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{общ.} = 2\,160\,000 + 62961948 = 65\,121\,948 \text{ руб.}$$

8.5 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию:

$$Z_{э.н.} = T_э \cdot N_T \cdot T_{р.об.},$$

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

N_T – суммарная мощность, кВт (1200 кВт);

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

$$Z_{э.н.} = 4,8 \cdot 1200 \cdot 8160 = 47\,001\,600 \text{ руб/год}$$

Расчет затрат на воду:

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

где $T_в$ – стоимость 1 м³ воды, руб. (19,28 руб/м³);

B – часовой расход воды, м³ (14 м³/ч).

$$Z_{вод.} = 19,28 \cdot 8160 \cdot 14 = 22\,025\,47 \text{ руб/год}$$

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 м² пола;

$S_{п.}$ – площадь пола, м² (360 м²);

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).

$$Z_{осв.} = (15 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 4,8 = 22\,705,2 \text{ руб/год.}$$

Затраты на вентиляцию:

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

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

$P_{\text{Э.д.}}$ - мощность электродвигателя вентиляции, кВт; установим в цехе вентиляторы в количестве 6 штук, ($P_{\text{Э.д.}} = 20$ кВт).

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

Затраты на отопление:

$$Z_{\text{отоп.}} = \left(\frac{a \cdot S_{\text{п.т.}} \cdot V_{\text{о.п.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{Э}},$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт (4,4 кВт);

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

$V_{\text{зд}}$ – объем отапливаемого помещения, м³ (2160 м³).

$$Z_{\text{отоп.}} = (4,4 \cdot 4896 \cdot 2160 \cdot 2,93) / 1000 = 136337,54 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ:

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются равными 15 % от полного годового фонда заработной платы:

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

$$Z_{\text{от. тб.}} = 21520747,8 \cdot 0,12 = 2582489,64 \text{ руб/год.}$$

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:

$$Z_{\text{соц.}} = 21520747,8 \cdot 0,3 = 6456224,34 \text{ руб/год.}$$

8.6 Расчет затрат на реагенты

Затраты на реагенты приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Затраты на реагенты

Наименование	Цена за единицу, руб./тн.	Количество на весь годовой выпуск, ед./тн.	Итоговые затраты, руб./год
Ильменитовый концентрат	8600	10000	86000000
NH ₄ HF ₂	1500	32857	49285500
Итого:		135285500	

8.7 Калькуляция себестоимости передела

Калькуляция себестоимости передела приведена в таблице 31.

Таблица 31 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Ед. измер.	Цена ед. прод., руб.	Норма в год	Сумма руб./год
Ильменитовый концентрат	т	8600	10000	86000000
NH ₄ HF ₂	т	1500	32857	49285500
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	4,8	9792000	47001600
Итого условно-переменные затраты				182287100
Фонд ЗП:		руб.		21520747,8
Отчисления на соц. нужды		руб.		6456224,34
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:				
амортизация оборудования		руб.		20987316
тек.и кап. ремонты		руб.		31480974
содержание оборудования		руб.		10493658
Цеховые расходы:				
аренда здания		руб.		2160000
содержание здания		руб.		6982404,74
расходы на ОТ и ТБ		руб.		2582489,64
Итого условно-постоянные затраты				102663814,5
Себестоимость передела				284950914,5

Таким образом, себестоимость передела составляет 284950914,5 рублей в год. При этом основная доля, равная 47 %, приходится на закупку реагентов. На содержание и эксплуатацию оборудования направляется 22 %, на долю оплаты труда приходится 8 %. На содержание и эксплуатацию здания доля составляет 3 %. 2 % затрат направляется на социальные нужды. Затраты на технологические нужды составляют 16 % от общей суммы. Расходы на охрану труда и техники безопасности составляют 1 %. Диаграмма себестоимости приведена на рисунке 29.

