

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного оборудования получения оксидов урана методом денитрации уранил нитрита

УДК 666.63.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Бояренцев Евгений Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	А к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22 ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3,8,9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,10,11,14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)

P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течении всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющим разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6,2.3)

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ан В.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Боярцев Евгений Анатольевич

Тема работы:

Разработка основного оборудования установки получения оксидов урана методом денитрации уранил нитрита

Утверждена приказом директора (дата, номер)

4033/с от 05.06.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

15.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Действующая установка получения оксида урана ОАО «СХК» производительностью по урану 500 кг/ч.

Концентрация по урану 280 г/л.

Концентрация NH₄OH 25%.

Избыток NH₄OH 5%.

Время процесса осаждения 3ч.

Выполнить подбор конструкции и провести технологический, конструктивный и механический расчет репульатора (емкостного аппарата с перемешивающим устройством).

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологический расчет: <ul style="list-style-type: none"> -описание технологической схемы; -расчет материального баланса; -расчет теплового баланса. 2. Конструктивно-механический расчет репульатора (емкостного аппарата с перемешивающим устройством): <ul style="list-style-type: none"> -определение расчетных параметров; -определение толщины стенок обечаек, днищ, крышек; -расчет фланцевых соединений; -укрепление отверстий; -расчет и подбор опор. 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: <ul style="list-style-type: none"> -анализ производственной мощности; -расчет годового фонда заработной платы работников; -анализ организации оплаты труда; -определение потребности в инвестициях. 4. Социальная ответственность: <ul style="list-style-type: none"> -анализ производственной безопасности; -анализ экологической безопасности; -правовые и организационные вопросы в обеспечении безопасности.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2 – Репульатор (А0).</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p>	<p>к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>к.т.н., доцент Романцов И.И.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Балмашнов М.А.</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>3-2К22</p>	<p>Бояренцев Евгений Анатольевич</p>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Бояренцев Евгений Анатольевич

Институт	ТПУ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологи

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Битумо-эмульсионная установка (БЭУ) по производству катионовой битумной эмульсии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p align="center">—</p>	<p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - действие фактора на организм человека; - предлагаемые средства защиты; - (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - химические опасности - термические опасности (источники, средства защиты); <p>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <p align="center">—</p>	<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); <p>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды</p>

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: –	<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Бояренцев Евгений Анатольевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Бояренцев Евгений Анатольевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности получения оксидов урана</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>
2. <i>Расчет технико-экономических показателей</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Бояренцев Евгений Анатольевич		

Аннотация

В данном дипломном проекте разработана аппаратурно-технологическая схема установки получения ядерночистых оксидов урана, проведён аналитический обзор различных методов получения оксидов урана.

Дан анализ физико-механических характеристик веществ, участвующих в технологическом процессе.

Подобрана аппаратура автоматики для управления и контролирования технологического процесса.

Выполнены расчеты аппарата с перемешивающим устройством.

Рассмотрены вопросы охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды.

Проведен экономический расчет.

Сделаны выводы по проделанной работе.

Annotation

In this graduation project, a hardware-technological scheme for an installation for the production of nuclear uranium oxides has been developed, and an analytical review of various methods for the production of uranium oxides has been carried out.

The analysis of physico-mechanical characteristics of substances involved in the technological process is given.

The automation equipment for control and monitoring of the technological process was selected.

Calculations of the apparatus with a mixing device were performed.

The issues of labor protection, safety and environmental protection are considered.

Economic calculation is carried out.

Conclusions are drawn on the work done

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Литературный обзор.....	15
1.1 Система уран-кислород.....	15
1.2 Свойства исходного вещества.....	17
1.3 Методы получения оксидов урана.....	18
1.3.1 Получение оксидов урана из уранатов аммония.....	18
1.3.2 Получение оксидов урана из аммонийуранилтрикарбоната.....	19
1.3.3 Получение оксидов урана из уранилнитрата.....	19
2 Разработка аппаратурно-технологической схемы.....	22
2.1 Выбор метода получения U_3O_8	22
2.2 Описание аппаратурно-технологической схемы.....	22
2.3 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры.....	23
2.4 Подбор стандартного оборудования.....	24
3 Расчет емкостного аппарата с перемешивающим устройством.....	26
3.1 Данные для расчета.....	26
3.2 Конструкция аппарата с перемешивающим устройством.....	26
3.3 Материальный расчет.....	27
3.4 Тепловой расчет.....	29
3.4.1 Тепловой баланс.....	29
3.4.2 Основное уравнение теплопередачи.....	30
3.4.3 Расчет средней разности температур и средних температур Теплоносителей.....	31
3.4.4 Расчет истинного удельного потока.....	32
3.5 Конструктивный расчет.....	39
3.5.1 Определение высоты и диаметра.....	39
3.5.2 Определение объемных расходов реагентов.....	41
3.5.3 Расчет диаметров патрубков.....	41
3.6 Прочностной расчет.....	43

3.6.1	Определение характеристик аппарата.....	43
3.6.2	Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления.....	45
3.6.3	Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления.....	46
3.6.4	Расчет толщины стенки рубашки из условия действия внутреннего давления.....	47
3.6.5	Расчет толщины стенки днища корпуса из условия действия внутреннего давления.....	48
3.6.6	Расчет толщины стенки днища корпуса из условия действия наружного давления.....	48
3.6.7	Расчет толщины стенки днища рубашки из условия действия внутреннего давления.....	49
3.6.8	Определение толщины плоской крышки.....	50
3.6.9	Проверка необходимости укрепления отверстий.....	50
3.6.10	Расчет укрепления корпуса и рубашки кольцами жесткости.....	51
3.6.11	Проверка на прочность при гидравлических испытаниях.....	51
3.6.12	Определение напряжений от действия краевых сил и моментов.....	53
3.6.13	Расчет мешалки.....	56
3.6.14	Расчет вертикального вала.....	57
3.6.15	Подбор фланцев.....	62
3.6.16	Подбор опор.....	62
3.6.17	Подбор строповых устройств.....	64
4	Экономика производства получения оксидов урана.....	66
4.1	Расчет производственной мощности.....	66
4.2	Режим работы.....	68
4.3	Организация оплаты труда.....	73
4.4	Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.....	76

4.5 Расчет себестоимости.....	78
4.6 Расчет технико-экономических показателей.....	82
4.7 Расчет точки безубыточности.....	86
4.8 Вывод.....	89
5 Социальная ответственность.....	90
5.1 Характеристика технологического процесса.....	90
5.2 Производственная безопасность. Анализ опасных и вредных факторов. Мероприятия по защите.....	91
5.3 Безопасность в ЧС.....	98
5.4 Экологическая безопасность.....	99
5.5 Пожарная безопасность.....	100
ВЫВОДЫ.....	101
ЛИТЕРАТУРА.....	102
Приложение А. Спецификация рпульпатора.....	105

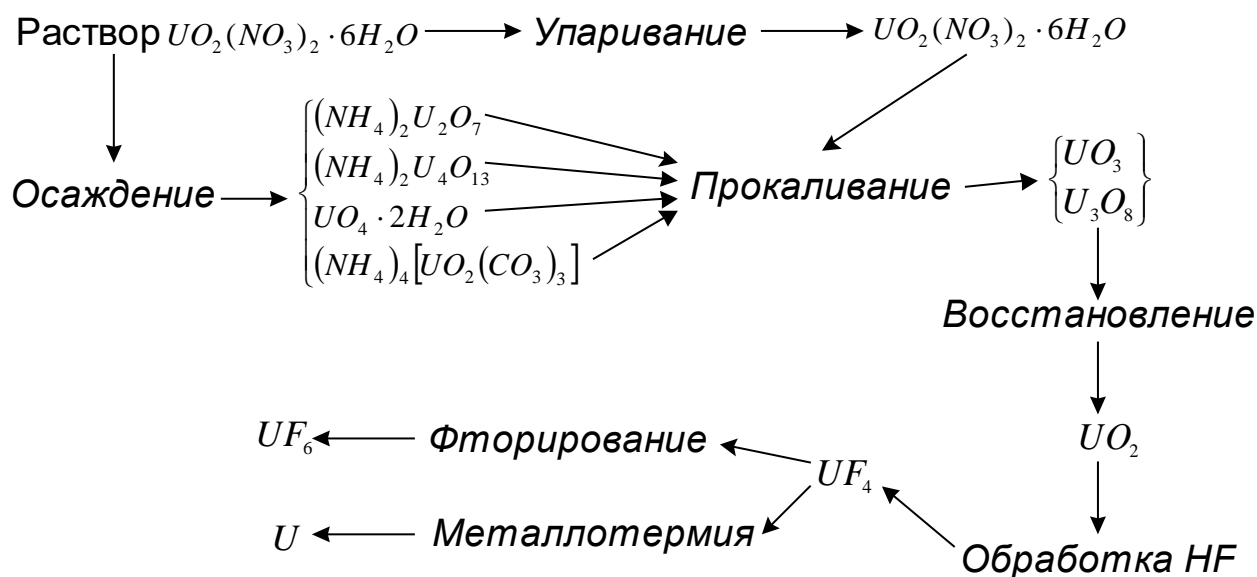
ВВЕДЕНИЕ

Развитие атомной энергетики обретает в последнее время все более важное значение в связи с ограниченностью, а иногда и невозвратимостью естественных источников энергии. Поэтому для Сибирского региона перспективным является создание Сибирского атомного комплекса производств полного атомного цикла закрытого типа, который обеспечит ликвидацию дефицита энергии в Сибири, а затем экспорт электроэнергии в азиатские страны, снижение расхода невозобновляемых органических источников энергии: каменного угля, нефти и газа.

В конверсионной программе СХК предусмотрено получение ядерного горючего для энергетических реакторов АЭС на базе природного оксида урана, получаемого в настоящее время в России на АОО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» в г. Краснокаменске, регенерируемого урана, получаемого переработкой отработанного ядерного горючего АЭС, а также высокообогащенного оружейного урана, снятого с вооружения.

Из природных изотопов лишь ^{235}U является ядерным топливом, в качестве которого необходимы соединения урана ядерной чистоты, что достигается операцией аффинажа. В результате получают уран в виде одного из таких соединений, как: уранилнитрат, диуранат аммония, пероксид урана, уранилтрикарбонат аммония. Операции превращения этих соединений в оксиды урана UO_3 , UO_2 и U_3O_8 – важнейшие промежуточные продукты при получении фторидов урана и металлического урана – показаны на рисунке. Кроме того, основой тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) современных ядерных реакторов многих типов служит диоксид урана UO_2 .

Данный дипломный проект посвящен разработке установки для получения оксидов урана, включающей узлы: осаждения, разделения, сушки, прокалики, охлаждения, сбора готового продукта и системы газоочистки.



1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Система уран-кислород

Система уран-кислород представляет собой одну из наиболее сложных двойных систем.

UO_2 , U_3O_8 и UO_3 – диоксид, оксид урана и триоксид урана – известны более 100 лет. Изучение системы $U-O$ показало возможное существование монооксида UO ; существование таких соединений урана с кислородом, как U_4O_9 , U_3O_7 , U_2O_5 .

Этими исследованиями было показано существование в системе $U-O$ следующих фаз: UO , UO_2 , U_4O_9 , U_3O_7 , U_3O_8 , $\alpha-UO_3$, $\beta-UO_3$.

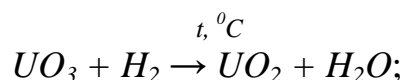
Свойства некоторых из этих соединений [4,5,9] описываются ниже.

Монооксид урана. Низший оксид UO встречается только в виде тонких пленок на уране или включений в металл. Это хрупкое вещество серого цвета с металлическим блеском. По данным различных измерений ее плотность составляет 13,6-14,2 г/см³. Монооксид имеет кубическую решетку типа $NaCl$. Изучена она мало и до настоящего времени не получена в макроколичествах. По мнению некоторых исследователей, при обычных условиях в нормальном состоянии UO как чистое соединение не существует. Основная трудность ее получения связана с тем, что она устойчива лишь при высоких температурах.

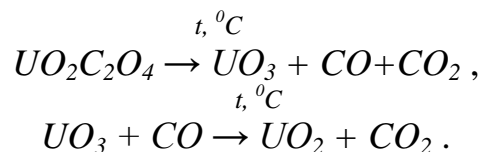
Диоксид урана. В природе диоксид урана встречается в виде кристаллического продукта – уранинита. Важное значение UO_2 имеет как промежуточный продукт при производстве фтористых соединений урана и металлического урана. Кроме того, он используется в ядерной энергетике как компонент ТВЭЛ.

Способы получения UO_2 подразделяются на две группы:

а) восстановление высших оксидов газообразными восстановителями при повышенной температуре



б) термическое разложение солей урана без доступа воздуха



Диоксид урана представляет собой порошок от бурого до черного цвета; его плотность составляет 10-11 г/см³ и обусловлена размером частиц. Насыпной вес UO_2 равен 3,76-4,96 г/см³. UO_2 – тугоплавкий продукт с температурой плавления 2800 °С.

Даже при высоких температурах диоксид урана практически не летуч. UO_2 термически устойчив при нагреве в вакууме или в восстановительной атмосфере до 1600 °С. При более высокой температуре UO_2 теряет кислород. В присутствии кислорода UO_2 способен растворять его в себе с сохранением кубической

структуры, образуя фазу UO_{2+x} , где X зависит от температуры, однако эти твердые растворы нестабильны и при отжиге распадаются на UO_2 и U_4O_{9-y} .

Крупным недостатком UO_2 как ядерного топлива считается сравнительно невысокая теплопроводность, затрудняющая отвод тепла от ТВЭЛ. Основным фактором, определяющим теплопроводность UO_2 , служит кислородный коэффициент (соотношение U и O_2 в оксиде). Добавлением некоторых оксидов, а также использованием металлокерамических ТВЭЛ можно преодолеть этот недостаток UO_2 .

В практическом отношении важно то, что UO_2 (порошок) легко окисляется на воздухе даже при комнатной температуре. Диоксид урана можно восстановить металлокерамическим способом до металлического урана (с помощью кальция и магния). Большая часть UO_2 – топлива применяется в виде таблеток.

Оксид урана U_3O_8 – нестехиометрическое соединение, имеющее несколько модификаций в зависимости от условий приготовления. Цвет вещества – от зеленого до оливково-зеленого и черного. Оксид урана U_3O_8 образуется при прокаливании до красного каления ($650-900$ °C) любого, как низшего, так и высшего оксида или гидрата оксида урана, любой соли, образованной ураном и летучим основанием или кислотой. Для урана весьма характерны превращения вида $UO_3 \rightarrow U_3O_8$ и $UO_2 \rightarrow U_3O_8$, поэтому многие урановые концентраты после прокаливании состоят главным образом из U_3O_8 .

При 900 °C с давлением диссоциации U_3O_8 достигает парциального давления кислорода в воздухе. Выше этой температуры оксид урана U_3O_8 начинает терять кислород, образуя U_3O_{8-y} .

При повышенных температурах U_3O_8 восстанавливается углеродом до диоксида урана; кальцием и магнием его можно восстановить до металлического урана. Подобно UO_2 оксид урана U_3O_8 сплавляется с оксидами других металлов с образованием твердых растворов и стехеометрических соединений. UO_3 и U_3O_8 – это промежуточные продукты при получении UO_2 , UF_4 , UF_6 .

Оксид урана U_3O_8 нерастворим в воде и разбавленных кислотах, но медленно растворяется в концентрированных минеральных кислотах с образованием смеси солей урана и уранила. Оксид урана U_3O_8 имеет гидрат $U_3O_8 \cdot xH_2O$, который не кристаллизуется и очень легко окисляется до гидрата триоксида урана. Значение оксида урана U_3O_8 велико и потому, что он входит в состав смоляной руды (настурана).

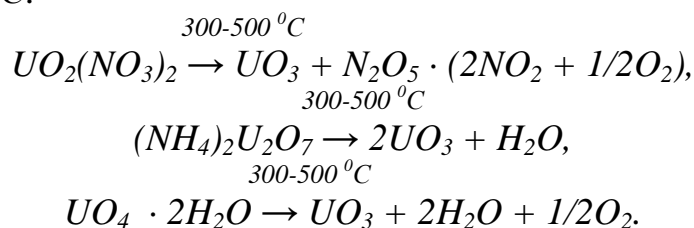
Триоксид урана. UO_3 – один из промежуточных продуктов в производстве чистых солей урана, встречающийся также в некоторых окисленных урановых рудах.

UO_3 – оранжево-желтый порошок, существующий в одной аморфной и пяти кристаллических формах, плотностью $5,92-7,54$ г/см³. Оксид термодинамически стоек на воздухе до температуры 600 °C. Триоксид урана получают окислением UO_2 или U_3O_8 кислородом при давлении $30-100$ атм и температуре около 500 °C; прокаливанием гидрата перекиси урана $UO_4 \cdot 2H_2O$; прокаливанием уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ при температуре до 600 °C.

Наиболее важны гидраты: $2UO_3 \cdot H_2O$ или $H_2U_2O_7$ – диуранатовая кислота, дающая соли-диуранаты, например: $Na_2U_2O_7$, $(NH_4)_2U_2O_7$ и т. д.; $UO_3 \cdot H_2O$ или

H_2UO_4 – урановая кислота, дающая соли моноуранаты, например: Na_2UO_4 , $(NH_4)_2UO_4$, $CaUO_4$ и т. д.

Наиболее технологически важными являются методы получения UO_3 из нитрата уранила, диураната аммония и пероксида урана, протекающие при температуре 300-500 °С:



Наиболее крупные зерна получаются при разложении $UO_2(NO_3)_2$, а наиболее мелкие - $UO_4 \cdot 2H_2O$.

1.2 Свойства исходного вещества

Уранилнитрат – одно из важнейших соединений урана, применяющееся в технологии получения оксидов урана.

Уранилнитрат получают при переработке различных отходов уранового производства. Во всех случаях уранилнитрат получается при непосредственной обработке урансодержащих материалов растворами азотной кислоты при нагревании [4, 16, 34]. Уранилнитрат хорошо растворяется в воде, спиртах и т. д.

Водные растворы уранилнитрата. $UO_2(NO_3)_2$ хорошо растворим в воде. При 17 °С насыщенный водяной раствор содержит 54,77 % (вес) $UO_2(NO_3)_2$ [16]; по Беккерелю, в насыщенном водяном растворе может содержаться до 62,7 % $UO_2(NO_3)_2$ [36]. Были получены дополнительные данные по растворимости нитрата уранила при температуре от минус 18,1 °С до плюс 187 °С [37, 38]. Однако при 180 °С начинается окрашивание паров в бурый цвет вследствие гидролитического отщепления азотной кислоты (денитрация).

Получение чистых растворов $UO_2(NO_3)_2$. Получение чистых растворов уранилнитрата описано в литературе [16]. Чистейший триоксид урана растворялся в химически чистой, дважды перенасыщенной азотной кислоте с концентрацией 2N. После этого растворы упаривались, а соли дважды перекристаллизовывались. Исходные растворы для исследований готовились по навеске соли, с добавлением трижды перегнанной в кварцевом приборе на шлифах воды. Анализ раствора состоял в упаривании раствора и прокаливании $UO_2(NO_3)_2$ при 870-890 °С до U_3O_8 .

Безводный $UO_2(NO_3)_2$. Он представляет собой светло-желтый кристаллический порошок, сравнительно устойчивый в сухом воздухе; во влажном воздухе он постепенно разлагается [16].

Кристаллогидраты уранилнитрата. Уранилнитрат образует три кристаллогидрата: гексагидрат - $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, тригидрат - $UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ и дигидрат - $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$.

Все гидраты уранилнитрата представляют собой желто-зеленые кристаллические соли, гигроскопичные и расплывающиеся на воздухе [5].

Гексагидрат $UO_2(NO_3)_2$ выделяется из водных растворов при комнатной температуре. Он устойчив до 60 °С, при повышении температуры образуется

сиропообразная масса, т. к. уранилнитрат плавится в собственной кристаллизационной воде [5].

1.3 Методы получения оксидов урана

1.3.1 Получение оксидов урана из уранатов аммония

Тетрауранат аммония получают осаждением уранилнитрата гидроксидом аммония [9]:

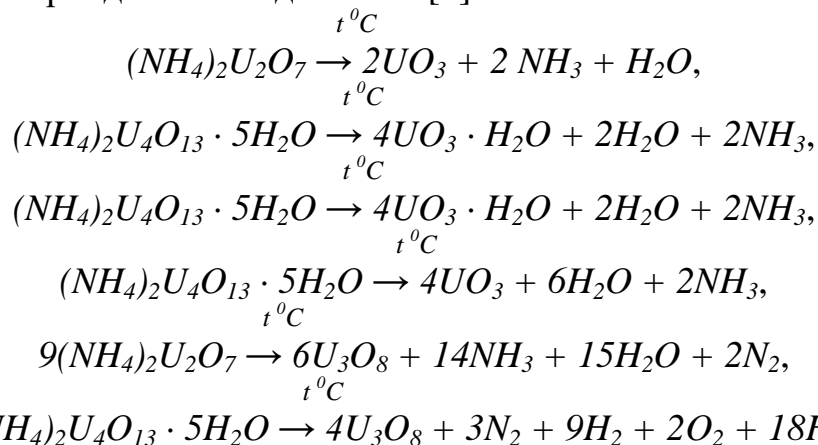


Такие реакции осуществляют при разных значениях pH . При $pH = 9-11$ образуется $(NH_4)_2U_2O_7$, при значениях $pH = 6-8$ осадок представляет собой соединение $(NH_4)_2U_4O_{13}$ (тетрауранат аммония).

Уранаты аммония представляют собой желтые или желто-оранжевые продукты (аморфные), чрезвычайно трудно растворимые в воде и щелочных растворах.