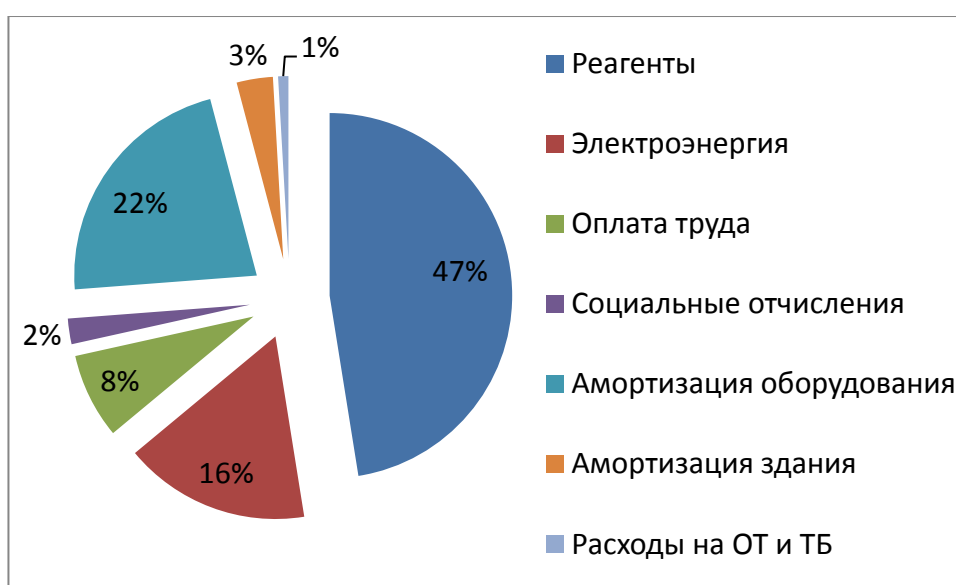


Рисунок 29 – Диаграмма основных затрат

Вывод: Таким образом, произведен расчет стоимости передела ильменитового концентрата, который составил 284950915 руб. При применении данной технологии наблюдается снижение себестоимости за счет снижения затрат на реагенты, т.к. образующиеся отходы направляются на переработку и дальнейшее использование, с целью получения исходных реагентов. За счет автоматизации процесса, уменьшается количество обслуживающего персонала.

Заключение

По результатам выполнения данной дипломной работы можно сделать следующие выводы:

1. Представлена технологическая последовательность сублимационной переработки фтораммонийных комплексов титана, железа, кремния, алюминия и других металлов после гидрофторирования ильменитового концентрата;

2. Предложено аппаратное оформление к представленной принципиальной технологической схеме для сублимационного передела;

3. Проведены исследования и выбраны оптимальные условия для процесса сублимации комплексных солей титана, железа, кремния, алюминия и других металлов, в лабораторных условиях;

4. Произведены расчёты материального и теплового балансов основных стадий, обозначенных в принципиальной технологической схеме;

5. Рассчитан и сконструирован основной аппарат – аппарат непрерывного сублимационного разделения шнекового типа (сублиматор);

6. Рассчитаны основные технико-экономические показатели проекта, подтверждающие эффективность и перспективность данного проекта;

7. Рассмотрены вопросы обеспечения безопасного ведения работ в спроектированном цеху;

8. Разработана функциональная схема автоматизации, упрощающая управление процессами, облегчающая труд и сокращающая численность обслуживающего персонала.