Кислоты, даже разбавленные, растворяют их с образованием солей уранила, также легко уранаты растворяются в карбонатных растворах. Осаждение уранатов аммиаком выгодно из-за низкой стоимости, но оно требует много времени для отделения осадка фильтрованием. Такой осадок невозможно отделить отстаиванием или декантацией.

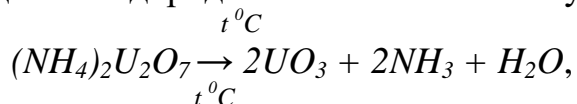
Уранаты аммония можно разложить до UO_3 и U_3O_8 на воздухе в печах непрерывного или периодического действия [9]:

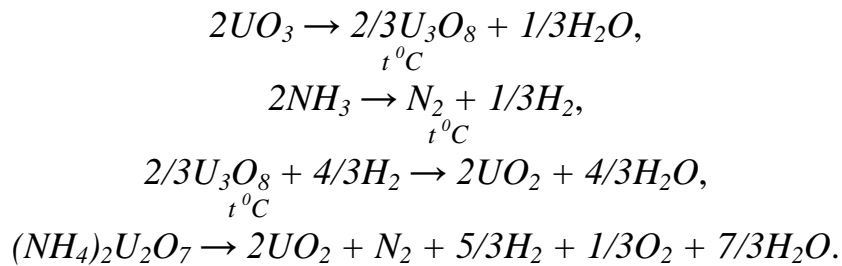


Ценность уранатов аммония для получения оксидов состоит в том, что они не содержат нелетучих компонентов, кроме урана. Отщепляющийся NH_3 может быть снова возвращен в производство.

Повышение температуры прокаливания ведет к увеличению насыпного веса и среднего размера кристаллов оксидов. При увеличении скорости подъема температуры получается более плотный продукт, чем при малой скорости.

При термической диссоциации уранатов аммония выделяется аммиак, который при высоких температурах практически количественно распадается на водород и азот. Образующийся водород может восстановить уран до UO_2 :





При этом для восстановления используется только 33,3 % NH_3 .

1.3.2 Получение оксидов урана из аммонийуранилтрикарбоната

Термическое разложение аммонийуранилтрикарбоната на воздухе [9] протекает при температуре 700-900 °С:



В инертной атмосфере или в вакууме [5]:



Реакционная способность оксидов во многом зависит от условий их получения. Влияние оказывает как температура прокаливания, так и качество исходного сырья – соли, из которой получен оксид.

1.3.3 Получение оксидов урана из уранилнитрата

В промышленности для получения оксидов урана применяют различные варианты *термической* или *химической денитрации уранилнитрата* [5].

Процесс термического разложения упаренного раствора уранилнитрата осуществляется различными способами, отличающимися между собой аппаратным оформлением.

Одним из эффективных способов получения оксидов урана можно считать *способ денитрации уранилнитрата в аппаратах кипящего слоя*.

По этому методу предварительно упаренный раствор уранилнитрата распыляется с помощью форсунок в кипящий слой из гранул триоксида урана. Реактор работает при температурах от 300 до 600 °С. Выход конечного продукта в виде гранулированного триоксида урана составляет 99,00 %. Триоксид урана, выгружаемый из аппарата кипящего слоя, содержит влаги до 1 %, азота до 0,04 %, поэтому необходимо доудаление летучих компонентов.

Преимуществом печей кипящего слоя для производства оксидов урана является высокая теплопроводность кипящего слоя, чем обуславливается высокая скорость процесса. Денитрация идет по всему объему аппарата, а не на стенках, поэтому наблюдается меньшая коррозия аппаратов и загрязнения оксидов продуктами коррозии.

Существенным недостатком данного способа является низкая реакционная способность готового продукта, а также необходимость разработки сложной

системы газоочистки для улавливания оксидов урана и регенерации оксидов азота, выброс которых в атмосферу недопустим.

Интересным способом получения оксидов урана является *способ низкотемпературной денитрации паром*, состоящий из процессов упаривания и разложения уранилнитрата до триоксида урана при температуре 210-230 °С с помощью перегретого водяного пара. Температура перегретого водяного пара 450-500 °С.

В результате денитрации уранилнитрата данным способом образуется гидратированный триоксид урана и азотная кислота. Азотная кислота, перераспределяясь между паровой и жидкой фазой, удаляется из зоны реакции, конденсируется в теплообменнике и собирается в сборнике как товарный продукт. Гидратированный триоксид урана после отделения от маточного раствора отправляется на операцию дегидратации.

Опытно-промышленные испытания данного способа денитрации показали, что существенным недостатком этого метода является его периодичность, малая эффективность использования тепла перегретого пара, а наличие вязкой легко кристаллизующейся при охлаждении суспензии гидрата триоксида урана создает определенные трудности при конструировании аппарата-денитратора непрерывного действия.

Более интенсивно процесс термического разложения уранилнитрата протекает при *плазменной денитрации*. В этом методе тепло, необходимое для осуществления процесса, получают в результате сжигания какого-либо горючего газа. Готовый продукт представляет тонкодисперсный порошок, соответствующий по химическому составу оксиду урана U_3O_8 и диоксиду урана. Улавливание и выведение готового продукта из газового потока производится в каскаде циклонов и металло-тканевых фильтрах. Оксиды азота, образующиеся во время разложения уранилнитрата, восстанавливаются в этом процессе до элементарного азота и аммиака, что является большим преимуществом этого способа по сравнению с предыдущим.

К недостаткам этого метода денитрации следует отнести громоздкость системы улавливания готового продукта, а также взрывоопасность системы. Кроме того, до настоящего времени не найдено удовлетворительного аппаратного оформления описанного процесса, поэтому данный способ денитрации не вышел на стадию опытно-промышленных испытаний.

Получение оксидов урана с помощью электродиализа осуществляется в специальной ячейке, в которой катодное и анодное пространства разделены анионитовой мембраной. Для избежания загрязнения растворов уранилнитрата рекомендуется использовать платиновые электроды. Продуктами электродиализа растворов уранилнитрата являются гидроксид уранила и азотная кислота. Для получения оксидов урана гидроксид уранила подвергается температурной обработке.

Способ денитрации растворов уранилнитрата методом электродиализа является перспективным и имеет несомненные достоинства. Практическая же реализация данного способа денитрации из-за сложности процесса имеет ряд трудностей и требует детальной разработки технологии и аппаратуры.

Широкое применение при производстве оксидов урана находит *метод химической денитрации*, заключающийся в осаждении урана из урансодержащих растворов различными осадителями (перекисью водорода, карбонатом аммония, аммиаком и т. д.), с последующим термическим разложением образующихся кристаллов солей урана до оксидов. Высокотемпературная обработка солей урана, как правило, проводится в горизонтальных вращающихся печах. Кроме того, в литературе имеются сведения о получении диоксида урана из уранилтрикарбоната аммония и диураната аммония в аппаратах кипящего слоя.

В 1971 г. впервые в нашей стране была внедрена новая система *получения оксидов урана из вторичного уранового сырья* путем осаждения, сушки и прокалики уранатов аммония.

При разработке данной технологии была показана целесообразность осаждения ураната аммония, как промежуточного продукта при производстве оксидов урана, вследствие малой стоимости осадителя – 25 % водного раствора аммиака, и полноты осаждения урана из раствора уранилнитрата.

Для получения хорошо фильтрующегося осадка, содержащего минимальное количество примесей и достижения необходимой полноты осаждения урана, процесс осаждения уранатов аммония осуществляется непрерывным способом в каскаде из двух реакторов.

Концентрация исходного раствора уранилнитрата составляет 230-310 г/л по урану. В качестве осадителя используется 25 % раствор гидроксида аммония. Температура осаждения составляет 60-80 °С, рН в первом реакторе 4,8-5,5, во втором 7,5-8,0, общее время осаждения 2-4 часа.

При данном режиме осаждения образуется соединение, близкое по составу к пентагидрату тетраураната аммония $(NH_4)_2U_4O_{13} \cdot 5H_2O$.

Процесс сушки и термического разложения уранатов аммония осуществляется в горизонтальных вращающихся печах с электрообогревом в две стадии при температуре сушки 100-450 °С, прокаливания 600-650 °С слое продукта. Время пребывания в сушильной печи 2-3 часа, в прокалочной печи 30-40 минут.

В качестве конечного продукта при термическом разложении уранатов аммония получается оксид урана U_3O_8 , который полностью соответствует нормам. Оксид урана U_3O_8 в дальнейшем направляется на фторирование для производства гексафторида урана.

Недостатком метода химической денитрации является то, что для осаждения тетраураната аммония требуется раствор уранилнитрата, прошедший стадию аффинажа. Наиболее распространенным методом очистки служит экстракционно-реэкстракционный процесс с применением трибутилфосфата, в конечном итоге получают растворы уранилнитрата, очищенные от примесей других элементов. Непосредственная переработка этих растворов в оксиды урана является наиболее технологически оправданным приемом.

Итак, как следует из литературных данных, возможность получения оксидов урана путем термического разложения растворов уранилнитрата вполне очевидна, и такой путь имеет определенные преимущества. Однако по утверждению многих исследователей [4, 9] оксиды урана, которые образуются при разложении нитратов, часто обладают недостаточно воспроизводимыми свойствами,

необходимыми для высококачественного ядерного, а также не отличаются высокой химической активностью. Кроме того, почти все методы термической денитрации, рассмотренные выше, требуют разработки сложной специальной аппаратуры, поэтому до сих пор они не нашли широкого применения и не вышли из стадии лабораторных, опытно-промышленных и промышленных испытаний.

При получении оксидов урана методом химической денитрации уранилнитрата отсутствует необходимость в разработке сложного дорогостоящего оборудования, весь процесс проводится на стандартном химическом оборудовании, чем выгодно отличается от других способов денитрации.

Поэтому можно сделать вывод, что наиболее технологически приемлимым способом получения оксидов урана для многотоннажного производства в настоящее время является метод *химической денитрации уранилнитрата*.

2 РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

2.1 Выбор метода получения U_3O_8

На основании приведенных выше литературных данных для получения U_3O_8 выбираем метод химической денитрации уранилнитрата.

2.2 Описание аппаратурно-технологической схемы

Аппаратурно-технологическая схема установки получения оксидов урана приведена на рисунке 2.1.

Установка для получения оксида урана U_3O_8 состоит из: каскада осаждения, барабанного вакуум-фильтра, сушильной печи, прокалочной печи, системы газоочистки, шнека-холодильника, измельчителя и контейнера для хранения продукта.

Раствор уранилнитрата с концентрацией 230-310 г/л по урану поступает в каскад осаждения из двух реакторов 1, в который для осаждения подается 25 % раствор гидроксида аммония. Температура осаждения составляет 80 °С, рН в первом реакторе 5-6, во втором 7-8, общее время осаждения 2-3 часа. Реакция осаждения выглядит следующим образом:

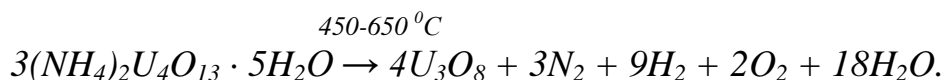


В каскад осаждения входят два реактора с пропеллерными мешалками: первый – для осаждения аммиачной соли, второй – для более полного протекания реакции.

Полученная суспензия уранатов аммония отделяется от маточного раствора, содержащего азотнокислый аммоний, избыток аммиака и не осажденного урана в количестве 0,5-20 мг/л на барабанном вакуум-фильтре 2. Маточные растворы после делителя фаз 3 собираются в сборник фильтрата 4, откуда часть идет на улавливание урана, а другая после охлаждения в теплообменнике 11 – на орошение полового скруббера 12 газовой очистки.

Отфильтрованный осадок (кристаллогидрат тетраураната аммония), имеющий влажность 15-20 %, сыпается в бункер сушильной печи 5 и с помощью шнека загружается в печь. Сушка происходит при температуре 100-250 °С. Просушенный

продукт подается в бункер, откуда с помощью шнека загружается в прокалочную печь 6. Там при температуре 450-650 °С в течение 30 минут происходит реакция термического разложения кристаллогидрата тетраураната аммония:



В прокалочную печь подается предварительно нагретый азот. Расход азота составляет от 6 до 25 м³/ч. При проведении процесса термического разложения тетраураната аммония в атмосфере азота возрастает содержание урана в конечном продукте по сравнению с проведением того же процесса при продувке прокалочной печи воздухом. Это объясняется как устранением влияния кислорода воздуха на равновесие реакции образования закиси-оксида урана, так и частичным восстановлением получаемого оксида урана U₃O₈ водородом, образующимся в результате термической диссоциации отщепляющегося аммиака. Кроме того, проведение процесса в инертной атмосфере способствует уменьшению размера гранул конечного продукта.

Получающиеся оксиды урана после прокалочной печи охлаждаются в шнековом холодильнике 7, измельчаются в дезинтеграторе 8 и загружаются в контейнер готовой продукции 9.

Выделяющиеся газы из сушильной и прокалочной печей, содержащие пары воды, оксиды азота, аммиак, водород, кислород, азот и захваченные частицы оксидов урана и уранатов аммония, пропускаются через циклоны 10, полый скруббер 12, орошаемый маточным раствором, после делителя фаз проходят полную очистку в последовательно установленных двух пенных скрубберах 14 и четырех фильтрах МКФ 15 и выбрасываются в атмосферу с помощью газодувки 16.

2.3 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры

Для контроля и регулирования технологического процесса получения оксида урана U₃O₈ выберем контрольно-измерительные приборы [6], наименование и обозначение которых приведем в таблице 2.1.

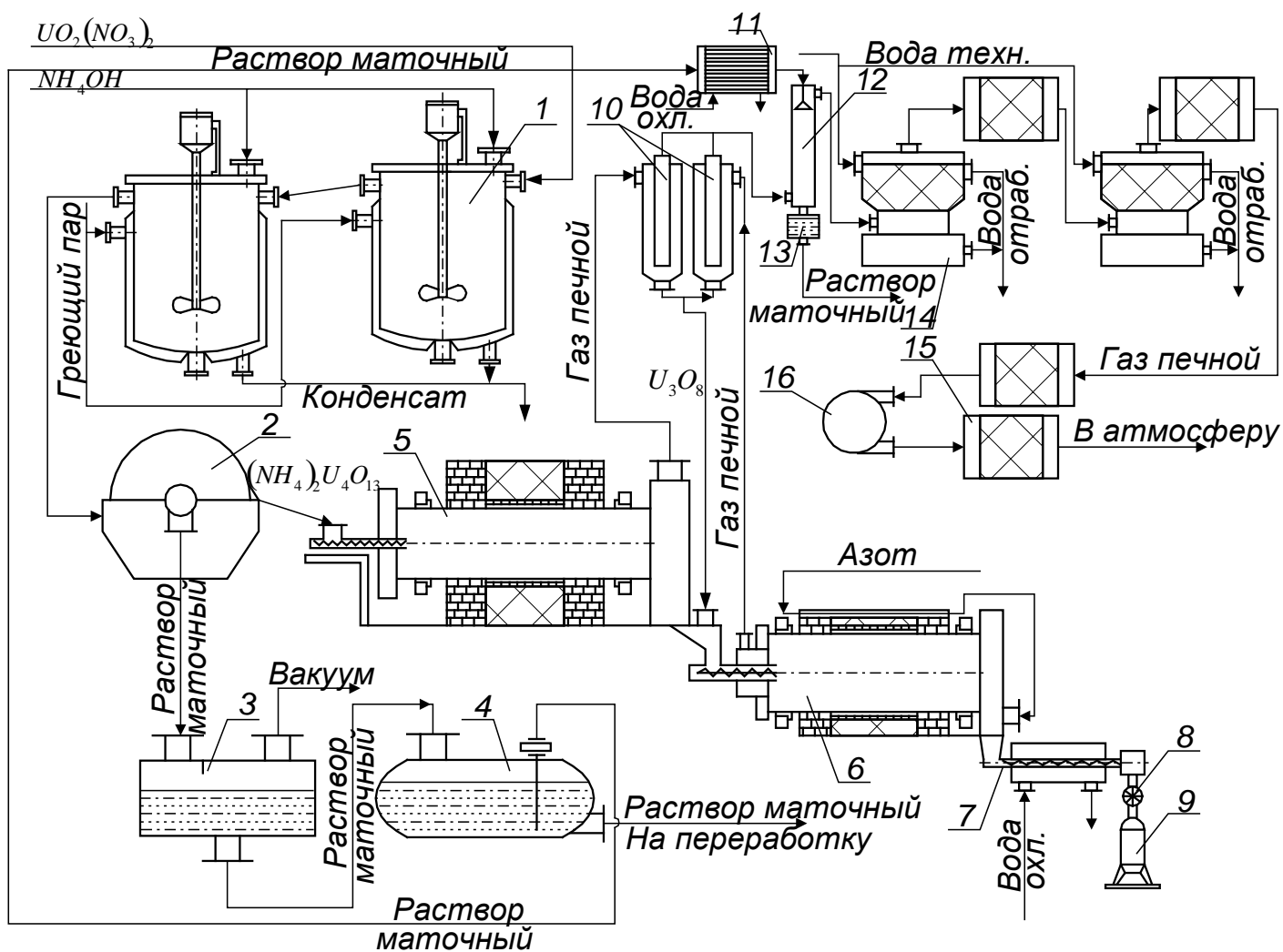
Таблица 2.1 – Выбор контрольно-измерительной аппаратуры

Обозначение прибора	Наименование прибора
<i>FIRC</i>	Прибор для измерения расхода регистрирующий: установленный на щите: вторичный прибор на два параметра ПВ 10.2Э, исполнительное устройство ПР 3.33
<i>QIRC^{pH}</i>	Прибор для измерения качества продукта (<i>pH</i>) регистрирующий, установленный на щите: преобразователь промышленного типа П-210 и П-215
<i>PIA</i>	Прибор для измерения давления ПВ 4.2П
<i>TIRC</i>	Прибор для измерения температуры показывающий, регистрирующий, установленный на щите: электронный

	потенциометр КСП 3, ТХА 08606 (0...1000 °С), ТХК 803 (0...200 °С)
<i>LSA</i>	Прибор для измерения уровня сыпучих тел (сигнализация и блокировка): радиоизотопный сигнализатор уровня РРПВ-3: передающий преобразователь, вторичный прибор
<i>PI</i>	Пружинный манометр технический общего назначения МПТ-160
<i>SIC</i>	Тахогенератор ТД-101
<i>LICA_L^H</i>	Прибор для измерения уровня ПВ 4.2Э, показывающий, с сигнальным устройством

2.4 Подбор стандартного оборудования

В качестве привода емкостного аппарата с перемешивающим устройством принимаем мотор-редуктор МПз-40 по ГОСТ 21355 – 75 (мощность электродвигателя 3 кВт, электродвигатель 4А112МА6Р3). Для привода прокалочной печи используем электродвигатель 4А200М8У3 ГОСТ 19523 – 74 (мощность 18,5 кВт номинальная частота вращения 750 об/мин), редуктор Ц2У-125-16-12 ЦУ2 ГОСТ 20758 – 75, для привода питателя – электродвигатель 4А80В6У3 ГОСТ 19523 – 74 (мощность 0,55 кВт, номинальная частота вращения 750 об/мин), редукторы ЦУ-160-4,0-12У2, ЦУ-200-5,0-12У2 ГОСТ21426 – 75.



- 1 – реактор-осадитель; 2 – вакуум-фильтр барабанный; 3 – делитель фаз; 4 – сборник фильтрата;
 5 – печь сушильная барабанная; 6 – печь прокалочная барабанная; 7 – шнек-холодильник; 8 – дезинтегратор; 9 – контейнер;
 10 – циклон; 11 – теплообменник; 12 – скруббер полый; 13 – отстойник; 14 – скруббер пенный;
 15 – фильтр МКФ;
 16 – газодувка

Рисунок 2.1 – Схема установки получения оксидов урана

3 РАСЧЁТ ЁМКОСТНОГО АППАРАТА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

3.1 Данные для расчета

Данные для расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные

1	Производительность по урану, кг/ч	500
2	Концентрация по урану, г/л	280
3	Концентрация NH ₄ OH, %	25
4	Избыток NH ₄ OH, %	5
5	Время процесса осаждения, ч	3
6	Давление пара в рубашке, МПа	0,3
7	Давление в аппарате, МПа	0,3
8	Начальная температура раствора, град.	20
9	Температура раствора в аппарате, град.	80
10	Число аппаратов в каскаде, штук	2
11	Частота вращения пропеллера, об/мин	180

Основная реакция процесса:



Примечание

- 1 Форма крышки аппарата – плоская;
- 2 Форма днищ аппарата и рубашки – коническая.

3.2 Конструкция аппарата с перемешивающим устройством

Аппарат (рисунок 3.1) состоит из: цилиндрического корпуса, плоской крышки, надетой на корпус гладкой рубашки, конических днищ корпуса и рубашки, привода мешалки и вала мешалки.

Для подачи исходных реагентов и вывода продуктов реакции в аппарате предусмотрены штуцера.

Раствор уранилнитрата с концентрацией 230-310 г/л по урану поступает в каскад осаждения из двух аппаратов, в который для осаждения подается 25 % раствор гидроксида аммония. Первый реактор служит собственно для процесса осаждения, второй – для более полного протекания реакции. Температура

осаждения составляет 80°C , pH в первом реакторе 5-6, во втором 7-8, общее время осаждения 2-3 часа.

Привод мешалки состоит из мотор-редуктора МПз-40 ГОСТ 21355 – 75 с номинальной мощностью 3 кВт, в состав которого входит электродвигатель 4А112МА6РЗ.

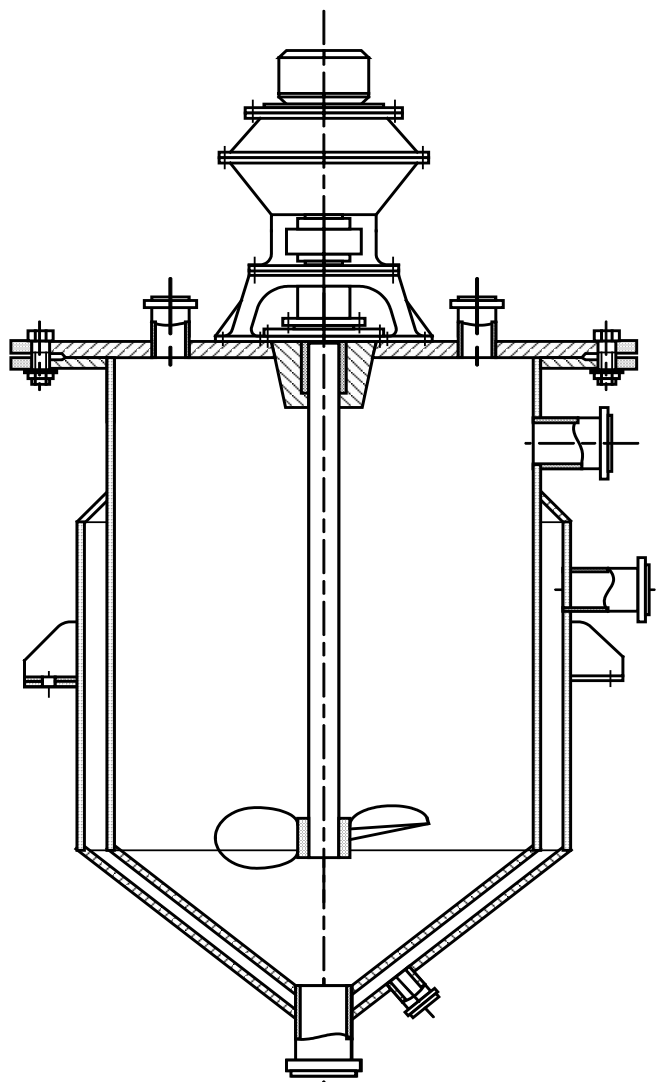


Рисунок 3.1 – Схема аппарата

3.3 Материальный расчет

Материальный расчет процесса перемешивания сводится к определению материальных потоков и составлению материального баланса.

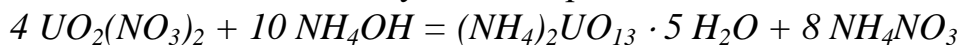
Материальный расчет основывается на законе сохранения материи:

$$\Sigma G_{i \text{ исх.}} = \Sigma G_{i \text{ прод.}}$$

где G_i исх. – количество реагентов, поступающих в аппарат в единицу времени, кг/ч;

G_i прод. – количество продуктов, удаляемых из аппарата в единицу времени, кг/ч.

Реакция осаждения выглядит следующим образом:



Определяем молекулярные массы реагентов:

$$MM_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} = 1576;$$

$$MM_{\text{NH}_4\text{OH}} = 350;$$

$$MM_{(\text{NH}_4)_2\text{U}_4\text{O}_{13} \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 1286;$$

$$MM_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 640.$$

Объемный расход $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$:

$$V_{\text{раствора UO}_2(\text{NO}_3)_2} = \frac{G_U}{C_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2}} = \frac{500}{280} = 1,785 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

Производительность $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$:

$$G_{\text{раствора UO}_2(\text{NO}_3)_2} = V_{\text{раствора UO}_2(\text{NO}_3)_2} \cdot \rho_{\text{раствора UO}_2(\text{NO}_3)_2} = 1,785 \cdot 1420 = 2535,71 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность чистого $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$:

$$G_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} = \frac{G_U \cdot M_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2}}{M_U} = \frac{500 \cdot 394}{238} = 827,731 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность воды в растворе $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{раствора UO}_2(\text{NO}_3)_2} - G_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} = 2535,71 - 827,731 = 1708 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность NH_4OH :

$$G_{\text{NH}_4\text{OH (смех.)}} = \frac{G_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} \cdot M_{\text{NH}_4\text{OH}}}{M_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2}} = \frac{827,731 \cdot 350}{1576} = 183,824 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность избытка NH_4OH :

$$G_{\text{NH}_4\text{OH (изб.)}} = G_{\text{NH}_4\text{OH (смех.)}} \cdot \alpha = 183,82 \cdot 1,05 = 192,99 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность раствора NH_4OH :

$$G_{\text{раствора NH}_4\text{OH}} = \frac{G_{\text{NH}_4\text{OH (изб.)}}}{C_{\text{NH}_4\text{OH}}} \cdot 100 = \frac{192,99}{28} \cdot 100 = 771,96 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность остатка NH_4OH :

$$G_{\text{NH}_4\text{OH (ост.)}} = G_{\text{NH}_4\text{OH (изб.)}} - G_{\text{NH}_4\text{OH (смех.)}} = 192,99 - 183,8 = 9,19 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность воды в растворе NH_4OH :

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{раствора NH}_4\text{OH}} - G_{\text{NH}_4\text{OH (изб.)}} = 771,96 - 191,99 = 578,97 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность $(\text{NH}_4)_2\text{U}_4\text{O}_{13} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$G_{(\text{NH}_4)_2\text{U}_4\text{O}_{13} \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = \frac{G_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} \cdot M_{(\text{NH}_4)_2\text{U}_4\text{O}_{13} \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2}} = \frac{827,731 \cdot 1286}{1576} = 675,42 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Производительность NH_4NO_3 :

$$G_{NH_4NO_3} = \frac{G_{UO_2(NO_3)_2} \cdot M_{NH_4NO_3}}{M_{UO_2(NO_3)_2}} = \frac{827,731 \cdot 640}{1576} = 336,134 \text{ кг/ч.}$$

Составим таблицу материального баланса (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Материальный баланс процесса осаждения тетраураната аммония

Приход			Расход		
Статьи прихода	Масса, кг	%	Статьи расхода	Масса, кг	%
1. Раствор UO ₂ (NO ₃) ₂	2535,71	76,6	1. (NH ₄) ₂ U ₄ O ₁₃ ·5H ₂ O	675,42	20,47
1.1 UO ₂ (NO ₃) ₂	827,731	25,02	2. NH ₄ NO ₃	336,134	10,16
1.2 H ₂ O	1708	51,6	3. NH ₄ OH _(ост.)	9,19	0,27
			4. H ₂ O	2286,97	69,14
2. Раствор NH ₄ OH	771,96	23,4			
2.1 NH ₄ OH	192,99	5,9			
2.2 H ₂ O	578,97	17,5			
Итого	3307,67	100	Итого	3307,67	100

3.4 Тепловой расчет

3.4.1 Тепловой баланс

Тепловой расчет включает определение тепловых потоков, расхода пара и составление таблицы теплового баланса.

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

$$\Sigma Q_{\text{прих.}} = \Sigma Q_{\text{расх.}}$$

где $\Sigma Q_{\text{прих}}$ – количество тепла, вносимое в аппарат с исходными реагентами и теплоносителем, кДж/ч;

$\Sigma Q_{\text{расх.}}$ - количество тепла, уносимое из аппарата продуктами, идущее на нагрев аппарата и теряемое в окружающую среду, кДж/ч.

Приход тепла:

а) с UO₂(NO₃)₂

$$Q_{UO_2(NO_3)_2} = m_{UO_2(NO_3)_2} \cdot c_{UO_2(NO_3)_2} \cdot t_H = 827,731 \cdot \frac{162,52}{394} \cdot 20 = 6828,571 \text{ кДж/ч};$$

б) с NH₄OH

$$Q_{NH_4OH} = m_{NH_4OH} \cdot c_{NH_4OH} \cdot t_n = 192,99 \cdot \frac{76,14}{35} \cdot 20 = 8396,7 \text{ кДж/ч};$$

в) с H₂O

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot t_n = 2286,97 \cdot 4186 \cdot 20 = 191465,12 \text{ кДж/ч};$$

г) с паром

$$Q_{пара} = 1,05 \cdot Q_{переданное}$$

Расход тепла:

а) с (NH₄)₂U₄O₁₃·5H₂O

$$Q_{(NH_4)_2U_4O_{13} \cdot 5H_2O} = m_{(NH_4)_2U_4O_{13} \cdot 5H_2O} \cdot c_{(NH_4)_2U_4O_{13} \cdot 5H_2O} \cdot t_k = 675,42 \cdot \frac{521,08}{1286} \cdot 80 = 21894,112 \text{ кДж/ч};$$

б) с NH₄NO₃

$$Q_{NH_4NO_3} = m_{NH_4NO_3} \cdot c_{NH_4NO_3} \cdot t_k = 336,134 \cdot \frac{139,33}{80} \cdot 80 = 46833,551 \text{ кДж/ч};$$

в) с H₂O

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot t_k = 2286,97 \cdot 4186 \cdot 80 = 765860,51 \text{ кДж/ч}.$$

$Q_{переданное}$ определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q_{переданное} = Q_{(NH_4)_2U_4O_{13} \cdot 5H_2O} + Q_{NH_4NO_3} + Q_{H_2O} - Q_{UO_2(NO_3)_2} - Q_{NH_4OH} - Q_{H_2O};$$

$$Q_{переданное} = 21894,112 + 765860,5 + 46833,551 - 6828,571 - 8396,7 - 191465,12 = 627897,78 \text{ кДж/ч}.$$

$$D_{потерь} = \frac{Q_{пара}}{r} = \frac{659292,67}{2171} = 303,68 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{потерь} = Q_{пара} - Q_{переданное} = 659292,67 - 53502,392 = 31394,89 \text{ кДж/ч}.$$

Таблица 3.3 – Тепловой баланс процесса осаждения тетраураната аммония

Приход			Расход		
<u>Статьи прихода</u>	кДж/ч	%	<u>Статьи расхода</u>	кДж/ч	%
1. UO ₂ (NO ₃) ₂	6828,571	0,78	1. (NH ₄) ₂ U ₄ O ₁₃ ·5H ₂ O	21894,112	2,52
2. NH ₄ OH	8396,7	0,96	2. NH ₄ NO ₃	46833,551	5,4
3. H ₂ O	191465,12	22,1	3. H ₂ O	765860,51	88,4
4. Греющий пар	659292,67	76,16	4. Потери тепла	31394,89	3,68
Итого	865983,06	100	Итого	865983,01	100

3.4.2 Основное уравнение теплопередачи

Основное уравнение теплопередачи определяет количество переданного тепла от горячего теплоносителя к холодному и имеет вид:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau,$$

где Q - количество переданного тепла, Дж ;
 k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К);
 F - поверхность теплопередачи, м² ;
 Δt_{cp} - средняя разность температур горячего и холодного теплоносителя, К;
 τ - время, с.

Тепловой поток, или тепловая мощность аппарата определяется по формуле

$$Q' = \frac{Q}{\tau} = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp},$$

а удельный тепловой поток –

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = k \cdot \Delta t_{cp}.$$

Из основного уравнения теплопередачи определяется поверхность теплообмена по формуле:

$$F = \frac{Q'}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{Q'}{q}.$$

3.4.3 Расчет средней разности температур и средних температур теплоносителей

Средняя разность температур между теплоносителями определяется по формуле

$$\Delta t_{cp} = t_{I\text{ ср.}} - t_{II\text{ ср.}},$$

где Δt_{cp} - средняя разность температур между теплоносителями, °С;

$t_{I\text{ ср.}}$ - средняя температура первого горячего теплоносителя (пара), при которой выбираются его физико – химические константы, °С;

$t_{II\text{ ср.}}$ - средняя температура второго холодного теплоносителя (раствора), при которой выбираются его физико – химические константы, °С.

В случае конденсации пара в гладкой рубашке средняя температура первого теплоносителя равна температуре конденсации пара [19]

$$t_{I\text{ ср.}} = t_{\text{конд.}} = 119,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура второго теплоносителя равна температуре раствора в аппарате

$$t_{II\text{ ср.}} = t_{\text{аппарат а}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя разность температур определяется по формуле

$$\Delta t_{cp.} = 119,6 - 80 = 39,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.4.4 Расчет истинного удельного потока

При пленочной конденсации насыщенного пара на вертикальной поверхности высотой H в паровой рубашке аппарата при ламинарном движении пленки конденсата средний коэффициент теплоотдачи определяется по формуле Нуссельта:

$$\alpha_I = \left[\frac{\lambda_k^3 \cdot \rho_k^2 \cdot r \cdot g}{\mu_k \cdot H \cdot (t_{конд.} - t_{ст.1})} \right]^{0,25},$$

где α_I - коэффициент теплоотдачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

λ_k - коэффициент теплопроводности конденсата, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

ρ_k - плотность конденсата, $\frac{кг}{м^3}$;

r - удельная теплота конденсации, $\frac{Дж}{кг}$;

g - ускорение свободного падения, $\frac{м}{с^2}$;

μ_k - динамический коэффициент вязкости конденсата, $Па \cdot с$;

H - высота поверхности, $м$;

$t_{конд.}$ - температура конденсации пара, $^\circ\text{C}$;

$t_{ст.1}$ - температура стенки, $^\circ\text{C}$.

Принимаем значения физико-химических констант при температуре конденсации

$$\lambda_k = 68,6 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot К};$$

$$\rho_k = 943 \frac{кг}{м^3};$$

$$r = 2171 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг};$$

$$\mu_k = 230 \cdot 10^{-6} Па \cdot с;$$

$$H = 1,999 м.$$

Для определения истинных значений удельного теплового потока, коэффициента теплопередачи и температур стенок применим графический метод построения нагрузочной характеристики аппарата.

Для построения нагрузочной характеристики аппарата задаются рядом значений температуры стенки со стороны горячего теплоносителя $t_{ст.1}$, для каждого значения температуры стенки рассчитывают значение коэффициента

теплоотдачи для горячего теплоносителя α_I по формуле $\alpha_I = f(t_{cr,1})$ и удельного теплового потока по формуле

$$q_I = \alpha_I \cdot (t_{I,sp} - t_{cr,1}).$$

Зададимся рядом значений температуры стенки со стороны горячего теплоносителя.

Таблица 3.4 – Ряд значений температуры

i	1	2	3	4	5	6	7
$t_{cr,1}, ^\circ C$	119	118	117	116	115	114	110

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_{I1} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 119)} \right]^{0,25} = 14050 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I2} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 118)} \right]^{0,25} = 10990 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I3} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 117)} \right]^{0,25} = 9736 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I4} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 116)} \right]^{0,25} = 8975 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I5} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 115)} \right]^{0,25} = 8442 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I6} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 114)} \right]^{0,25} = 8037 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{I7} = 1,15 \cdot \left[\frac{0,686^3 \cdot 943^2 \cdot 2171 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{230 \cdot 10^{-6} \cdot 1,999 \cdot (119,6 - 110)} \right]^{0,25} = 7024 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

Удельный тепловой поток

$$q_{I1} = 14050 \cdot (119,6 - 119) = 8430 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{I2} = 10990 \cdot (119,6 - 118) = 17584 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{I3} = 9736 \cdot (119,6 - 117) = 25313 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{I4} = 8975 \cdot (119,6 - 116) = 32310 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{I5} = 8442 \cdot (119,6 - 115) = 38833 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{I6} = 8037 \cdot (119,6 - 114) = 45007 \frac{Bm}{m^2}.$$

$$q_{I7} = 7024 \cdot (119,6 - 110) = 67430 \frac{Вт}{м^2}.$$

По полученному значению q_I из уравнения теплопроводности для плоской стенки

$$q_I = \frac{\lambda_{cr.}}{\delta_{cr.}} \cdot (t_{cr.1} - t_{cr.2})$$

рассчитывают соответствующий ряд значений температуры стенки со стороны холодного теплоносителя $t_{cr.1}$

$$t_{cr.2} = t_{cr.1} - \frac{q_I \cdot \delta_{cr.}}{\lambda_{cr.}};$$

где $\lambda_{cr.}$ - коэффициент теплопроводности материала аппарата, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

$\delta_{cr.}$ - толщина стенки аппарата, м.

Принимаем следующие значения по рекомендациям [19]

$$\lambda_{cm.1} = 17,5 \frac{Вт}{м \cdot К};$$

$$\delta_{cr.} = 0,010 \text{ м.}$$

Температура стенки со стороны холодного теплоносителя

$$t_{cr.2.1} = 119 - 8430 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 116,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cr.2.2} = 118 - 17684 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 112,02 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cr.2.3} = 117 - 25313 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 108,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cr.2.4} = 116 - 32310 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 105,01 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cr.2.5} = 115 - 38833 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 101,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{cr.2.6} = 114 - 45007 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 98,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$t_{cr.2.7} = 110 - 67430 \cdot \frac{0,010}{17,5} = 87,07 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи в аппаратах с рубашками и пропеллерной мешалкой рассчитывается по критериальному уравнению

$$Nu = c \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{cr.}} \right)^{0,14} \cdot \Gamma^{-1};$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_M}{\lambda};$$

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu};$$

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda};$$

$$\Gamma = \frac{D}{d_M},$$

где Nu - критерий Нуссельта;

Re - критерий Рейнольдса;

Pr - критерий Прандтля;

D - диаметр аппарата, м;

d_M - диаметр мешалки, м;

ρ - теплоемкость жидкости, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$;

$\mu_{ж}$ - динамический коэффициент вязкости жидкости при температуре стенки рубашки, $Па \cdot с$;

μ - динамический коэффициент вязкости жидкости при средней температуре, $Па \cdot с$.

Значения физико-химических констант жидкости выбираются при средней температуре жидкости в аппарате.

Значения констант c и m равны для аппаратов с рубашками [20] :

$$c = 0,36;$$

$$m = 0,67.$$

Критериальное уравнение применимо для расчета аппаратов диаметром до 1,5 м при $\Gamma = \frac{D}{d_M} = 1,5 \dots 4$.

Принимаем следующие значения [19]:

$$c = 1741,625 \frac{Дж}{кг \cdot K};$$

$$\lambda = 0,582 \frac{Дж}{м \cdot K};$$

$$\rho = 1050 \frac{кг}{м^3}.$$

Таблица 3.5 – Значения μ в зависимости от температуры раствора

$\mu \cdot 10^{-3}, Па \cdot с$	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,43
$t_{см.2}, ^\circ C$	116,2	112,02	108,3	105,01	101,7	98,6	87,07

$$Re = \frac{1050 \cdot 3 \cdot 0,54^2}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 3114960;$$

$$Pr = \frac{1741,625 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,582} = 1,496;$$

$$\Gamma = \frac{1,8}{0,54} = 3,33;$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3244.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,26 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3226.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,28 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3193.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,29 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3177.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,31 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3148.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,33 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3120.$$

$$Nu = 0,36 \cdot 3114960^{0,67} \cdot 1,496^{0,33} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,43 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 3,33^{-1} = 3007.$$

Значение коэффициента теплоотдачи α_{II} определяется по формуле

$$\alpha_{II} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_m};$$

$$\alpha_{II} = \frac{3244 \cdot 0,582}{0,54} = 3496 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3226 \cdot 0,582}{0,54} = 3476 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3193 \cdot 0,582}{0,54} = 3441 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3177 \cdot 0,582}{0,54} = 3424 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3148 \cdot 0,582}{0,54} = 3392 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3120 \cdot 0,582}{0,54} = 3362 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$\alpha_{II} = \frac{3007 \cdot 0,582}{0,54} = 3240 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Удельный тепловой поток

$$q_{II} = \alpha_{II} \cdot (t_{cr.2} - t_{II\text{ ср.}});$$

$$q_{II1} = 3496 \cdot (116,1 - 80) = 126205 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II2} = 3476 \cdot (112,02 - 80) = 111301 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II3} = 3441 \cdot (108,3 - 80) = 97380 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II4} = 3424 \cdot (105,01 - 80) = 86059 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II5} = 3392 \cdot (101,7 - 80) = 73606 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II6} = 3362 \cdot (98,6 - 80) = 62533 \frac{Bm}{M^2};$$

$$q_{II7} = 3240 \cdot (87,07 - 80) = 22906 \frac{Bm}{M^2}.$$

По результатам строим график зависимости удельных тепловых потоков q_I и q_{II} от температуры стенки 1 (рисунок 3.3).