Список использованных источников

1. Электронная энциклопедия «Википедия». Редкие элементы [Электронный ресурс]: обучающая статья. – Электрон. Дан. Metallургия. – 2013. URL: <http://ru.wikipedia.org>, доступ свободный. – Яз. рус., англ. Дата обращения 10.10.2016 г.;
2. Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector / Moss R.L., Tzimas E., Willis P. – Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2013. – 242 p.;
3. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона/ Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Соловьев А.И., Бабенко С.А., Советов В.М., Усова Т.Ю., Плякова М.А. Кемерово: ООО «Сарс», 2001.– 214 с.
4. Горощенко Я.Г. Химия титана /Я.Г. Горощенко; Академия наук Украинской ССР (АН УССР), Институт общей и неорганической химии. – Киев: Наукова думка, 1970. –415 с.
5. Андреев, А.А. Разработка фторидной технологии получения пигментного диоксида титана из ильменита: дис. канд. техн.: 05.17.02 / Андреев Артём Андреевич. Томск., 2008. – 141 с.
6. Дьяченко А. Н. Фтороаммонийный метод получения диоксида титана /А. Н. Дьяченко// Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. – 2006. – Т. 309, № 3. – С. 99-102.
7. Горелик А.Г. Десублимация в химической промышленности. / А.Г. Горелик, А.В. Амитин - М.: Химия, 1986. - 272с., ил. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) - Библиогр.: С.258- 268. - 2000 экз.
8. Русаков И.Ю. Сублимационно-десублимационные процессы для фторидных технологий и их аппаратурное оформление./ И.Ю. Русаков, А.С. Буйновский, В.Л. Софронов – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. – 230 с.

9. Щумский К.П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения. – М.: Машиностроение, 1974. – 576 с.
10. А.С. Буйновский, В.Л. Софронов очистка веществ методом сублимации и десублимации. Учебное пособие. – Томск, изд. ТПИ им С.М. Кирова, 1989 – 94 с.
11. Федюнин В.А. Разработка безводных способов очистки тетрафторида циркония : дис. канд. техн. наук : 05.17.02 / Федюнин Владимир Александрович. – Томск, 1984. – 257 с. Библиогр.: С. 170-190.
12. Волынец, А.З. Непрерывный процесс сублимационной очистки дисперсных веществ / А.З.Волынец, И.М.Скачко, А.В.Черняков, А.Г.Щетинин // Теоретические основы химической технологии. – 1984. – № 5, том XVIII. – С.615-622. – Библиогр.: 622 с..
13. А.с. 710565 СССР, МКИ² В 01 D 7/00. Сублимационный вакуумный аппарат периодического действия / П.В. Лапин, А.И. Соловьев, А.Я. Сваровский, Г.Г.Шелудченко, Г.А.Панков (СССР). – № 2565181/23-26; заявл. 06.01.78; опубл. 25.01.80, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.
14. Разработка и освоение сублиматора непрерывного действия для получения высокочистого тетрафторида циркония: отчёт о НИР (промежуточ.): / АН Каз.ССР. Институт металлургии и обогащения; рук. Е.С.Есютин. – Алма-Ата – М. – 30 с. – № ГР 01830054330. – Инв. № 02850020071.
15. Анализ процесса и аппаратуры для десублимации гексафторида урана и других летучих фторидов / Б.П.Белозёров, И.Ю.Русаков, Г.Г.Андреев и др. // Цветные металлы, №1, 2012. С.58-61
16. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учеб. пособие для вузов – М.: «Химия», 1991. – 493 с.;
17. Касаткин А.Г. Основы процессы и аппараты химической технологии. Учеб. пособие для вузов / 7-е изд. перераб. и доп. – М.; «ГНИ химической литературы», 1991. – 832 с .

18. Высокотемпературные ТЭНы [Электронный ресурс]; Электрон. дан. – компания HotProm – 2013. URL: <http://hotprom.ru/katalog/30/8/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 07.12.2016 г.
19. Ефимов Г.А., Артемьев С.Б.. АСУТП на химическом предприятии, М., «Химия», 2000 г.– 160 с.
20. Раздорожный А. А. Охрана труда и производственная безопасность: Учебно-методическое пособие — Москва: Изд-во «Экзамен», 2006. – 512 с.
21. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.– М.: Электробезопасность, 1976. – 2 с
22. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (с изменениями на 16 сентября 2013 года) – М.:, 2003. –28 с.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации. Новая редакция (по состоянию на 01 ноября 2006 г.) – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2006. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях (по состоянию на 15 ноября 2006 года). – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2006.
24. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. – М.:«Медицина», 1978. – 192 с .
25. ГОСТ 12.1.009-76 Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения
26. Кушелев В.П. Охрана труда нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: учебник / Кушелев В.П., Орлов Г.Г., Сорокин Ю.Г. – М.: «Химия», 1983. – 472 с .
27. Власов А. В. Основы техники безопасности/ А.В. Васов - Москва: Профиздат, 1961. – 208 с.
28. Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение – М.; 2003. – 58 с.