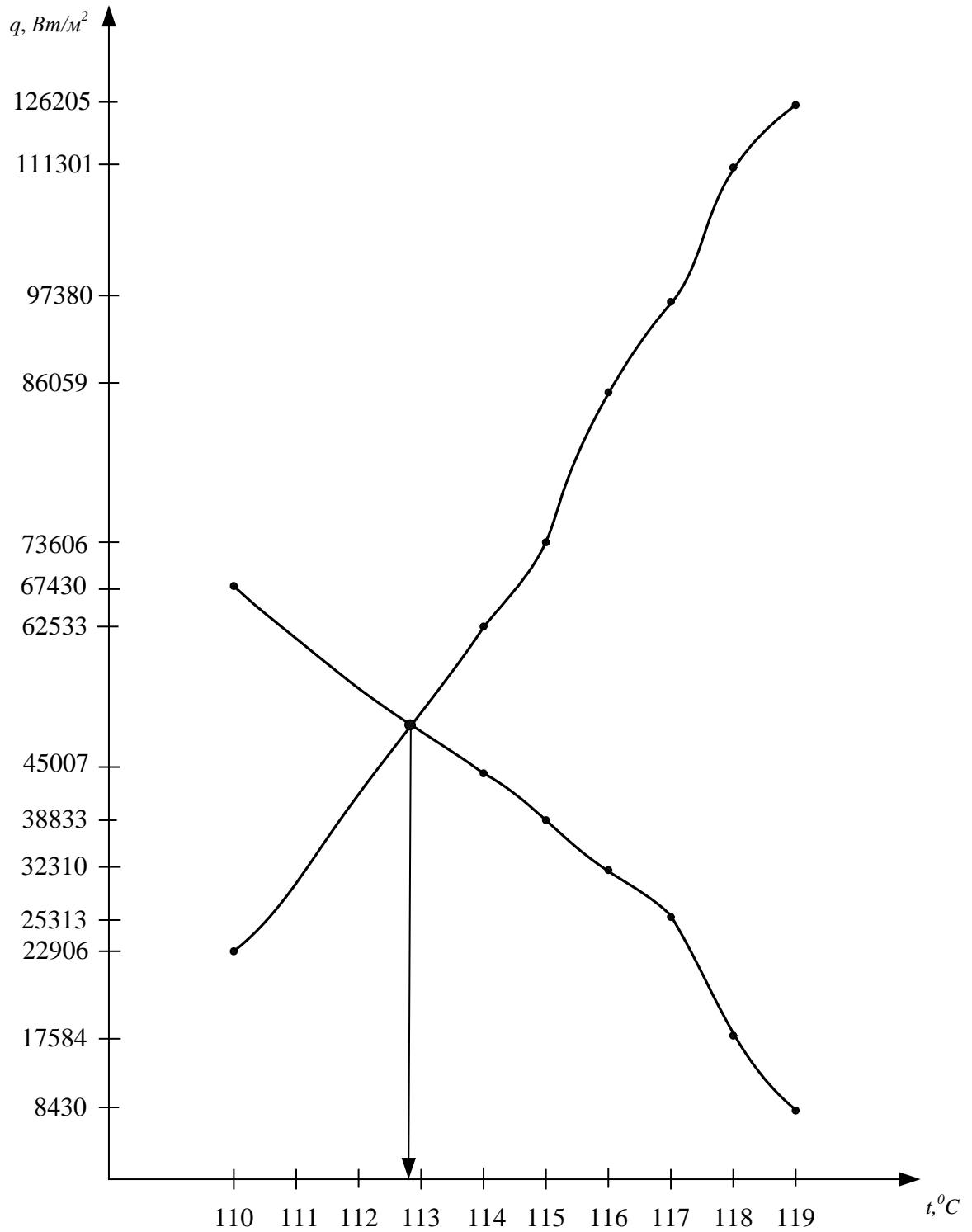


Рисунок 3.3 – Зависимость удельных тепловых потоков от температуры стенки t_{cm1}

Из графика получаем:

$$q_{ucm.} = 51200 \frac{Bm}{M^2};$$

$$t_{cm.1} = 112,95 \text{ } ^{\circ}C.$$

Определяем истинные значения:

$$\alpha_{I \text{ ист.}} = \frac{q_{\text{ист.}}}{t_I - t_{II}};$$

$$\alpha_{I \text{ ист.}} = \frac{51200}{119,6 - 112,95} = 7699 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$t_{\text{ст.2}} = t_{\text{ст.1}} - q_{\text{ист.}} \cdot \left(\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right);$$

$$t_{\text{ст.2}} = 112,95 - 51200 \cdot \frac{0,016}{17,5} = 95,33 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{II \text{ ист.}} = \frac{q_{\text{ист.}}}{t_{\text{ст.2}} - t_{II}};$$

$$\alpha_{II \text{ ист.}} = \frac{51200}{95,33 - 80} = 3339,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

$$k = \frac{q_{\text{ист.}}}{\Delta t_{\text{ср}}};$$

$$k = \frac{51200}{39,6} = 1292 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$F = \frac{Q'}{q_{\text{ист.}}};$$

$$F = \frac{659292,67 \cdot 10^3}{51200 \cdot 3600} = 3,57 \text{ м}^2.$$

Для обеспечения нормального теплообмена при заданных условиях должно выполняться условие:

$$F_{\text{рубашки}} > F$$

$$11 \text{ м}^2 > 3,57 \text{ м}^2.$$

3.5 Конструктивный расчет

3.5.1 Определение высоты и диаметра

Объемный расход жидкости в аппаратах определяется по формуле

$$v_{\Sigma} = v_1 + v_2,$$

где v_1 - объемный расход раствора $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v_2 - объемный расход раствора NH_4OH , $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$v_{\Sigma} = 1,875 + 0,923 = 2,798 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Суммарный объем аппарата определяется по формуле

$$V_{\Sigma} = \frac{V_{\Sigma} \cdot \tau}{\varphi},$$

где τ - время осаждения, ч;
 φ - коэффициент заполнения аппарата.

$$V_{\Sigma} = \frac{2,798 \cdot 3}{0,75} = 11,16 \text{ м}^3.$$

Объем одного аппарата определяется по формуле

$$V_i = \frac{V_{\Sigma}}{2};$$

$$V_i = \frac{11,16}{2} = 5,58 \text{ м}^3.$$

Объем аппарата также определяется по формуле

$$V_i = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4};$$

Учитывая, что для аппаратов с мешалкой применимо отношение

$$H = (1,0 \dots 1,5) \cdot D,$$

определим диаметр аппарата по формуле:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_i}{1,5 \cdot \pi}};$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5,58}{1,5 \cdot 3,14}} = 1,67 \text{ м};$$

$$H = 1,5 \cdot 1,67 = 2,51 \text{ м}.$$

По ГОСТ 9931–79 [15] принимаем стандартные размеры корпуса аппарата:
 вместимость аппарата $V_{ном.} = 5,0 \text{ м}^3$;

диаметр аппарата $D = 1800 \text{ мм}$;

длина корпуса $l = 1370 \text{ мм}$;

площадь поверхности теплообмена $F = 14,8 \text{ м}^2$.

По ОСТ 26-01-984-74 принимаем стандартные размеры рубашки при высоте рубашки:

$$H = 0,75 \cdot H_{\text{аппарата}};$$

$$H = 0,75 \cdot 2565 = 1923 \text{ мм},$$

диаметр рубашки $D_1 = 1900 \text{ мм}$;

площадь поверхности теплообмена $F = 11,0 \text{ м}^2$;

высота рубашки $H = 2070 \text{ мм}$;

высота цилиндрической части $H_1 = 1665 \text{ мм}$.

По рекомендациям [20] для трехлопастной (пропеллерной) мешалки применимо соотношение

$$\frac{D}{d_m} = 3 \dots 4.$$

Отсюда определяем диаметр мешалки по формуле

$$\begin{aligned} d_m &= 0,3 \cdot D; \\ d_m &= 0,3 \cdot 1800 = 540 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Расстояние от конца мешалки до дна аппарата принимаем по рекомендациям [20] по формуле

$$\begin{aligned} \frac{h}{d_m} &= 0,4 \dots 1; \\ h &= 0,5 \cdot d_m; \\ h &= 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ мм}. \end{aligned}$$

3.5.2 Определение объемных расходов реагентов

Объемный расход греющего пара определяется по формуле

$$\begin{aligned} V_{\text{пара}} &= \frac{D}{\rho_{\text{пара}}}; \\ V_{\text{пара}} &= \frac{303,68}{3600 \cdot 1,108} = 0,058 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Объемный расход конденсата греющего пара определяется по формуле

$$\begin{aligned} V_{\text{конд.}} &= \frac{D}{\rho_{\text{конд.}}}; \\ V_{\text{конд.}} &= \frac{303,68}{3600 \cdot 943} = 0,0000894 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

3.5.3 Расчет диаметров патрубков

Диаметр патрубков определяется из уравнения расхода

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot W,$$

где V - объемный расход теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$;

W - скорость движения теплоносителя, м³/с;

d - внутренний диаметр патрубка, м.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot W}};$$

Патрубок для ввода раствора NH₄OH

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,923}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,03 \text{ м.}$$

Патрубок для ввода раствора UO₂(NO₃)₂

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,875}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,04 \text{ м.}$$

Патрубок для ввода греющего пара

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,058}{3,14 \cdot 10}} = 0,08 \text{ м.}$$

Патрубок для вывода конденсата

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000089}{3,14 \cdot 0,1}} = 0,04 \text{ м.}$$

Патрубок для вывода продуктов

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,798}{3,14 \cdot 0,15 \cdot 3600}} = 0,08 \text{ м.}$$

Патрубок для удаления реагентов принимаем конструктивно

$$d_6 = 0,15 \text{ м.}$$

В соответствии с [15] принимаем размеры стандартных приварных фланцевых штуцеров (рисунок 3.4), основные размеры которых приведены в таблице 3.5.

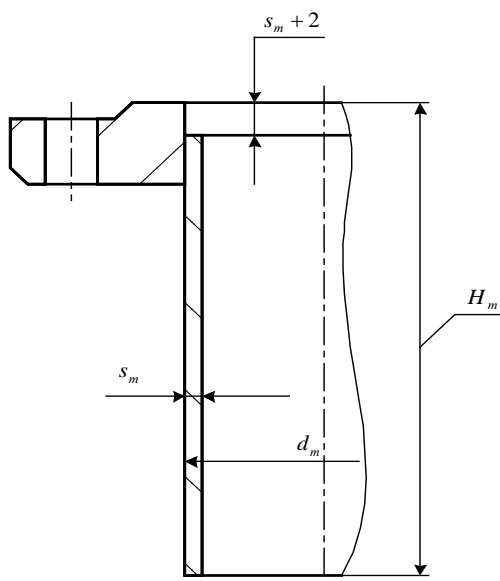


Рисунок 3.4 – Стандартный стальной фланцевый тонкостенный штуцер

Таблица 3.5 – Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров

Наименование патрубка		$D_y, \text{ мм}$	$d_T, \text{ мм}$	$s_T, \text{ мм}$	$H_T, \text{ мм}$	Давление условное $p_y, \text{ МПа}$
1	Патрубок d_1	40	45	3	155	0,6
2	Патрубок d_2	40	45	3		
3	Патрубок d_3	80	89	4		
4	Патрубок d_4	40	45	3		
5	Патрубок d_5	80	89	4		
6	Патрубок d_6	150	159	6		

3.6 Прочностной расчет

Исходные данные для проведения прочностного расчета приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Исходные данные

1	Диаметр аппарата, мм	1800
2	Диаметр рубашки, мм	1900
3	Давление в аппарате, МПа	0,3
4	Давление пара в рубашке, МПа	0,3
5	Температура раствора в аппарате, °C	80
6	Срок службы аппарата, лет	10

Прочностной расчет тонкостенного сосуда производим в соответствии с [8].

3.6.1 Определение характеристик аппарата

3.6.1.1 Расчетная температура

За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшее значение температуры стенки:

$$t_p = \max \{t_{\text{среды}}; 20 \text{ } ^\circ\text{C}\};$$

$$t_p = \max \{80; 20\} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для рубашки:

$$t_{p \text{ руб.}} = \max \{119,6; 20\} = 119,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.6.1.2 Выбор конструкционных материалов

Для всех элементов аппарата принимаем конструкционный материал – сталь 12X18H10T, имеющую скорость коррозии $P = 0,1 \text{ мм/год}$.

3.6.1.3 Допускаемые напряжения

Для выбранного конструкционного материала определяем допускаемые напряжения по формуле:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*,$$

где η - поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

σ^* - нормативное допускаемое напряжение, МПа.

Для корпуса, крышки и днища корпуса

$$[\sigma] = 0,83 \cdot 176,5 = 146,5 \text{ МПа};$$

для рубашки, днища рубашки

$$[\sigma]_1 = 0,83 \cdot 170,05 = 141,14 \text{ МПа}.$$

3.6.1.4 Коэффициенты запаса прочности и устойчивости

Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Коэффициенты запаса прочности

Условия нагружения	Коэффициент запаса прочности			
	n_T	n_B	n_D	n_{II}
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0
Условия испытания:				
Гидравлические	1,1	-	-	-
Пневматические	1,2	-	-	-

где n_T - коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

n_B - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

n_D - коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности;

n_{II} - коэффициент запаса прочности по пределу ползучести.

Коэффициент запаса устойчивости n_y при расчете сосудов и аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости следует принимать:

2,4 – для рабочих условий;

1,8 – для условий испытаний и монтажа.

3.6.1.5 Расчетные значения модуля продольной упругости

Для марки стали *12X18H10T* при расчетной температуре модуль продольной упругости равен

для корпуса, крышки и днища корпуса

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

для рубашки и днища рубашки

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

3.6.1.6 Коэффициенты прочности сварных швов

Выбор коэффициента прочности сварного шва производим по [8]. С учетом специфики сварного шва принимаем $\varphi = 0,9$.

3.6.1.7 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

При расчете сосудов и аппаратов необходимо учитывать прибавку C к расчетным толщинам элементов сосудов и аппаратов.

Исполнительная толщина стенки элемента сосуда и аппарата определяются по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

где C_1 - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

C_2 - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 - прибавка технологическая, мм.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии определяется по формуле:

$$C_1 = P \cdot \tau;$$

$$C_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}.$$

Так как суммарное значение $C_2 + C_3$ не превышает 5 % номинальной толщины листа, то им пренебрегаем.

3.6.2 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления

Толщина стенки рассчитывается по формулам:

$$s \geq s_p + C,$$

$$\text{где } s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p};$$

$$s_p = \frac{0,3 \cdot 1800}{2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 - 0,3} = 2,05 \text{ мм}.$$

Допускаемое внутреннее давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}$$

3.6.3 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления

Толщину стенки приближенно определяют по формулам:

$$s \geq s_{p.H} + C,$$

где $s_{p.H} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\}$.

Коэффициент K_2 определяется по номограмме [8] при соответствующих значениях коэффициентов K_1 и K_3 , определяемых по формулам:

$$K_1 = \frac{n_y \cdot p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E};$$

$$K_3 = \frac{l_p}{D},$$

где l_p - длина корпуса аппарата, м.

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,3}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,5;$$

$$K_3 = \frac{2175}{1800} = 1,2;$$

$$K_2 = 0,55.$$

Толщина стенки корпуса

$$s_{p.H} = \max \left\{ 0,55 \cdot 1800 \cdot 10^{-2} = 9,9 \text{ мм}; \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 1800}{2 \cdot 146,5} = 2,03 \text{ мм} \right\} = 9,9 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина стенки корпуса определяется по формуле:

$$s = \max \{s_p; s_{p.H}\} + C;$$

$$s = \max \{2,05; 9,9\} + 1 = 10,9 \text{ мм}.$$

Принимаем $s = 12 \text{ мм}$.

$$[p] = \frac{2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 \cdot (12 - 1)}{1800 + (12 - 1)} = 1,6 \text{ МПа};$$

$$p \leq [p] (0,3 < 1,6).$$

Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[p]_H = \frac{[p]_H}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_H}{[p]_E} \right)^2}},$$

где допускаемое давление из условия прочности определяют по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - C)}{D + (s - C)};$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 146,5 \cdot (12 - 1)}{1800 + (12 - 1)} = 1,78 \text{ МПа},$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяют по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot I_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - C)}{D} \right]^{2,5},$$

где $B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{I_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - C)}} \right\};$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{1800}{2175} \cdot \sqrt{\frac{1800}{100 \cdot (12 - 1)}} = 10,04 \right\} = 1,0;$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1800}{2,4 \cdot 1 \cdot 2175} \cdot \left[\frac{100 \cdot (12 - 1)}{1800} \right]^{2,5} = 0,42 \text{ МПа};$$

$$[p]_n = \frac{1,78}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,78}{0,42} \right)^2}} = 0,41 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_n \quad (0,3 < 0,41).$$

3.6.4 Расчет толщины стенки рубашки из условия действия внутреннего давления

Толщина стенки рассчитывается по формуле:

$$s_p \geq s_{p,p} + C,$$

где $s_{p,p} = \frac{p \cdot D_1}{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \varphi - p};$

$$s_{p,p} = \frac{0,3 \cdot 1900}{2 \cdot 141,14 \cdot 0,9 - 0,3} = 2,24 \text{ мм};$$

$$s_p = 2,24 + 1 = 3,24 \text{ мм}.$$

С целью уменьшения краевых сил и моментов принимаем $s_p = 8 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \varphi \cdot (s_p - C)}{D_1 + (s_p - C)};$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 141,14 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1)}{1900 + (8 - 1)} = 0,93 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p] \quad (0,3 < 0,93).$$

3.6.5 Расчет толщины стенки днища корпуса из условия действия внутреннего давления

Толщина стенки рассчитывается по формуле:

$$s_d \geq s_{д.р} + C,$$
$$\text{где } s_{д.р} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p};$$
$$s_{д.р} = \frac{0,3 \cdot 1800}{2 \cdot 0,9 \cdot 146,5 - 0,5 \cdot 0,3} = 2,05 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_d - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D + 0,5 \cdot (s_d - C)}.$$

3.6.6 Расчет толщины стенки днища корпуса из условия действия наружного давления

Толщину стенки приближенно определяют по формулам:

$$s_{д.н} = s_{д.н.р} + C,$$
$$\text{где } s_{д.н.р} = \max \left\{ \frac{K_y \cdot D}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-6} \cdot E}}; \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\};$$
$$s_{д.н.р} = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 1800}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,3}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}} = 6,03 \text{ мм}; \frac{0,3 \cdot 1800}{2 \cdot 146,5} = 1,84 \text{ мм} \right\} = 6,03 \text{ мм.}$$

Исполнительная толщина стенки днища определяется по формуле:

$$s_d = \max \{s_{д.р}; s_{д.р.н}\} + C;$$
$$s_d = \max \{2,05; 6,03\} + 1 = 7,03 \text{ мм.}$$

С целью уменьшения краевых сил и моментов на стыке корпуса и днища принимаем $s_d = 12 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot (12 - 1) \cdot 0,9 \cdot 146,5}{1800 + 0,5 \cdot (12 - 1)} = 1,61 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p] (0,3 < 1,61).$$

Допускаемое наружное давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_н}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_н}{[p]_E}\right)^2}},$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_d - C)}{D + 0,5 \cdot (s_d - C)};$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 146,5 \cdot (12 - 1)}{1800 + 0,5 \cdot (12 - 1)} = 1,19 \text{ МПа},$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости рассчитывается по формуле:

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_d - C)}{K_{\vartheta} \cdot D} \right]^2;$$

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (12 - 1)}{0,9 \cdot 1800} \right]^2 = 1 \text{ МПа};$$

$$[p] = \frac{1,79}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,79}{1} \right)^2}} = 0,87 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p] (0,3 < 0,87).$$

3.6.7 Расчет толщины стенки днища рубашки из условия действия внутреннего давления

Толщина стенки конического днища рубашки определяется по формуле:

$$s'_d \geq s'_{d,p} + C,$$

$$\text{где } s'_{d,p} = \max \left\{ \frac{K_{\vartheta} \cdot D_1}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-6} \cdot E_1}}; \frac{p \cdot D_1}{2 \cdot [\sigma]_1} \right\}.$$

Для предварительного расчета K_{ϑ} принимают равным 0,9 для конических днищ.

$$s'_{d,p} = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 1900}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,3}{10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5}} = 6,36 \text{ мм}; \frac{0,3 \cdot 1900}{2 \cdot 141,14} = 2,02 \text{ мм} \right\} = 6,36 \text{ мм}.$$

Тогда исполнительная толщина стенки конического днища рубашки

$$s'_d = 6,36 + 1 = 7,36 \text{ мм}.$$

Принимаем $s'_d = 8 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s'_d - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_1}{D_1 + 0,5 \cdot (s'_d - C)};$$

$$[p] = \frac{2 \cdot (8 - 1) \cdot 0,9 \cdot 141,14}{1900 + 0,5 \cdot (8 - 1)} = 0,93 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p] (0,3 < 0,93).$$

3.6.8 Определение толщины плоской крышки

Толщина плоских круглых днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением, рассчитывается по формуле:

$$s_K \geq s_{K.p} + C,$$

$$\text{где } s_{K.p} = K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma]}}.$$

Значения коэффициента K в зависимости от конструкции крышки определяют по [8]:

$$K = 0,41;$$

$$D_p = D.$$

Значения коэффициента ослабления K_0 для крышки, имеющей одно отверстие, определяют по формуле:

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D_p} + \left(\frac{d}{D_p}\right)^2};$$

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{40}{1800} + \left(\frac{40}{1800}\right)^2} = 1,01;$$

$$s_{K.p} = 0,41 \cdot 1,01 \cdot 1800 \cdot \sqrt{\frac{0,3}{0,9 \cdot 146,5}} = 35,55 \text{ мм},$$

$$s_K = 35,55 + 1 = 36,55 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_K = 38 \text{ мм}$.

Допускаемое давление на плоскую крышку определяют по формуле:

$$[p] = \left(\frac{s_K - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p}\right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$[p] = \left(\frac{38 - 1}{0,41 \cdot 1,01 \cdot 1800}\right)^2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 = 0,32 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p] \quad (0,3 \leq 0,32).$$

3.6.9 Проверка необходимости укрепления отверстий

Расчетный диаметр одиночного отверстия в крышке корпуса вычисляют по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s_K - C}{s_{K.p}} - 0,8\right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_K - C)};$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{38 - 1}{36,55} - 0,8\right) \cdot \sqrt{1800 \cdot (38 - 1)} = 109,58 \text{ мм}.$$

Проверяем условие прочности:

$$d_R \leq d_0 \quad (39 < 109,58).$$

Так как расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет данному условию, то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется.

3.6.10 Расчет укрепления корпуса и рубашки кольцами жесткости

Для заданных расчетного давления p и толщины стенки s коэффициент K_4 рассчитывается по формуле:

$$K_4 = \frac{p \cdot (D + s - C)}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - C)} - 1.$$

Для корпуса коэффициент K_4 равен:

$$K_4 = \frac{0,3 \cdot (1800 + 12 - 1)}{2 \cdot 0,9 \cdot 146,5 \cdot (12 - 1)} - 1 = -0,81.$$

Для рубашки коэффициент K_4 равен:

$$K_4 = \frac{0,3 \cdot (1900 + 8 - 1)}{2 \cdot 0,9 \cdot 141,14 \cdot (8 - 1)} - 1 = -0,68.$$

Так как в обоих случаях коэффициент $K_4 < 0$, то укрепления корпуса и рубашки кольцами жесткости не требуется.

3.6.11 Проверка на прочность при гидравлических испытаниях

Для условий испытаний сосудов и аппаратов допускаемое напряжение определяют по формуле:

$$[\sigma]_{\text{н}} = \eta \cdot \frac{R_{p0,2}^{20}}{n_T},$$

где η - поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

$R_{p0,2}^{20}$ - минимальное значение условного предела текучести при температуре 20 °C, МПа.

$$[\sigma]_{\text{н}} = 0,83 \cdot \frac{240}{1,1} = 181,09 \text{ МПа}.$$

Допускаемое внутреннее давление на корпус при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{н}} \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)};$$

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot 181,09 \cdot 0,9 \cdot (12 - 1)}{1800 + (12 - 1)} = 1,98 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_{\text{н}} \quad (0,3 < 1,98).$$

Допускаемое наружное давление на корпус при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_{\text{н}} = \frac{[p]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\text{н}}}{[p]_E}\right)^2}},$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{н}} \cdot (s - C)}{D + (s - C)};$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 181,09 \cdot (12 - 1)}{1800 + (12 - 1)} = 2,2 \text{ МПа},$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости равно:

$$[p]_E = 0,42 \text{ МПа}.$$

Допускаемое наружное давление при испытаниях определяется по формуле:

$$[p]_n = \frac{2,2}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,2}{0,42}\right)^2}} = 0,41 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_n \quad (0,3 < 0,41).$$

Допускаемое внутреннее давление на днище корпуса при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot (s_d - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n}{D + 0,5 \cdot (s_d - C)};$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot (12 - 1) \cdot 0,9 \cdot 181,09}{1800 + 0,5 \cdot (12 - 1)} = 1,99 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_n \quad (0,3 < 1,99).$$

Допускаемое наружное давление на днище корпуса при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_n = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}},$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot (s_d - C)}{D + 0,5 \cdot (s_d - C)};$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 181,09 \cdot (12 - 1)}{1800 + 0,5 \cdot (12 - 1)} = 2,21 \text{ МПа},$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости равно:

$$[p]_E = 1 \text{ МПа}.$$

Допускаемое наружное давление при испытаниях определяется по формуле:

$$[p]_n = \frac{2,21}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,21}{1}\right)^2}} = 0,91 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_n \quad (0,3 < 0,91).$$

Допускаемое внутреннее давление на рубашку при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_{и} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \varphi \cdot (s_p - C)}{D_1 + (s_p - C)};$$

$$[p]_{и} = \frac{2 \cdot 181,09 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1)}{1900 + (8 - 1)} = 1,2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_{и} \quad (0,3 < 1,2).$$

Допускаемое внутреннее давление на днище рубашки при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_{и} = \frac{2 \cdot (s'_d - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{и}}{D_1 + 0,5 \cdot (s'_d - C)};$$

$$[p]_{и} = \frac{2 \cdot (8 - 1) \cdot 0,9 \cdot 181,09}{1900 + 0,5 \cdot (8 - 1)} = 1,2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_{и} \quad (0,3 < 1,2).$$

Допускаемое внутреннее давление на плоскую крышку при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_{и} = \left(\frac{s_K - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \varphi;$$

$$[p]_{и} = \left(\frac{38 - 1}{0,41 \cdot 1,01 \cdot 1800} \right)^2 \cdot 181,09 \cdot 0,9 = 0,4 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$p \leq [p]_{и} \quad (0,3 < 0,4).$$

3.6.12 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов

Допускаемые напряжения на краю элемента определяются согласно [26] по формуле:

$$[\sigma]_{кр} = 1,3 \cdot [\sigma];$$

$$[\sigma]_{кр} = 1,3 \cdot 146,5 = 190,45 \text{ МПа.}$$

Уравнения совместности деформаций для места стыка обечайки с коническим днищем имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u &= \Delta_p^s + \Delta_{Q_0}^s + \Delta_{M_0}^s, \\ \theta_p^u - \theta_{Q_0}^u + \theta_{M_0}^u &= -\theta_p^s - \theta_{Q_0}^s - \theta_{M_0}^s, \end{aligned} \right\}$$

где $\Delta_p^u, \Delta_{Q_0}^u, \Delta_{M_0}^u, \theta_p^u, \theta_{Q_0}^u, \theta_{M_0}^u$ -соответственно радиальные и угловые перемещения края цилиндрической оболочки под действием нагрузок p, Q_0, M_0 ;

$\Delta_p^s, \Delta_{Q_0}^s, \Delta_{M_0}^s, \theta_p^s, \theta_{Q_0}^s, \theta_{M_0}^s$ -соответственно радиальные и угловые перемещения края конической оболочки под действием нагрузок p, Q_0, M_0 .

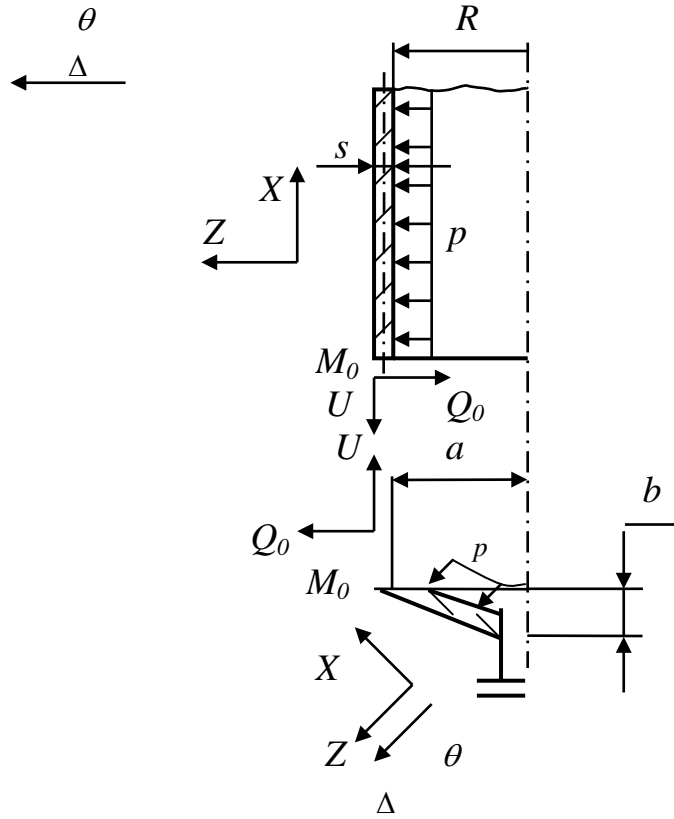


Рисунок 3.5 – Расчетная схема соединения цилиндрической обечайки с коническим дном

Подставляя значения деформаций из [26], получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(2-\mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s-C)} \cdot p - \frac{2\beta \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C)} \cdot M_0 &= \frac{p \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot (s_\delta - C)} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) + \\ \frac{2 \cdot \beta_\delta \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta_\delta^2 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot M_0, \\ -\frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot M_0 &= -\frac{2 \cdot \beta_\delta^2 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta_\delta^3 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot M_0, \end{aligned} \right\}$$

$$\text{где } \beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{R \cdot (s - C)}};$$

$$\beta_\delta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{a \cdot (s_\delta - C)}};$$

$$a = R = \frac{D}{2};$$

$$b = \frac{D}{4};$$

$$a = R = 900 \text{ мм};$$

$$b = 450 \text{ мм};$$

$$\beta = \beta_\delta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{900 \cdot (12 - 1) \cdot 10^{-6}}} = 12,91 \text{ м}^{-1}.$$

Подставляя эти значения, определяем Q_0 и M_0 :

$$Q_0 = 0,012 \text{ МН/м};$$

$$M_0 = 0 \text{ МН} \cdot \text{м/м}.$$

Суммарные напряжения на краю конического днища:

меридиональное

$$\sigma_{m\delta} = \sigma_{m\delta}^p + \sigma_{m\delta}^{Q_0} + \sigma_{m\delta}^{M_0} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot (s_\delta - C)} \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s_\delta - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,9}{2 \cdot (0,012 - 0,001)} = 12,27 \text{ МПа};$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{t\delta} &= \sigma_{t\delta}^p + \sigma_{t\delta}^{Q_0} + \sigma_{t\delta}^{M_0} = \frac{p \cdot a \cdot \left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_\delta - C)} + \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta_\delta \cdot a}{(s_\delta - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta_\delta^2 \cdot a}{(s_\delta - C)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s_\delta - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,9 \cdot \left(2 - \frac{0,9^2}{0,45^2}\right)}{2 \cdot (0,012 - 0,001)} + \frac{2 \cdot 0,012 \cdot 12,91 \cdot 0,9}{(0,012 - 0,001)} = 0,81 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки:

меридиональное

$$\sigma_{m0} = \sigma_{m0}^p - \sigma_{m0}^{Q_0} + \sigma_{m0}^{M_0} = \frac{p \cdot R}{2 \cdot (s - C)} \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,9}{2 \cdot (0,012 - 0,001)} = 12,27 \text{ МПа};$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{t0} &= \sigma_{t0}^p - \sigma_{t0}^{Q_0} + \sigma_{t0}^{M_0} = \frac{p \cdot R}{(s - C)} - \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot R}{(s - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot R}{(s - C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s - C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,9}{(0,012 - 0,001)} - \frac{2 \cdot 0,012 \cdot 12,91 \cdot 0,9}{(0,012 - 0,001)} = -0,81 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Максимальное напряжение на краю:

конического днища

$$\begin{aligned} \sigma_{\max \delta} &= \max \{ \sigma_{m\delta}; \sigma_{t\delta} \} = \max \{ 12,27; 0,81 \} = 12,27 \text{ МПа}; \\ \sigma_{\max \delta} &\langle 1,3 \cdot [\sigma] (12,27 \langle 190,45); \end{aligned}$$

цилиндрической обечайки

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \max \{ \sigma_{m0}; \sigma_{t0} \} = \max \{ 12,27; -0,81 \} = 12,27 \text{ МПа}; \\ \sigma_{\max} &\langle 1,3 \cdot [\sigma] (12,27 \langle 190,45). \end{aligned}$$

Таким образом, условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется.

3.6.13 Расчет мешалки

После выбора и расчета основных размеров мешалки определяется мощность, потребляемая на перемешивание, для чего используются критериальные уравнения мощности K_N от модифицированного критерия Рейнольдса Re_M и конструктивных особенностей перемешивающего устройства

$$K_N = f(Re_M),$$

$$Re_M = \frac{\rho_{жс} \cdot n \cdot d^2}{\mu_{жс}},$$

где $\rho_{ж}$ - плотность перемешиваемой жидкости, $кг/м^3$;
 n - скорость вращения мешалки, $с^{-1}$;
 d - диаметр мешалки, $м$;
 $\mu_{жс}$ - динамический коэффициент вязкости мешалки.

$$Re = \frac{1050 \cdot 3 \cdot 0,54^2}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 1275750.$$

Согласно [19] $K_N = 0,5$.

Расчетная мощность, потребляемая на перемешивание жидкости, определяется по формуле:

$$N_M = K_N \cdot \rho_{жс} \cdot n^3 \cdot d^5;$$

$$N_M = 0,5 \cdot 1050 \cdot 3^3 \cdot 0,54^5 = 261,6 \text{ Вт}.$$

Мощность привода мешалки рассчитывается по формуле:

$$N_{np} = \frac{k_n \cdot k_y \cdot \sum k_i \cdot N_M}{\eta},$$

где k_n - коэффициент, учитывающий наличие перегородок;
 $k_n = 1,25$ - для аппаратов без перегородок;
 k_y - коэффициент, учитывающий высоту уровня жидкости в аппарате;

$$k_y = \left(\frac{H_{жс}}{D} \right)^{0,5};$$

$$k_y = \left(\frac{2,148}{1,8} \right)^{0,5} = 1,09;$$

k_i - коэффициент, учитывающий наличие в аппарате внутренних устройств;
 $k_i = 1,1 \dots 1,2$ - при наличии гильзы термомпары, трубы переливания или уровнемера;
 η - к. п. д. привода мешалки;
 $\eta = 0,85 \dots 0,9$.

$$H_{жс} = H_{аппарата} \cdot \varphi;$$

$$H_{жс} = (2,175 + 0,450 + 0,06) \cdot 0,8 = 2,148 \text{ м};$$

$$N_{np} = \frac{1,25 \cdot 1,09 \cdot 1,2 \cdot 261,6}{0,85} = 503,19 \text{ Вт}.$$

По рекомендациям [20] выбираем мотор-редуктор МПз-32,35-180 с номинальной мощностью 2,2 кВт, частотой вращения

$$n_{ном} = 180 \text{ об/мин}$$

(электродвигатель 4АХ90L4РЗ), масса мотор-редуктора 45 кг.

Расчетный крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{кр} = \frac{N_{np}}{\omega};$$

$$M_{кр} = \frac{2200}{18,84} = 116,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Минимальный диаметр вала рассчитывается по формуле:

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{[\tau]}}$$

где $[\tau]$ - допускаемое напряжение на кручение для материала вала, Па.

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{116,8}{50 \cdot 10^6}} = 0,025 \text{ м.}$$

3.6.14 Расчет вертикального вала

Для определения диаметра консольного вала произведем его расчет на виброустойчивость, жесткость и прочность согласно [26].

Исходные данные для расчета вертикального вала сведены в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Исходные данные для расчета вертикального вала

Длина вала, мм	2700
Координаты центра тяжести мешалки, мм	2100
Координаты опасных сечений, мм:	
по жесткости	200
по прочности	200
Угловая скорость вращения вала, рад/с	18,85
Материал вала	Сталь 15ХМ
Диаметр мешалки, м	0,45
Масса мешалки, кг	30
Мощность, передаваемая валом, кВт	2,2
Рабочая температура, °С	80

3.6.14.1 Расчет вала на виброустойчивость

Для виброустойчивого вала выполняется условие:

$$\omega/\omega_{кр} \leq 0,7,$$

где $\omega_{кр}$ – критическая скорость вращения вала, рад/с.

Диаметр вала в опорном сечении В с учетом его собственной массы и массы мешалки определяется по формуле:

$$d_B = \sqrt{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}};$$

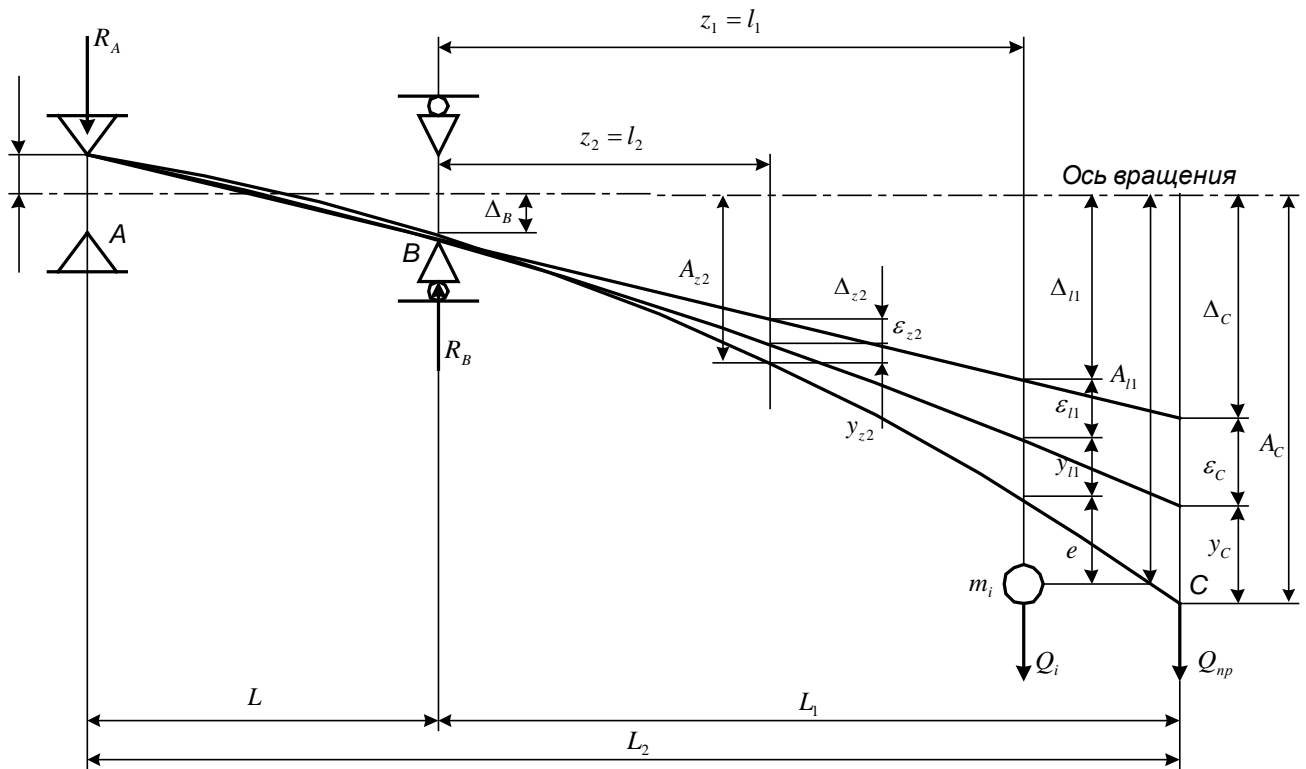
$$A_5 = 0,25 \cdot \xi \cdot L_1^2;$$

$$A_6 = \frac{8 \cdot m_M \cdot \xi \cdot L_1}{\pi \cdot \rho},$$

где ξ - безразмерный коэффициент, учитывающий приведенную массу вала;

$$\xi = \frac{16 \cdot \rho \cdot \omega^2 L_1 \cdot L_2}{3 \cdot E};$$

m_M – масса мешалки, кг.



$$\xi = \frac{16 \cdot 7850 \cdot 18,85^2 \cdot 2,1 \cdot 2,7}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 4,217 \cdot 10^{-4};$$

Рисунок 3.6 – Смещение оси консольного вала и центра сосредоточенной на нем массы

$$A_5 = 0,25 \cdot 4,217 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1^2 = 4,65 \cdot 10^{-4};$$

$$A_6 = \frac{8 \cdot 30 \cdot 4,217 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1}{3,14 \cdot 7850} = 8,623 \cdot 10^{-6}.$$

Тогда

$$d_B = \sqrt{4,65 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(4,65 \cdot 10^{-4})^2 + 8,623 \cdot 10^{-6}}} = 0,059 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 0,06 \text{ м}$.

Критическая скорость вала с учетом собственной массы определяется по формуле:

$$\omega_{кр1} = \frac{\alpha_1^2}{L_1^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_n}},$$

где α_1 - корень частотного уравнения;

I - момент инерции сечения вала, м^4 ;

m_n - масса единицы длины вала, кг/м .

$$m_n = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,06^2 \cdot 7850}{4} = 22,18 \text{ кг/м};$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,06^4}{64} = 6,36 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Корень частотного уравнения равен [26]:

$$\alpha_1 = f(L/L_1) = f(0,238) = 1,74.$$

Тогда

$$\omega_{кр1} = \frac{1,74^2}{2,1^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 6,36 \cdot 10^{-7}}{22,18}} = 51,99 \text{ рад/с}.$$

Проверим условие виброустойчивости:

$$\omega/\omega_{кр} = 18,85/51,99 = 0,36 \leq 0,7.$$

3.6.14.2 Расчет вала на жесткость

Относительная координата центра тяжести перемешивающего устройства составляет:

$$\bar{l}_1 = l_1/L_2 = 2,1/2,1 = 1.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре тяжести перемешивающего устройства [26]:

$$\bar{y}_{z1} = \bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1) = f(1) = 1.$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения в месте установки уплотнения вала равна:

$$\bar{z}_2 = z_2/L_2 = 0,2/2,1 = 0,095.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$\bar{y}_{z2} = \bar{y}_{l2} = f(\bar{z}_2) = f(0,095) = 0,025.$$

Эксцентриситет массы мешалки составляет:

$$e = 10^{-3}/\sqrt{\omega} = 10^{-3}/\sqrt{18,85} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Приведенная масса консольного вала равна:

$$m_{в.пр} = 0,5 \cdot m_n \cdot L_2 = 0,5 \cdot 22,18 \cdot 2,1 = 23,29 \text{ кг}.$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах составляет в месте установки мешалки

$$\Delta_{l1} = \Delta_{z1} = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (l_1 + L)/L - \Delta_A,$$

где Δ_A – зазор в верхней опоре (подшипнике), мм; $\Delta_A = 0,03 \cdot 10^{-3}$ м [26];

Δ_B – зазор в нижней опоре (подшипнике), мм; $\Delta_B = 0,03 \cdot 10^{-3}$ м [26].

$$\Delta_{l1} = \Delta_{z1} = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (2,1 + 0,5)/0,5 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

в месте установки уплотнения вала

$$\Delta_{z2} = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (z_2 + L)/L - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,2 + 0,5)/0,5 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала (радиальное биение вала) составляет:

в месте установки мешалки

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_{z1} = \varepsilon_C \cdot \bar{y}_{z1},$$

где ε_C – начальная изогнутость вала в точке приведения С, принимаемая по [26]; при $L_2/d = 2,7/0,06 = 45$ $\varepsilon_C = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м;

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_{z1} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

в месте установки уплотнения вала

$$\varepsilon_{l2} = \varepsilon_{z2} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 0,025 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения С за счет зазоров в опорах составляет:

$$\Delta_C = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot L_2/L_1 - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,7/2,1 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 4,71 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с мешалкой составляет:

$$e_{np} = \frac{m_M \cdot e}{m_M + m_{г.нп}} + \Delta_C + \varepsilon_C = \frac{30 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4}}{30 + 23,29} + 4,71 \cdot 10^{-5} + 0,05 \cdot 10^{-3} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения С равен:

$$y_C = \frac{e_{np}}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1} = \frac{2,26 \cdot 10^{-4}}{(51,99/18,85)^2 - 1} = 3,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Динамическое смещение центра тяжести мешалки составляет:

$$A_{l1} = y_C \cdot \bar{y}_{l1} + \varepsilon_{l1} + \Delta_{l1} + e = 3,42 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 0,05 \cdot 10^{-3} + 2,82 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-4} = 5,96 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Динамическое смещение оси вала в опасном по жесткости сечении в месте установки уплотнения вала составляет:

$$A_{z2} = y_C \cdot \bar{y}_{l2} + \varepsilon_{l2} + \Delta_{l2} = 3,42 \cdot 10^{-5} \cdot 0,025 + 1,25 \cdot 10^{-6} + 5,4 \cdot 10^{-5} = 5,61 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Динамическое смещение вала в точке приведения С равно:

$$A_C = y_C + \varepsilon_C + \Delta_C = 3,42 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5} + 4,71 \cdot 10^{-5} = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Проверим условие жесткости:

$$A_{z2} \leq [A]_{z2},$$

где $[A]_{z2}$ – допускаемое смещение вала в зоне уплотнительного устройства.