29. 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.

30. Продукция. Трубчатые электронагреватели (ТЭНы) [Электронный ресурс]. – 2013. – Электрон. дан. – компания ООО ПК "Форвард-Комплект" – 2005. URL: http://www.forkom.ru/catalog/teni_termopari/trubchatie_teni , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения 07.11.2016 г.

31. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.– М.: Электробезопасность, 1976. –2 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. ГОСТ 29057–91 Костюмы мужские для защиты от нетоксичной пыли. Технические условия.– М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.

34. ГОСТ 27652–88 Костюмы мужские для защиты от кислот. Технические условия.– М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.

35. ГОСТ 27653–88 Костюмы мужские для защиты от механических воздействий, воды и щелочей. Технические условия.– М.: Издательство стандартов, 1988. – 11 с.

36. ГОСТ 12.4.028–76 ССБТ. Респираторы ШБ–1 "Лепесток". Технические условия. – М.: Государственный комитет СССР, 1976. – 12 с.

37. ГОСТ 12.4.121–83 ССБТ. Противогоазы промышленные фильтрующие. – М.: Государственный комитет СССР, 1983. – 8 с.

38. ГОСТ 12.4.127–83 ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества. – М.: Государственный комитет СССР, 1983. – 5 с.

39. ГОСТ 12.4.072–79 ССБТ. Сапоги специальные резиновые формовые, защищающие от воды, нефтяных масел и механических воздействий. Технические условия.– М.: Государственный комитет СССР, 1979. – 10 с.

40. ГОСТ 12.4.010–75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия. – М.: Государственный комитет СССР, 1975. – 6 с.
41. ГОСТ 12.4.153–85 ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества. – М.: Государственный комитет СССР, 1985. – 15 с.
42. ГОСТ 12.4.275-2014 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний. – М: Стандартинформ, 2014. – 30 с.
43. Безопасность жизнедеятельности. Арустамов Э.А., Косолапова Н.В., Прокопенко Н.А. 12-е изд., стер. – М.: 2013. – 176 с
44. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М: Стандартинформ, 1989.– 35 с.
45. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности– М.: Государственный комитет СССР, 1985. – 20 с.
46. Приказ Минтруда России «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» от 24.07.2013. № 328н // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – № 5. – 2014.
47. ГОСТ Р 51330.9-99 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон» – М: Стандартинформ, 2001.– 39 с.
48. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 10.07.2012) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" – Москва, Кремль, 21 декабря 1994 года ,N 69-ФЗ – 30 с.
49. ГОСТ 17.2.3.02–78 «ОХРАНА ПРИРОДЫ. АТМОСФЕРА» Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями – М: Стандартинформ, 1980.– 11 с.
50. Криницына З.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Методическое пособие для написания ВКР специалистов тех вузов / Криницына З.В., Видяев И.Г. – Томск: «изд. Томского

политехнического университета». 2014. – 73с.

51. Андреев, А.А. Термические исследования фторорганических полимеров синтезированных методом термодеструкции в атмосфере гидроксида аммония / А.А. Андреев, А.С. Кантаев // Известия вузов. Физика. 2010. – № 11.– 100 с.

52. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 526 с

53. Крайденко Р.И., А.Г. Дубов, Е.И. Курченко «Исследование сублимационных свойств гексафтортитаната аммония»// Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва (г.Томск, 26-29 мая 2014 г.)/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014., с 124-125.

Список публикаций студента

1. Ворошилов Ф.А., Кинякин Е.В. «Исследование процесса непрерывной сублимации фторированного ильменитового концентрата» // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке сборник материалов 12-й международной научно-практ. конф., (г. Махачкала, 25 декабря, 2016 г.) – Махачкала: ООО "Апробация", 2016 – С.9-12.