Согласно [26] для сальникового уплотнения $[A]_{z2} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

$$5,61 \cdot 10^{-5} \text{ м} < 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

3.6.14.3 Расчет на прочность

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалку, рассчитывается по формуле:

$$F = m_M \cdot \omega^2 \cdot A_{l1} = 30 \cdot 18,85^2 \cdot 5,96 \cdot 10^{-4} = 6,35 \text{ Н}.$$

Приведенная центробежная сила, действующая в точке приведения С, от собственной массы вала:

$$F_{e.нр} = m_{e.нр} \cdot \omega^2 \cdot A_C = 23,29 \cdot 18,85^2 \cdot 1,31 \cdot 10^{-4} = 1,08 \text{ Н}.$$

Реакции опор определяются по формуле:

$$R_A = \frac{(F + F_{e.нр}) \cdot L_1}{L} = \frac{(6,35 + 1,08) \cdot 2,1}{0,5} = 31,25 \text{ Н};$$

$$R_B = \frac{(F + F_{e.нр}) \cdot L_2}{L} = \frac{(6,35 + 1,08) \cdot 2,7}{0,5} = 40,18 \text{ Н}.$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении равен:

$$M_{и.в} = (F + F_{e.нр}) \cdot L_1 = (6,35 + 1,08) \cdot 2,1 = 15,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления сечения в опасном по прочности сечении равен:

$$W_e = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,06^3}{32} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Эквивалентное напряжение в этом сечении определяется по формуле:

$$\sigma_{эkv.з2} = \frac{\sqrt{M_{и.в}^2 + M_{к.в}^2}}{W_e} = \frac{\sqrt{15,6^2 + 116,7^2}}{2,12 \cdot 10^{-5}} = 5,55 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Допускаемое напряжение в опасном по прочности сечении равно:

$$[\sigma]_B = \frac{\varepsilon_M \cdot \sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot n_{min}},$$

где K_σ - эффективный коэффициент концентрации напряжений; $K_\sigma = 1,3$ [26];

n_{min} - минимальный запас прочности вала; $n_{min} = 2$;

ε_M - масштабный фактор; $\varepsilon_M = 0,8$ [26];

σ_{-1} - предел выносливости материала; $\sigma_{-1} = 200 \text{ МПа}$.

$$[\sigma]_B = \frac{0,8 \cdot 2 \cdot 10^8}{1,3 \cdot 2} = 61,5 \text{ МПа}.$$

Проверим условие прочности:

$$\sigma_{эkv.в} \leq [\sigma]_B \quad (5,55 \text{ МПа} < 61,5 \text{ МПа}).$$

Таким образом, консольный вал диаметром 60 мм и длиной 2700 мм при заданной нагрузке является виброустойчивым, прочным и достаточно жестким в опасных сечениях.

3.6.15 Подбор фланцев

Для корпуса и рубашки аппарата принимаем стандартный плоский приварной фланец [15] с гладкой уплотнительной поверхностью. Конструкция фланца приведена на рисунке 3.7.

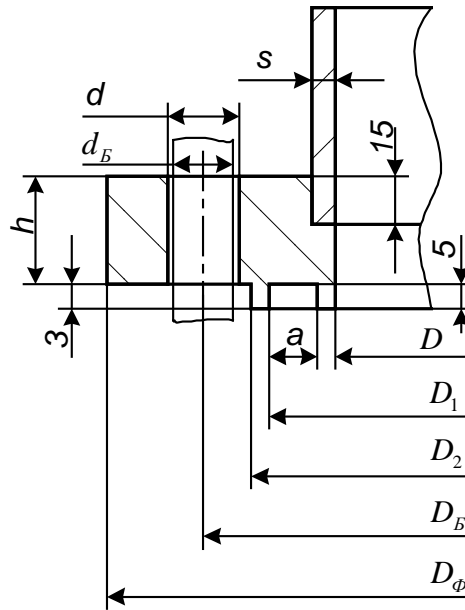


Рисунок 3.7 – Фланец для корпуса аппарата

Таблица 3.10 – Фланец для корпуса аппарата стальной плоский приварной, мм

$p, \text{МПа}$	D	D_ϕ	D_B	D_1	D_2	D_3	h	a	d	d_B	z
0,3	1800	1930	1890	1848	1860	1845	23	17,5	23	M20	64

3.6.16 Подбор опор

Нагрузка, действующая на опоры, рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned}
 P &= (m_{\text{обечайки}} + m_{\text{рубашки}} + m_{\text{вала}} + m_{\text{мешалки}} + m_{\text{крышки}} + \\
 &+ m_{\text{привода}} + m_{\text{раствора}} + \sum m_{\text{днища}}) \cdot g; \\
 P &= (1429,54 + 393,21 + 8,635 + 30 + 847,8 + 85 + \\
 &+ 5463,233 + 200,6) \cdot 9,81 = 82,97 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

Опоры аппарата выбираем по ОСТ 26-665 – 79. Для аппарата принимаем количество лап $n = 4$, следовательно,

$$Q_p = \frac{P}{4} = \frac{82,97}{4} = 20,74 \text{ кН}.$$

Конструкция стандартной опоры (лапы) приведена на рисунке 3.8.

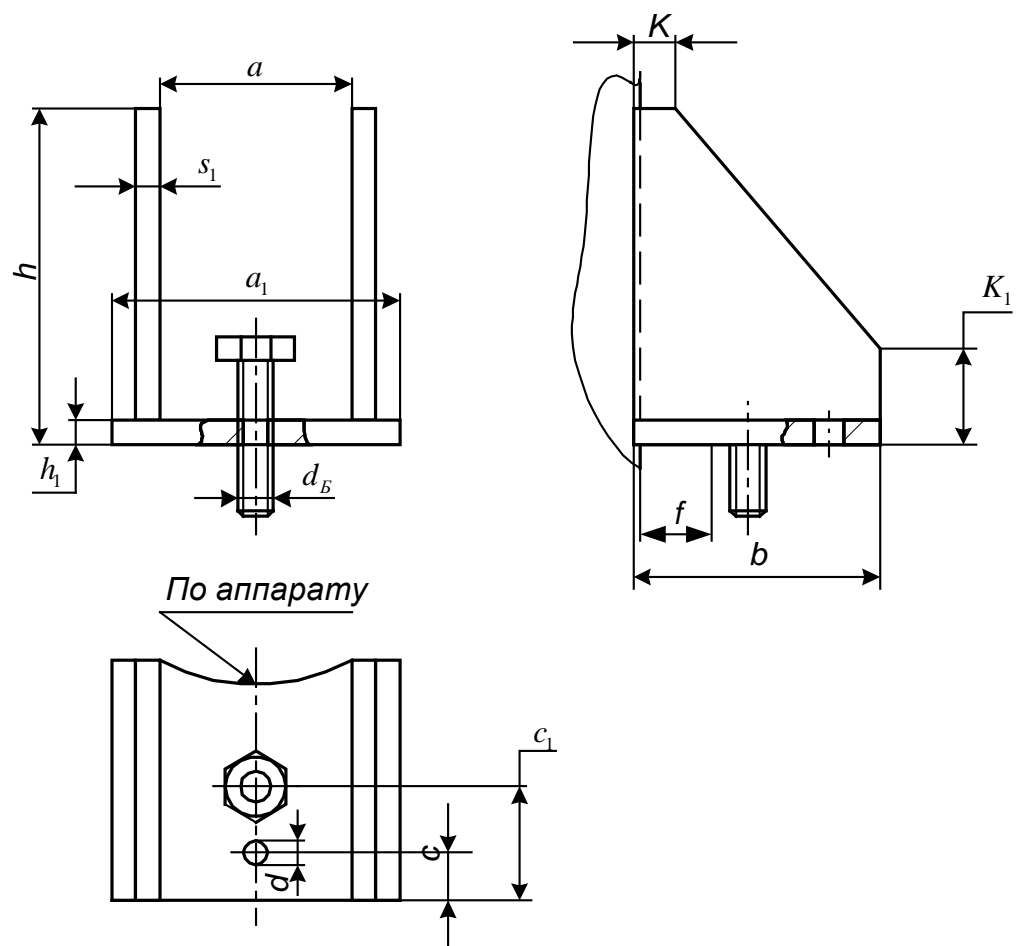


Рисунок 3.8 – Опора

Таблица 3.11 – Основные геометрические характеристики опоры аппарата, мм

$Q, \text{кН}$	h	h_1	s_1	a	a_1	f_{\max}	c	c_1	b	d	d_B	K	K_1
63	360	24	12	185	230	60	60	130	230	35	M30	35	70

Размеры накладных листов под опоры вертикальных аппаратов принимаем по [15] (таблица 3.12).

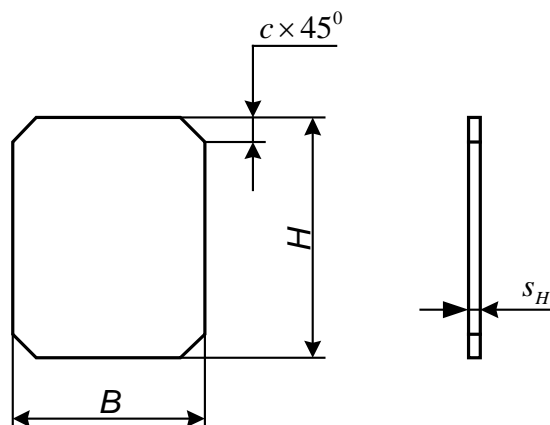


Рисунок 3.9 – Накладной лист

Таблица 3.12 – Основные геометрические характеристики накладного листа, мм

B	H	c	s_H
300	490	24	16

3.6.17 Подбор строповых устройств

Строповые устройства подбираем по [15]. Для аппарата принимаем количество строповых устройств $n = 4$, следовательно, нагрузка на одно строповое устройство составит $Q = 0,011$ МН. Конструкция стандартного стропового устройства для стальных сварных аппаратов приведена на рисунке 3.10. Характеристика стропового устройства представлена в таблице 3.13.

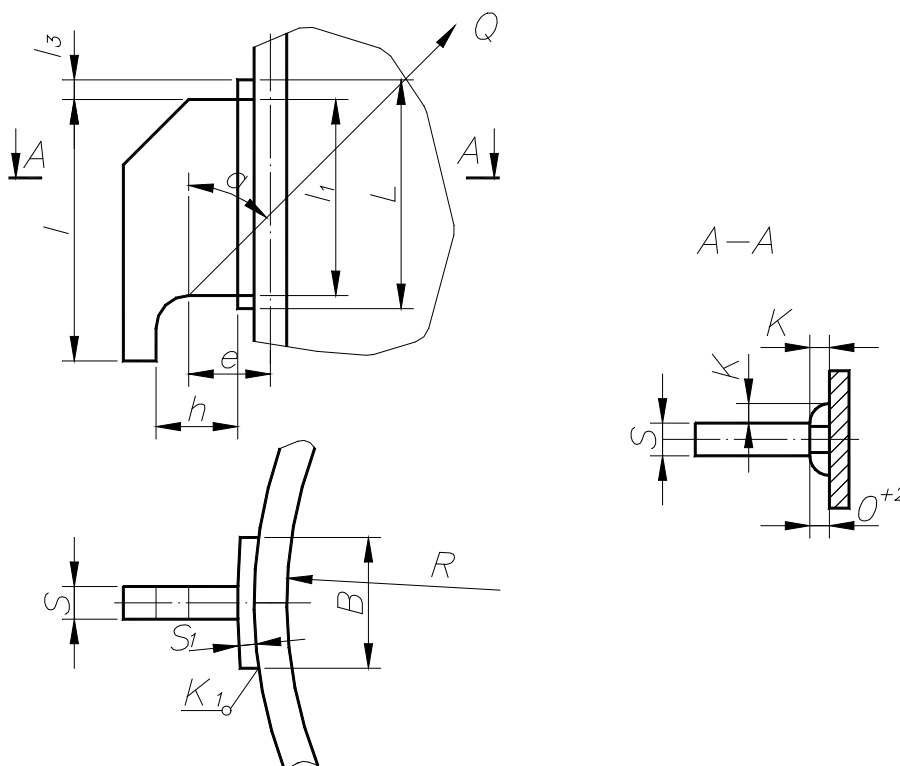


Рисунок 3.10 – Строповое устройство

Таблица 3.13 – Характеристика стропового устройства, мм

$Q, \text{МН}$	L	B	h	l	l_1	l_2	l_3	s	s_1	K	K_1
0,02	135	110	42	90	55	23,5	36	16	12	12	3

В результате проведения материального, теплового и конструкционного расчетов аппарата с перемешивающим устройством были определены его основные параметры, которые сведены в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 – Характеристика аппарата с перемешивающим устройством

Диаметр корпуса аппарата, <i>м</i>	1,8
Высота аппарата, <i>м</i>	2,51
Диаметр рубашки, <i>м</i>	1,9
Объем аппарата, <i>м</i> ³	11,16
Высота уровня жидкости, <i>м</i>	2,045
Площадь поверхности теплообмена рубашки, <i>м</i> ²	14,8
Диаметр патрубка для ввода раствора NH_4OH , <i>м</i>	0,03
Диаметр патрубка для ввода раствора $UO_2(NO_3)_2$, <i>м</i>	0,04
Диаметр патрубка для подачи греющего пара, <i>м</i>	0,08
Диаметр патрубка для вывода конденсата, <i>м</i>	0,04
Диаметр патрубка удаления продуктов, <i>м</i>	0,08
Диаметр патрубка для слива реагентов, <i>м</i>	0,15
Диаметр плоской крышки, <i>м</i>	1,93
Толщина стенки обечайки аппарата, <i>м</i>	0,012
Толщина стенки рубашки аппарата, <i>м</i>	0,004
Толщина днища аппарата, <i>м</i>	0,008
Толщина днища рубашки, <i>м</i>	0,008
Толщина плоской крышки, <i>м</i>	0,038
Диаметр мешалки, <i>м</i>	0,54
Диаметр вала мешалки, <i>м</i>	0,06
Длина вала мешалки, <i>м</i>	2,7

4 ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДОВ УРАНА

4.1 Расчет производственной мощности

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле:

$$M = P_{\text{ТЕХН}} * T_{\text{эфф.г}} * n$$

Где $P_{\text{ТЕХН}}$ – техническая норма производительности, 0,77 т/ч;

n – количество единиц оборудования, 20 шт.

В общем виде величина эффективного времени выразится следующим образом:

$$T_{\text{эфф.г}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{ППР}},$$

Где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд работы оборудования, ч;

$T_{\text{ППР}}$ – время на ремонтные простои, ч;

$T_{\text{кал}} = 8760$ (см. таблицу 4.1).

Таблица 4.1 – Годовой график ППР и ТО оборудования

Позиция	Наименование оборудования	Рабочее время, ч.
А-1	Пламенный реактор	8760
А-16	Теплообменник кожухотрубчатый	8760
А-5	электрофильтр	8760
А-9 ₁₋₃	Десублиматор	8760
А-6	АКТ	8760
	Колонная сорбционная	8760

По формуле находим эффективное время работы оборудования, принимая во внимание, что $T_{\text{ППР}} = 1860$ ч.:

$$T_{\text{эфф.г}} = 8760 - 1860 = 6900(\text{ч})$$

$$M = 0,5 * 6900 * 20 = 70000 (\text{т/год}).$$

Коэффициент экстенсивности он характеризуется использованием основного оборудования по времени:

$$K_{\text{экт}} = T_{\text{эфф.г}} \cdot T_{\text{кал}}$$

Где $K_{\text{экт}}$ – коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эфф.г}}$ – эффективное время работы оборудования, ч.;

$T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени работы оборудования, ч.

По формуле 6.2 коэффициент экстенсивности равен:

$$K_{\text{экт}} = 6900 / 8760 = 0.85.$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудования по производительности.

$$K_{\text{инт}} = P_{\text{факт}} : P_{\text{техн}}$$

Где $P_{\text{факт}}$ – фактическая производительность, кг/ч;

$P_{\text{техн}}$ – техническая норма производительности, кг/ч;

$$K_{\text{инт}} = 1416 / 1416 = 1$$

Коэффициент Парка рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{Парка}} = N_{\text{раб}} / N_{\text{уст}}$$

Где $N_{\text{раб}}$ – количество работающего оборудования, шт.;

$N_{\text{уст}}$ – количество установленного оборудования, шт.

$$K_{\text{Парка}} = 20 / 20 = 1$$

Коэффициент мощности:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{инт}} \cdot K_{\text{Парка}} \cdot K_{\text{экт}}$$

Где $K_{\text{экт}}$ – коэффициент экстенсивности;

$K_{\text{инт}}$ – коэффициент интенсивности;

$K_{\text{Парка}}$ – коэффициент парка.

$$K_{\text{м}} = 0.85 \cdot 1 \cdot 1 = 0.85$$

Годовая программа выпуска до и после производительности

$$N_{\text{год}} = K_{\text{м}} \cdot M,$$

Где $K_{\text{м}}$ – коэффициент мощности;

M – производственная мощность, т/год.

$$N_{\text{год}1} = 70000 \cdot 0.85 = 60000 (\text{т/год}).$$

$$N_{\text{год}2} = 0.98 \cdot 70000 = 69000 (\text{т/год}).$$

4.2 Режим работы

Производство работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно заводским данным график сменности является четырехбригадная. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работы, А, Б, В, Г – условное обозначение бригад. Основные рабочие на производстве работают в двухсменном режиме, первая смена работает с 8.00ч. до 20.00 ч., а вторая смена работает с 20.00ч. до 8.00 ч. Основные рабочие работают вахтовым методом. Первая вахта работает с 3 числа по 18 число текущего месяца, а вторая группа вахтовиков работает с 19 числа по 2 число следующего месяца.

График двухсменного четырехбригадного режима работы на май 2016 года приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – График режима работы смен на май 2016 г.

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

Таблица 4.2.1 – Штатное расписание

Наименование должности, профессии	Категория	Разряд	Кол. штат. ед.	ставка	МФЗП
1	2	3	4	5	6
РУКОВОДСТВО					
1. Начальник ЛГКС	ИТР	16	1	Контракт	
2. Главный инженер	ИТР	16	1	Контракт	
3. Зам. начальника по сбору	ИТР	15	1	Контракт	
4. Зам. начальника по сбору и транспорту газа	ИТР	15	1	Контракт	
5. Референт – переводчик	ИТР	8	6	1473	26516
Итого по руководству			10		26516
ГРУППА ОТ, ПБ и ЭКОЛОГИИ					
6. Зам. гл. инженера	ИТР	14	1	2025	5148

7. Инженер по ТБ и экологии 1 категории	ИТР	11	1	1731	4500
8. Инженер по ГО и ЧС 2 категории	ИТР	10	1	1648	4944
Итого по группе ОТ, ПБ и экологии			3		14592
ГАЗОСПАСАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ					
9. Начальник ГСС	ИТР	14	1	2025	5148
10. Командир отделения	ИТР	12	4	18055	21660
Итого по ГСС			5		26808
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА					
11. Оператор пульта управления	ОР	4	5	7.24	25163

12. Начальник службы	ИТР	15	1	2150	6450
13. Начальник смены	ИТР	11	5	1731	22503
14. Инженер ЭВМ 1 категории	ИТР	10	2	1648	10830
15. Инженер программист 1 категории	ИТР	10	2	1648	10830
Итого по производственно-диспетчерской службе			15		75776
УЧАСТОК ПОДГОТОВКИ ГАЗА					
16. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
17. Инженер технолог 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
18. Инженер – механик 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
19. Оператор технологических установок	ОР	5	10	9.8	56349
Итого по участку подготовки газа			15		79499
УЧАСТОК КОМПРИМИРОВАНИЯ ГАЗА					
20. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
21. Ведущий инженер технолог	ИТР	13	1	1912	5736
22. Инженер технолог 1 категории	ИТР	12	1	1805	5415
23. Инженер механик 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
24. Машинист технологического компрессора	ОР	5	8	9.8	47351
25. Машинист технологического компрессора 3 ступени	ОР	5	10	9.8	56349
Итого по участку подготовки газа			23		129000
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ					
26. Нач. лабораторией	ИТР	12	2	1731	4500
27. Лаборант химического анализа	ВСП	4	8	7.24	39148
Итого по центральной лаборатории			10		43648
ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКАЯ СЛУЖБА					
28. Начальник службы	ИТР	15	1	2150	6450

29. Главный энергетик	ИТР	15	1	2150	6450
30. Старший мастер по защите трубопроводов от коррозии	ИТР	12	1	1805	5415
Итого по ЭМС			3		18315
УЧАСТОК ЭНЕРГОСРЕДСТВ					
31. Инженер–энергетик	ИТР	10	2	1648	10830
Итого по участку энергосредств			2		10830
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УЧАСТОК					
32. Мастер	ИТР	10	2	1731	9001
33. Старший мастер	ИТР	13	1	1912	5736
34. Электрослесарь по ремонту оборудования	ВСП	5	6	7.24	27542
Итого по электротехническому участку			9		42279
УЧАСТОК КИП и А, СВЯЗИ					
35. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
36. Ведущий инженер – метролог	ИТР	14	1	2025	5148
37. Мастер КА и Т	ИТР	13	1	1912	5736
38. Мастер КИП и А, связи	ИТР	11	2	1731	9001
39. Наладчик КИП и А	ВСП	6	8	12.08	47365
40. Слесарь КИП и А	ВСП	5	6	9.08	38844
Итого по участку КИП и А, связи			19		111242
БАЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ					
41. Начальник БПО	ИТР	14	1	2025	5148
УЧАСТОК ПО РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ					
42. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
43. Слесарь по ремонту ТУ	ВСП	5	10	9.08	48349
44. Слесарь–электрик по ремонту электрооборудования	ВСП	5	4	9.08	25543
45. Электрогазосварщик	ВСП	6	2	12.08	11348
46. Токарь	ВСП	6	2	12.08	11348
БАЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ					
47. Мастер по ремонту ТУ	ВСП	11	2	1731	9001
48. Мастер по ремонту электрооборудования	ВСП	5	4	9.08	25543
ТРАНСПОРТНЫЙ УЧАСТОК					
49. Старший механик	ИТР	11	2	1731	9001
50. Водитель	МОП	4	2	7.24	9126
51. Машинист крана автомобильного	ОР	6	2	12.08	11348
52. Инженер 2 кат.	ИТР	10	1	1648	5420
53. Грузчик	МОП	4	2	7.24	9126
54. Стропальщик	МОП	4	2	7.24	8873
55. Кладовщик	МОП	4	2	7.24	8873
56. Уборщик производственных помещений	МОП	1	4	2.59	9146
57. Уборщик служебных помещений	МОП	1	2	2.59	4573
Итого по БПО			45		216914
УЧАСТОК ПАРОВОДОСНАБЖЕНИЯ					

58. Оператор ТУ	ОР	6	2	12.08	11348
59. Слесарь – сантехник	ВСП	5	4	9.08	24155
60. Машинист насосных установок	ОР	5	4	9.80	24155
Итого по участку пароводоснабжению			10		59658
ГАЗОСПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА					
61. Газоспасатель-водитель	ВСП	5	8	9.8	51143
62. Газоспасатель 2 класса	ВСП	4	8	7.24	29374
63. Газоспасатель 1 класса	ВСП	5	6	9.8	38844
Итого по ГСС			22		119361
Итого			191		974438

Для расчета эффективного фонда рабочего времени составим баланс времени одного среднесписочного рабочего.

Эффективное количество часов работы одного среднесписочного рабочего определяется:

$$T_{\text{эфф.раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пл.пот}} ,$$

Где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, человек; $T_{\text{кал}} = 8760\text{ч}$.

$T_{\text{пл.пот}}$ – время плановых потерь, ч.;

$T_{\text{вых}}$ – число нерабочих часов в выходные дни, ч.

На производстве организованы две вахты по 2 смены каждая. Каждая смена работает 12 часов с компенсацией за работу в выходные дни. Это достигается применением четырех бригадного графика сменности.

Длительность сменоборота

$$T_{\text{см.об}} = a * b ,$$

Где $T_{\text{см.об}}$ – длительность сменоборота, дней;

a – количество бригад, шт;

b – число дней, в течение которых бригада работает в одну смену, дн.;

Количество выходных дней, в течение которых бригада работает в одну смену:

$$T_{\text{вых}} = T_{\text{кал}} / T_{\text{см.об}} * n ,$$

Где $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней;

$T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$T_{\text{см.об}}$ – длительность сменоборота, дней;

n – количество выходных дней за сменоборот, дней.

Одна смена работает 15 дней: один день залетают, один день вылета.

$$T_{\text{вых}} = 365 / 8 * 3 = 137 \text{ (дней)}$$

Продолжительность рабочих смен в сменобороте находим по следующей формуле:

$$T_{\text{раб.см}} = t_{\text{см}} - t_{\text{вых}},$$

$T_{\text{дет см}}$ – продолжительность рабочих смен в сменобороте, дней;

$t_{\text{вых}}$ – количество выходных дней, дней.

$$T_{\text{раб.см}} = 8 - 3 = 5$$

Находим номинальный фонд рабочего времени.

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} * T_{\text{раб.см}} / t_{\text{см}},$$

$$T_{\text{раб}} = 365 * 5 : 8 = 228 \text{ (дней)}$$

Находим количество персонала (производственного) работающего посменно:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{шт}} * S,$$

где $N_{\text{яв}}$ – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек;

$N_{\text{шт}}$ – штатное количество человек, работающих в смену, человек;

S – число смен, $S = 4$.

$$N_{\text{яв}} = 32 * 4 = 128 \text{ (человек)}$$

Списочная численность:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} * K_{\text{пер}},$$

где $K_{\text{пер}}$ – коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{эфф.об.}} / T_{\text{эфф.раб}}$$

где $T_{\text{эфф.об.}} = 6900$ (см. таблицу 4.2);

Таблица 4.2.2 Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени, $T_{\text{кал}}$	365	8760
2	Выходные дни, $T_{\text{вых}}$	137	3288
3	Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{раб}}$	228	5472
4	Очередные и дополнительные отпуска	36	864
5	Невыходы по болезни	7	168
6	Выполнение государственных обязанностей	1	24
7	Отпуск по учебе без отрыва от производства	1	24
8	Итого по отпуску	45	1080
9	Эффективный фонд рабочего времени	183	4392

$T_{\text{эфф.раб.}}$ – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.;

$$T_{\text{эфф.раб.}} = 4392$$

$$K_{\text{пер}} = 6900 / 4392 = 1,57.$$

По формуле списочная численность равна:

$$N_{\text{сп}} = 128 * 1,57 = 200 \text{ (человек).}$$

4.3 Организация оплаты труда

В нефтегазодобывающем управлении оплата труда рабочих повременно–премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов (семнадцатиразрядная сетка) и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% и в вечернее время на 20%.

Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

На месторождении выплачивается надбавка в размере 75% взамен суточных.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам – в размере двойной часовой тарифной ставки.

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки.

Для примера приведен расчет месячной заработной платы операторов технологических установок 4 разряда участка подготовки газа (10 человек).

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{р.к.}} + D_{\text{сут}} + D_{\text{усл.тр}}$$

Где $Z_{\text{тар}}$ – тарифная ЗП, руб.;

$D_{\text{ноч}}$ – доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{\text{празд}}$ – доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{\text{прем}}$ – премиальная ЗП, руб.;

$D_{\text{р.к.}}$ – районный коэффициент, руб.;

$D_{\text{сут}}$ – доплата взамен суточных, руб.;

$D_{\text{усл.тр}}$ – компенсационная доплата за условия труда, руб.;

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} * T_{\text{фак}} * N,$$

Где $T_{\text{ст}}$ – тарифная ставка данной категории рабочих, руб./ч;

$T_{\text{ст}} = 7,24$ руб.

$T_{\text{фак}} = 194$ ч. за смену (см. табл.7.2);

N – количество рабочих данной категории, человек; $N = 10$ чел.

$$Z_{\text{тар}} = 7,24 * 194 * 10 = 14045,6 \text{ (руб.)}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 * T_{\text{ст}} * T_{\text{ноч}} * N,$$

Где $T_{\text{ст}}$ – почасовая тарифная ставка, руб.;

$$\text{Дноч} = 0,4 * 14045,6 = 5618,24 \text{ (руб.)}$$

Доплата в праздничные дни:

$$\text{Дпразд} = \text{Тпразд} * \text{Тст} * 2 * \text{Н};$$

Где Тпразд – количество часов, отработанное в праздники, ч;

(1 и 9 мая – $\text{Тпразд} = 24$ часа)

$$\text{Дпразд} = 24 * 7,24 * 2 * 10 = 3475,2 \text{ (руб.)}$$

Премияльная ЗП:

$$\text{Дпрем} = \text{Зтар} * \text{Прем} / 100 \%$$

Где Зтар – тарифная ЗП, руб.;

Прем – Премияльные, % за май 2009 года = 20%

$$\text{Дпрем} = 14045,6 * 20 / 100 = 2809,12 \text{ (руб.)}$$

Районный коэффициент:

$$\text{Др.к.} = 0,5 (\text{Зтар} + \text{Дноч} + \text{Дпразд} + \text{Дпрем})$$

$$\text{Др.к.} = 0,5 (14045,6 + 5618,24 + 3475,2 + 2809,12) = 12974,58 \text{ (руб.)}$$

Доплата взамен суточных:

$$\text{Дсут} = \text{Зтар} * 75 : 100,$$

$$\text{Дсут} = 0,75 * 14045,6 = 10534,2 \text{ (руб.)}$$

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$$\text{Дусл.тр} = \text{Зтар} * 10 : 100,$$

$$\text{Дусл.тр} = 14045,6 * 0,1 = 1404,56 \text{ (руб.)}$$

Итак, по формуле основная заработная плата 10 операторов технологических установок узла подготовки газа за май месяц 2009г. составит:

$$\text{Зосн} = 14045,6 + 5618,24 + 3475,2 + 2809,12 + 12974,58 + 10534,2 + 1404,56 = 50861,50 \text{ (руб.)}$$

$$\text{ЗП} = \text{Зосн} + \text{Здоп},$$

Где Зосн – основная ЗП, руб.;

Здоп – дополнительная ЗП, руб.;

$$\text{Здоп} = \text{Зосн} * \text{К} / \text{Ткал},$$

Где К – число законных невыходов, дней;

Ткал – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$\text{Здоп} = 50861,5 * 45 / : 365 = 6270,6 \text{ (руб.)}.$$

Заработная плата 10 операторов технологических установок за 1 месяц составит:

$$\text{ЗП} = 6270,6 + 50861,5 = 57132,1 \text{ (руб.)}.$$

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 4.3.1

Таблица 4.3.1 – Фонд заработной платы

№	Наименование	Численность	МФЗП, руб.	ГФЗП, руб.
1	Инженерно-технические работники (ИТР)	58	265111	3181332
2	Основные рабочие (ОР)	41	232063	2784756
3	Вспомогательные рабочие (ВСР)	78	427547	5130564
4	Младший обслуживающий персонал (МОП)	14	49717	596604
5	Итого по ЛГКС	191	974438	11693256

4.4 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений

В качестве сырья используется тетрафторид урана, окислы урана, подающихся с помощью пневмотранспорта.

В таблице 4.4.1 приведена структура основных фондов

Таблица 4.4.1 – Структура основных производственных фондов

№	Наименование ОПФ	Стоимость ОПФ, тыс. руб.	% к общей стоимости ОПФ, %	На, %	Амортизационные отчисления, тыс. руб.	Текущий ремонт, %	Капитальный ремонт, %
1	Здания	175000	81,56	4	7000	3,2	6,3
2	Сооружения	36000	3,87	4	1440		
3	Инструменты и	51000	5,48	14	7140		

	инвентарь						
	Итого здания, сооружения и инвентарь	262000	90,11		15580	8384	16506
4	Производственное оборудование	154000	9,09	12	1016,6	6,3	8,2
	Итого производственное оборудование	154000			1016,6	9702	12628

Рассмотрим принцип расчета амортизационных отчислений на май месяц 2015 года на примере производственного оборудования:

$$A_r = N_a * \Phi_{\text{восст}} / 100,$$

Где N_a – норма амортизационных отчислений, %.

Для производственного оборудования годовая $N_a = 12$ %;

$\Phi_{\text{восст}}$ – полная восстановительная стоимость производственного оборудования, руб.

$$\Phi_{\text{восст}} = 154000 \text{ тыс. руб.}$$

$$A_r = 12 * 154000 / 100 = 1540 \text{ тыс. руб.}$$

Сумма месячных амортизационных отчислений производственного оборудования составляет:

$$A_{\text{гм}} = A_r : 12,$$

$$A_{\text{гм}} = 1540 : 12 = 128,3 \text{ тыс. руб.}$$

Аналогично рассчитывается сумма месячных амортизационных отчислений для любых видов основных средств с учетом их норм амортизации и полной восстановительной стоимости.

4.5 Расчет себестоимости

Расчет себестоимости гексафторида урана при годовом производственном выпуске $M_{пр} = 60000$ т приведен в таблице 4.5.1.

Таблица 4.5.1 - Себестоимость продукции товарного газа при годовом выпуске 60000 т.

№	Статьи затрат	Единица измерения	Цена, тыс. руб	Расход		Затраты, тыс. руб.	
				Норма расхода, на т	на Nгод (2 x $M_{пр}$)	на т (столбец 1 x 2 или 5/ $M_{пр}$)	на Nгод (4 x $M_{пр}$)
			1	2	3	4	5
1	Сырьё, материалы и катализаторы						
1.1.	тетрафторид урана	тн	1050	0,27	16200	283,5	$17010 \cdot 10^3$
1.2	окись урана	тн	600	0,97	58200	582,0	$34920 \cdot 10^3$
1.3	фтор	тн	836	1,57	94200	1312,5	$78750 \cdot 10^3$
Итого сырья, материалов							$130680 \cdot 10^3$
2	Энергоресурсы						
2.1	Электроэнергия	ткВтчас	0,540	1,60	96000	0,864	51840
2.2	Пар собственный	гКал	0,250	0,76	45600	0,1900	11400
2.3	фтор	$T \cdot M^3$	0,228	2,8	168000	0,6384	38304
2.4	Газ природный	$T \cdot M^3$	0,46	1,15	69000	0,5290	31740
2.5	Арт. вода	$T M^3$	0,18	0,95	57000	0,1710	10260
2.6	Сжатый воздух	$T M^3$	0,17	0,20	12000	0,034	2040
Итого энергоресурсов							145584
3	Зарплата основных рабочих	тыс. руб.				0,287	17220
3.1	Отчисления на социальные нужды основных рабочих	%	30			0,086	5166
Итого зарплата основных рабочих с отчислениями							22386
4	Общепроизводственные расходы						
4.1	Зарплата вспомогательных рабочих	тыс. руб.				0,468	28080
4.1.1	Отчисления на социальные нужды вспомогательных рабочих	%	30			0,140	8424
4.2	Зарплата ИТР	тыс. руб.				0,464	27840
4.2.1	Отчисления на социальные нужды ИТР	%	30			0,139	8352
4.3	ЗП младшего обслуживающего персонала	тыс. руб.				0,056	3360

4.3.1	Отчисления от ЗП МОП	тыс. руб.	30			0,016	1008
4	Амортизация зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,259	15580
4.4.1	Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,139	8384
4.4.2	Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,275	16506
4.5	Амортизационные отчисления от производственного оборудования	тыс. руб.				0,308	18480
4.5.1	Текущий ремонт оборудования	тыс. руб.				0,161	9702
4.5.2	Капитальный ремонт оборудования	тыс. руб.				0,210	12628
Итого общепроизводственные расходы		тыс. руб.				1,520	158344
5	Прочие расходы	тыс. руб.				0,027	1670,8
6	I. Цеховая себестоимость	тыс. руб.				2183,4	131007,9*10 ³
7	Управленческие расходы (5 % от цеховой себестоимости)	тыс. руб.				109,17	6550,4*10 ³
8	II. Заводская себестоимость (строка 6 + строка 7)	тыс. руб.				2292,6	137558,3*10 ³
9	Коммерческие расходы (1 % от заводской себестоимости)	тыс. руб.				22,92	1375,5*10 ³
10	III. Полная себестоимость (строка 8 + строка 9)	тыс. руб.				2315,5	138933,8*10 ³
11	Условно переменные издержки	тыс. руб.				2312,5	138751,4*10 ³
12	Условно постоянные издержки	тыс. руб.				3,04	182400,8

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объема производства. Из таблицы 4.5.1. переменные издержки составляют:

- затраты на сырье и материалы;
- затраты на энергоресурсы;
- коммерческие расходы;
- управленческие расходы.

Все остальные затраты являются постоянными. Постоянные затраты – это затраты, которые не меняются от изменения объема выпускаемой продукции (арендная плата за помещение, амортизация основных производственных средств, износ нематериальных производственных средств и т.д.)

Полная себестоимость продукции:

- годового выпуска – $138933,8 \cdot 10^3$ тыс.руб.
- в расчете на 1 т. – 2315,5 тыс. руб.

С помощью затратного метода найдем цену продукции за 1 т., а затем подсчитаем выручку:

$$Ц = С * (1 + R / 100),$$

где С – себестоимость полная, руб.;

R – рентабельность, 12 %.

$$Ц = 2315,5 * (1 + 12 / 100) = 2593,36 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем себестоимость продукции при наращивании объемов производства на 15 %. Расчет себестоимости гексафторида урана при годовом производственном выпуске $M_{пр} = 60000 \text{ т.} + (60000 \text{ т.} * 15 \%) = 69000 \text{ т.}$ приведен в таблице 4.5.2

Таблица 4.5.2 - Себестоимость продукции товарного газа при годовом выпуске 69000 т.

№	Статьи затрат	Единица измерения	Цена, тыс. руб	Расход		Затраты, тыс. руб.	
				Норма расхода, на т	на Nгод (2 x M _{пр})	на т (столбец 1 x 2 или 5/ M _{пр})	на Nгод (4 x M _{пр})
			1	2	3	4	5
1	Сырьё, материалы и катализаторы						
1.1.	тетрафторид урана	тн	1050	0,27	18630	283,5	$19561,5 \cdot 10^3$
1.2	окись урана	тн	600	0,97	66930	582,0	$40158 \cdot 10^3$
1.3	фтор	тн	836	1,57	108330	1312,5	$90562,5 \cdot 10^3$
	Итого сырья, материалов						$150282 \cdot 10^3$
2	Энергоресурсы						
2.1	Электроэнергия	ткВтчас	0,540	1,60	110400	0,864	59616
2.2	Пар собственный	гКал	0,250	0,76	52440	0,1900	13110
2.3	фтор	Т*м ³	0,228	2,8	193200	0,6384	44049,6
2.4	Газ природный	Т*м ³	0,46	1,15	79350	0,5290	36501
2.5	Арт. вода	Тм ³	0,18	0,95	65550	0,1710	11799

2.6	Сжатый воздух	Тм ³	0,17	0,20	13800	0,034	2346	
Итого энергоресурсов							167421,6	
3	Зарплата основных рабочих	тыс. руб.				0,250	17220	
3.1	Отчисления на социальные нужды основных рабочих	%	30			0,074	5166	
Итого зарплата основных рабочих с отчислениями							22386	
4	Общепроизводственные расходы							
4.1	Зарплата вспомогательных рабочих	тыс. руб.				0,406	28080	
4.1.1	Отчисления на социальные нужды вспомогательных рабочих	%	30			0,122	8424	
4.2	Зарплата ИТР	тыс. руб.				0,403	27840	
4.2.1	Отчисления на социальные нужды ИТР	%	30			0,121	8352	
4.3	ЗП младшего обслуживающего персонала	тыс. руб.				0,048	3360	
4.3.1	Отчисления от ЗП МОП	тыс. руб.	30			0,014	1008	
4.4	Амортизация зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,225	15580	
4.4.1	Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,121	8384	
4.4.2	Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,239	16506	
4.5	Амортизационные отчисления от производственного оборудования	тыс. руб.				0,267	18480	
4.5.1	Текущий ремонт оборудования	тыс. руб.				0,14	9702	
4.5.2	Капитальный ремонт оборудования	тыс. руб.				0,183	12628	
Итого общепроизводственные расходы							2,294	158344
5	Прочие расходы	тыс. руб.				0,024	1670,8	
6	I. Цеховая себестоимость	тыс. руб.				2183	150631,8*10 ³	
7	Управленческие расходы (5 % от цеховой себестоимости)	тыс. руб.				109,15	7531,6*10 ³	
8	II. Заводская себестоимость (строка 6 + строка 7)	тыс. руб.				2292,2	158163,4*10 ³	
9	Коммерческие расходы (1 % от заводской себестоимости)	тыс. руб.				22,92	1581,6*10 ³	
10	III. Полная себестоимость (строка 8 + строка 9)	тыс. руб.				2315,1	159745*10 ³	
11	Условно переменные издержки	тыс. руб.				2312,5	159562,6*10 ³	

12	Условно постоянные издержки	тыс. руб.				2,643	182400,8
----	-----------------------------	-----------	--	--	--	-------	----------

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объема производства. Из таблицы 4.5.2. переменные издержки составляют:

- затраты на сырье и материалы;
- затраты на энергоресурсы;
- коммерческие расходы;
- управленческие расходы.

Все остальные затраты являются постоянными. Постоянные затраты – это затраты, которые не меняются от изменения объема выпускаемой продукции (арендная плата за помещение, амортизация основных производственных средств, износ нематериальных производственных средств и т.д.)

Полная себестоимость продукции:

- годового выпуска – $159745 \cdot 10^3$ тыс. руб.
- в расчете на 1 т. – 2315,1 тыс. руб.