2. Ворошилов Ф.А., Кинякин Е.В. «Изучение влияния температуры и состава расплава $KF-KCl-K_2TiF_6$ на его плотность» // 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 (г. Томск, 17–20 мая 2016 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 412-414.

3. Кинякин Е.В. «Экологически чистый и безопасный способ нанесения металлических покрытий на диэлектрики» / Е.В. Кинякин, Е.К. Кабдылманатов; науч. рук. Л. А. Леонова // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва, Томск, 25-29 мая 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — С. 111-113.

Приложение А

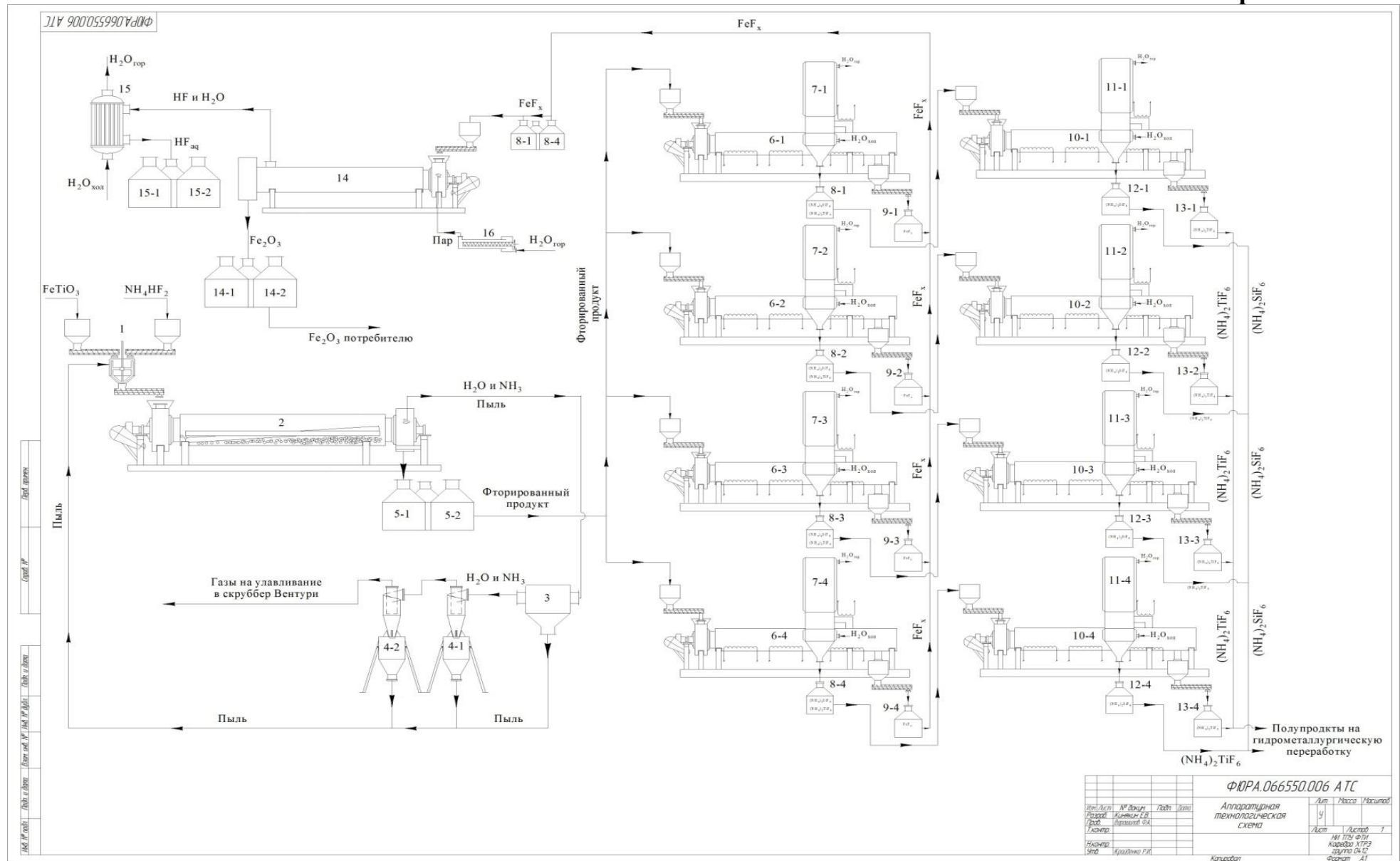


Таблица 25 – График сменности бригад

Смены Дни	с 0 до 8	с 8 до 16	с 16 до 24	Выходные
1	А	Б	В	Г
2	А	Б	В	Г
3	А	Б	В	Г
4	Г	А	Б	В
5	Г	А	Б	В
6	Г	А	Б	В
7	В	Г	А	Б
8	В	Г	А	Б
9	В	Г	А	Б
10	Б	В	Г	А
11	Б	В	Г	А
12	Б	В	Г	А
13	А	Б	В	Г
14	А	Б	В	Г
15	А	Б	В	Г
16	Г	А	Б	В
17	Г	А	Б	В
18	Г	А	Б	В
19	В	Г	А	Б
20	В	Г	А	Б
21	В	Г	А	Б
22	Б	В	Г	А
23	Б	В	Г	А
24	Б	В	Г	А
25	А	Б	В	Г
26	А	Б	В	Г
27	А	Б	В	Г
28	Г	А	Б	В
29	Г	А	Б	В
30	Г	А	Б	В

Таблица 27 – Перечень должностных обязанностей и их характеристики

Должность	Количество работников	Образование	Стаж работы	Функциональные обязанности	Разряд	Возраст
Руководители						
Начальник участка	1	Высшее (техническое)	Не менее 7 лет	Наблюдение за непрерывностью работы в цехе, решение технологических задач, принятие экстренных мер в случае аварийных ситуаций, безопасность подчиненного рабочего персонала	Инженер-технолог первой категории	Не менее 30 лет
Специалисты						
Инженер-технолог	1	Высшее (техническое)	Без стажа	Решение технологических задач, принятие экстренных мер в случае аварийных ситуаций	Инженер-технолог второй категории	–

Продолжение таблицы 27

Должность	Количество работников	Образование	Стаж работы	Функциональные обязанности	Разряд	Возраст
Мастер смены	4	Высшее, среднее специальное (техническое)	Без стажа	Руководство производственным участком, контроль соблюдения технологических процессов	Инженер-технолог третьей категории	–
Основные рабочие						
Аппаратчик	5	Высшее, среднее специальное (техническое)	Без стажа	Определяет направление потока пульпы, следит за показателями приборов, принятие экстренных мер в случае аварийных ситуаций	Аппаратчик 5 разряда	–
Аппаратчик	9	Высшее, среднее специальное (техническое)	Без стажа	Определяет направление потока пульпы, следит за показателями приборов, принятие экстренных мер в случае аварийных ситуаций	Аппаратчик 4 разряда	–

Приложение Г

Продолжение таблицы 27

Должность	Количество работников	Образование	Стаж работы	Функциональные обязанности	Разряд	Возраст
Аппаратчик	9	Высшее, среднее специальное (техническое)	Без стажа	Определяет направление потока пульпы, следит за показателями приборов, принятие экстренных мер в случае аварийных ситуаций	Аппаратчик 3 разряда	–
Вспомогательные рабочие						
Механик	2	Высшее (техническое)	Без стажа	Монтажные, демонтажные, ремонтные, пусконаладочные работы	–	–
Электрик	3	Высшее (техническое)	Без стажа	Наблюдение за штатной работой и посильный ремонт электрооборудования	–	–
КИПиА	3	Высшее (техническое)	Без стажа	Наладка и мониторинг работы приборов контроля и управления	–	–
Младший обслуживающий персонал						
Уборщик	3	Среднее, среднее-специальное	Без стажа	Влажная уборка рабочих помещений	–	–