С помощью затратного метода найдем цену продукции за 1 т., а затем подсчитаем выручку:

$$Ц = C * (1 + R / 100),$$

где C – себестоимость полная, руб.;

R – рентабельность, 12 %.

$$Ц = 2315,1 * (1 + 12 : 100) = 2592,91 \text{ тыс. руб.}$$

4.6 Расчет технико-экономических показателей

Рассчитаем выручку от реализации произведенной продукции по формуле:

$$B = Ц * N_{\text{год}},$$

где $N_{\text{год}}$ – выпуск продукции за год, $N_1 = 60000$ т.

$$B_1 = 2593,36 * 60000 = 155601,6 * 10^3 \text{ тыс. руб.} = 155,6 * 10^3 \text{ млн. руб.}$$

Расчет прибыли Π производим по формуле:

$$\Pi = B - И,$$

Где

$И$ – затраты (издержки = полной себестоимости).

$$\Pi_1 = 155601,6 * 10^3 - 138933,8 * 10^3 = 16667,8 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$Н$ – налоги:

Налог на прибыль 20%, тогда

$$Н = 0,20 * \Pi.$$

$$Н_1 = 16667,8 * 10^3 * 0,20 = 3333,5 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда чистая прибыль с учетом вычета налогов составит:

$$\Pi_{\text{ч1}} = 16667,8 * 10^3 - 3333,5 * 10^3 = 13334,3 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

Аналогично рассчитываем балансовую и чистую прибыль при годовом выпуске 69000 т.

$$B_2 = 2593,36 * 69000 = 178941,8 * 10^3 \text{ тыс. руб.} = 178,9 * 10^3 \text{ млн. руб.}$$

$$\Pi_2 = 178941,8 * 10^3 - 159745 * 10^3 = 19196,8 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$Н_2 = 19196,8 * 10^3 * 0,20 = 3839,3 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$\Pi_{\text{ч2}} = 19196,8 * 10^3 - 3839,3 * 10^3 = 15357,5 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

Рентабельность производства рассчитываем по формуле:

$$R_{\text{про-ва}} = (\Pi_{\text{чистая}} / \text{Себестоимость}) * 100 \%$$

$$R_1 = 13334,3 * 10^3 / 138933,8 * 10^3 * 100 = 9,59 \%$$

$$R_2 = 15357,5 * 10^3 / 159745 * 10^3 * 100 = 9,61 \%$$

Рентабельность продаж рассчитываем по формуле:

$$R_{\text{продаж}} = (\Pi_{\text{чистая}} / B_{\text{реализации}}) * 100 \%$$

$$B_{\text{реализации}} = N_{\text{год}} * Ц_{1\text{м}}^3.$$

$$P1 = 13334,3 * 10^3 / 155601,6 * 10^3 * 100 = 8,56 \%$$

$$P2 = 15357,5 * 10^3 / 178941,8 * 10^3 * 100 = 8,58 \%$$

Расчет фондоотдачи производства на год производим по формуле:

$$\Phi_o = \Pi * N / O\Phi$$

Стоимость основных фондов, составляет 416000 тыс. руб.

$$\Phi_{o1} = 155601,6 * 10^3 / 416000 = 374 \text{ тыс. руб./тыс. руб.}$$

Расчет фондоемкости производства гексафторида урана производим по формуле:

$$\Phi_e = O\Phi / B = O\Phi / \text{Ц}_{\text{опт.}} * N.$$

$$\Phi_{e1} = 416000 / 155601,6 * 10^3 = 0,00267 \text{ тыс. руб./тыс. руб.} = 2,67 \text{ руб./руб.}$$

Рассчитаем фондовооруженность.

$$\Phi_{в1} = O\Phi / N_{\text{сп}} = 416000 / 41 = 10146,3 \text{ тыс. руб./чел.} \quad (5. 32)$$

Производительность труда определяется по формуле:

$$\Pi_{т} = N_{\text{пр}} / N_{\text{сп}}, \quad (5. 33) \text{ [24, с 85]}$$

где $N_{\text{пр}}$ - объем производства за плановый период;

$N_{\text{сп}}$ - среднесписочная численность работников.

$$\Pi_{т1} = 60000 / 41 = 1463,41 \text{ т./чел.}$$

Аналогично рассчитываем показатели рентабельности, фондоотдачи, фондоемкости и производительности труда при годовом выпуске $719 * 10^6$ мЗ.

$$\Phi_{o2} = 178941,8 * 10^3 / 416000 = 430,1 \text{ тыс. руб./тыс. руб.}$$

$$\Phi_{e2} = 416000 / 178941,8 * 10^3 = 0,00232 \text{ тыс. руб./тыс. руб.} = 2,32 \text{ руб./руб.}$$

$$\Pi_{т2} = 69000 / 41 = 1682,9 \text{ т./чел.}$$

Безубыточный объем реализации:

$$Q_{\text{кр}} = K * H / \text{Дм},$$

Где

К – количество проданной продукции, т;

Н – постоянные затраты, руб.;

Дм – маржинальный доход, руб.;

$$Дм = В - Рп,$$

где В – выручка, руб.;

Рп – переменные затраты, руб.

Рассчитаем $Q_{кр1}$ при годовом выпуске 60000 т.

$$Дм1 = 155601,6 * 10^3 - 138751,4 * 10^3 = 16850,2 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q_{кр1} = 60000 * 182400,8 / 16850,2 * 10^3 = 649,49 \text{ т.}$$

В денежном измерении точка безубыточного объема продаж равна:

$$Q_{ден1} = Q_{кр1} * Цпр,$$

где Цпр – цена продаж за 1 м³;

$$Q_{ден1} = 649,49 * 2593,36 = 1684,3 * 10^3 \text{ тыс. руб.} = 1684,3 \text{ млн. руб.}$$

Рассчитаем $Q_{кр2}$ при годовом выпуске 69000 т.

$$Дм2 = 178941,8 * 10^3 - 159562,6 * 10^3 = 19379,2 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q_{кр2} = 69000 * 182400,8 / 19379,2 * 10^3 = 649,44 \text{ т.}$$

В денежном измерении точка безубыточного объема продаж равна:

$$Q_{ден2} = 649,44 * 2593,36 = 1684,2 * 10^3 \text{ тыс. руб.} = 1684,2 \text{ млн. руб.}$$

Полученные показатели эффективности производства гексафторида урана сведены в таблицу 4.7.1.

Таблица 4.6.1 Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	1год	2год
1. Объемпроизводства	т.	60000	69000
2. Объемпродаж	т.	60000	69000

3. Цена 1 т.	тыс. руб.	2593,36	2593,36
4. Выручка от продажи (2*3)	млн. руб.	$155,6 * 10^3$	$178,9 * 10^3$
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	$138933,8 * 10^3$	$159745 * 10^3$
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	$138751,4 * 10^3$	$159562,6 * 10^3$
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	182400,8	182400,8
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	$16667,8 * 10^3$	$19196,8 * 10^3$
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	$3333,5 * 10^3$	$3839,3 * 10^3$
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	$13334,3 * 10^3$	$15357,5 * 10^3$
9. Себестоимость 1 т.	тыс. руб.	2315,5	2315,0
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	416000	416000
11. Численность основных рабочих	чел.	41	41
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	10146,3	10146,3
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	374	430,1
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	2,67	2,32
15. Производительность труда (5/11)	т./чел.	1463,41	1682,9
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	9,0	10,8
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	8,0	9,2
18. Критический объем продаж (Qкр.)	Т.	649,49	649,44
19. Критический объем продаж (Qкр.)	млн. руб.	1684,3	1684,2

4.7 Расчет точки безубыточности

Расчет точки безубыточности производится на основании сопоставления выпуска продукции, ее себестоимости, постоянных затратах, оптовой цен.

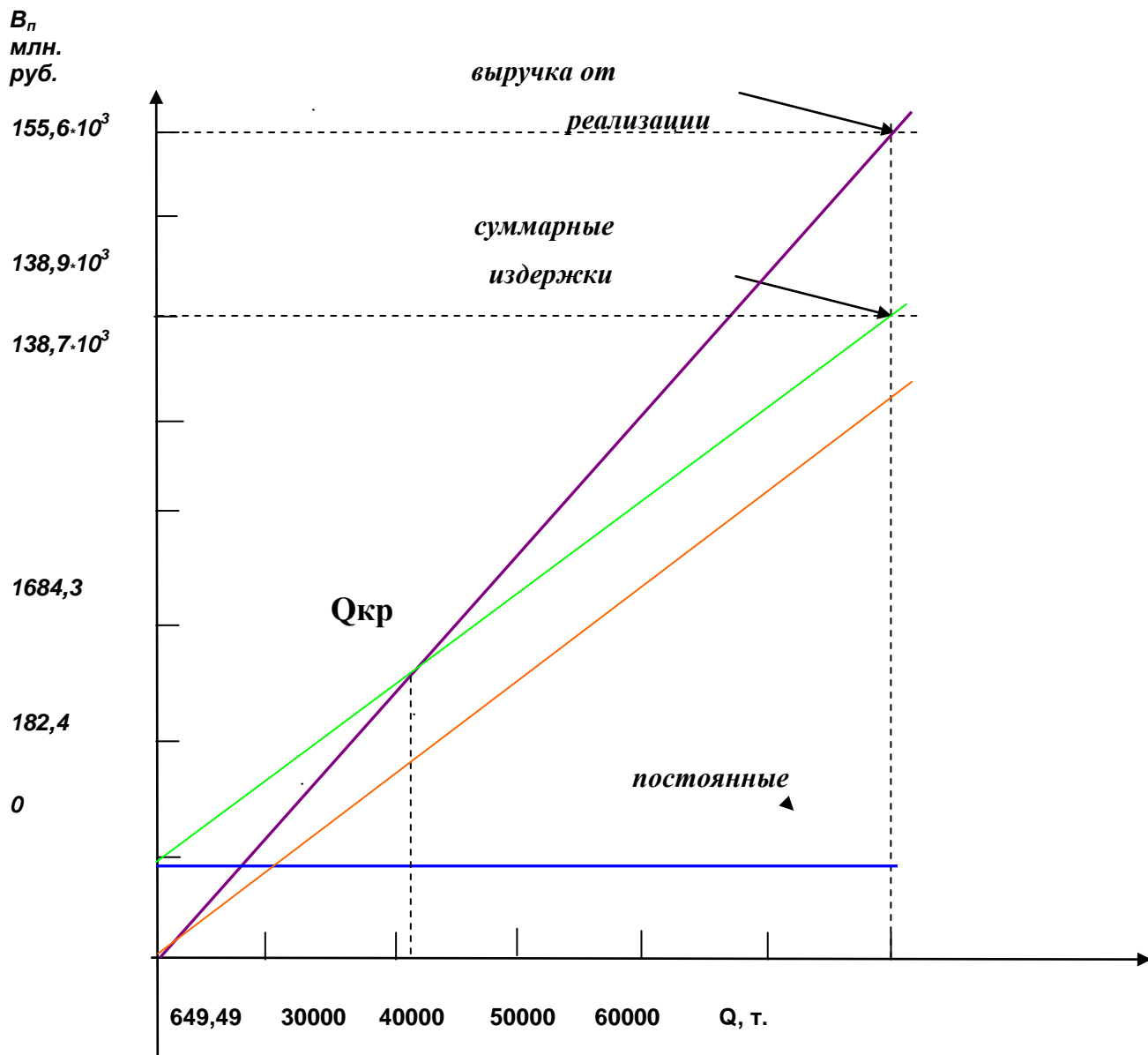


Рисунок 4.7.1 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 60000 т.гексафторида урана

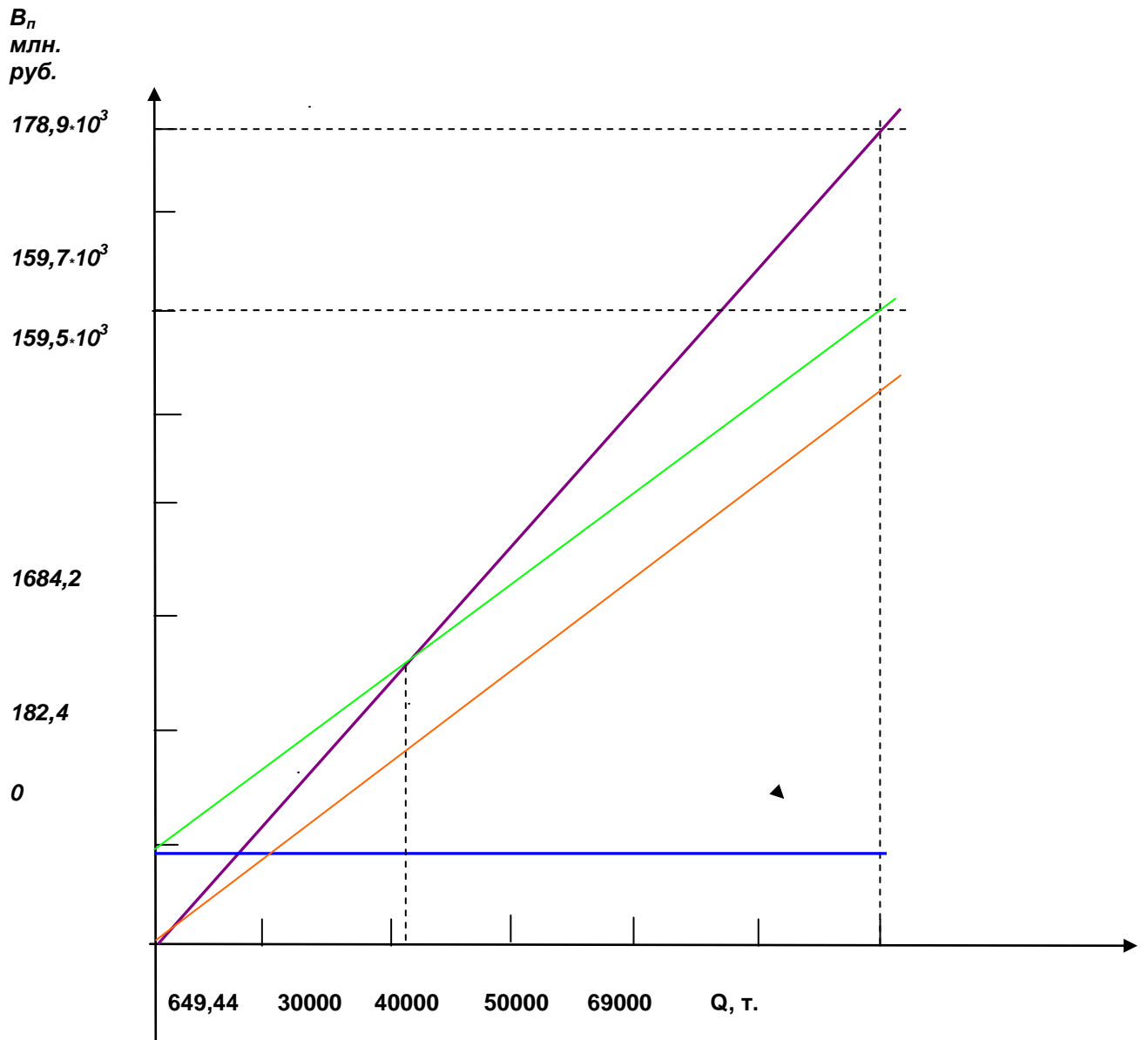


Рисунок 4.7.1

- График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 69000 т.гексафторида урана

4.8 Вывод

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10% и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

При увеличении объема производства с 60000 т. по 69000 т. получили увеличение чистой прибыли на 15%. При этом рентабельность производства повысилась на 0,02 %. Рентабельность продаж увеличилась на 0,02 %. Производительность труда увеличилась на 219,49 т. на человека. При увеличении объёма производства с 60000 т. по 69000 т. предприятие позже войдет в зону прибыли, но зона прибыли расширится.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Социальная ответственность – это когда предприятие как работодатель основана на формировании благоприятных условий труда и жизни работников.

На предприятии ОАО «Сибирский Химический Комбинат» находится завод по получению оксидов урана установки по производству гексафторида урана. Для завода разработан технологический регламент, в котором отображены виды работ содержащие вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при обслуживании установки, относятся: повышенная и температура воздуха рабочей зоны, повышенный уровень шумов на рабочем месте, недостаточная его освещенность, повышенная концентрация вредных веществ и т.д.

5.1 Характеристика технологического процесса

Установка получения оксидов урана включает следующие процессы: загрузка исходных реагентов (уранилнитрат, гидроксид аммония), осаждение полиураната в емкостных аппаратах с перемешивающими устройствами, разделение фаз на барабанном вакуум-филт্রে, сушка в сушильной печи, термическое разложение полиураната в прокалочной печи, охлаждение U_3O_8 в шнеке-холодильнике, дробление в дезинтеграторе, затаривание готового продукта, очистка печных газов.

Площадь производственного помещения на одного работающего в согласно СН 245 – 71 составляет $4,5 м^2$, объем – $15 м^3$.

В цехах производственных зданий предусматривается совмещенное освещение (естественное и искусственное).

Естественное освещение включает в себя комбинированное освещение (верхнее и боковое), так как солнечные лучи проникают внутрь рабочих помещений через проемы в одной или двух противоположных стенах зданий, проемы в покрытии, стенах в местах перепада высот здания. Применяется комбинированная система искусственного освещения (общая и местная).

Целесообразно применение комбинированной системы воздухообмена, сочетающей местную и общеобменную вентиляции, так как необходима смена воздуха в месте расположения сушильной и прокалочной печей – источников наибольшего количества вредных выделений. Кроме того, необходима смена воздуха во всех остальных цехах. С этой целью

применяют смешанную систему вентиляции, включающей естественную и искусственную вентиляции. В качестве искусственной применяют приточно-вытяжную вентиляцию.

5.2 Производственная безопасность. Анализ опасных и вредных факторов. Мероприятия по защите

Установка получения оксидов урана является источником опасных и вредных факторов.

Опасными факторами являются: электрический ток (сушильная и прокалочная барабанные вращающиеся печи), движущиеся части оборудования (сушильная и прокалочная барабанные вращающиеся печи, шнек-холодильник, емкостные аппараты с перемешивающими устройствами), сосуды под давлением (емкостные аппараты с перемешивающими устройствами), нагретые поверхности (сушильная и прокалочная барабанные вращающиеся печи).

Вредными факторами являются: ионизирующее излучение (установка в целом), инфракрасное излучение (сушильная и прокалочная барабанные вращающиеся печи), микроклимат, отличающийся от норм (установка в целом), химические вещества (установка в целом), недостаточная освещенность (установка в целом).

Производственные помещения установки получения оксидов урана по опасности электропоражений в соответствии с ПУЭ относятся к классу особоопасных помещений (два и более признаков повышенной опасности одновременно), так как присутствует токопроводящая пыль в барабанах печей, токопроводящие полы, высокая температура.

Причинами электропоражений могут быть: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям сушильной и прокалочной печей, находящимся под напряжением, появление напряжения на металлических корпусах сушильной и прокалочной печей в результате нарушения изоляции, появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения сушильной и прокалочной печей.

Движущиеся и вращающиеся части оборудования несут опасность физического контакта с организмом человека.

В установке получения оксидов урана емкостные аппараты с перемешивающими устройствами работают при давлении 0,3 МПа, поэтому существует опасность разрушения их при определенных аварийных условиях. Причинами разрушений являются: физические взрывы при потере механической прочности аппаратов, местных перегревов греющим паром, ударах, превышении рабочего давления.

Нагретые поверхности сушильной и прокалочной печей (температура 650 °С) могут являться причиной тепловых ожогов, вызывающих даже при кратковременном контакте резкое ухудшение состояния здоровья человека. Также сушильная и прокалочная печи являются источником инфракрасного

излучения, так как процессы сушки прокали протекает при высокой температуре 600-700 °С.

Под влиянием инфракрасного излучения в организме человека возникают биохимические сдвиги и изменения функционального состояния центральной нервной системы: образуются специфические биологически активные вещества типа гистамина, холина, повышается уровень фосфора и натрия в крови, усиливается секреторная функция желудка, поджелудочной и слюнной желез, в центральной нервной системе развиваются тормозные процессы, уменьшается нервно-мышечная возбудимость, понижается общий обмен веществ. При инфракрасном облучении кожи повышается ее температура, изменяется тепловое ощущение. При интенсивном облучении возникают ощущения жжения, боль.

Интенсивность теплового излучения на рабочих местах может колебаться от 175 Вт/м² до 13956 Вт/м². К горячим относят цеха, в которых тепловыделение превышает 23 Дж/м².

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должна соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела рабочих от производственных источников СанПиН 2.2.4.548-96.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² не более
50 и более	35
25 – 50	70
не более 25	100

В установке получения оксидов урана используется природный уран, который является источником α -излучения. Под действием ионизирующего излучения в организме человека могут происходить сложные процессы. Оно возможно как при внешнем облучении (источник находится вне организма), так и при внутреннем (радиоактивное вещество попадает внутрь организма).

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц в соответствии с НРБ-99:

а) персонал (группы А и Б);

б) все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

а) основные пределы доз (ПД), приведенные в таблице 5.2;

б) допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДУА);

в) контрольные уровни.

Таблица 5.2 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Метеорологические условия в производственных помещениях предприятия согласно СанПиН 2.2.4.548 – 96 должны соответствовать данным, приведенным в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах в помещениях предприятия

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более, м/с
Холодный	19...21	18...22	40...60	0,2
Теплый	20...22	19...23	40...60	0,2

Данные таблицы 5.3 приведены для категории II а, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат 151...200 ккал/ч (175...232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

Химические ожоги возникают при местном воздействии химически активных веществ на кожу, дыхательные пути, глаза. Степень ожога зависит от химической активности и токсичности вещества, его концентрации, температуры, продолжительности действия, а также чувствительности кожи пострадавшего.

Гидроксид натрия (используемый при осаждении урана в агитаторах), уранилнитрат (используемый как исходное вещество), кристаллогидрат аммония (получаемого в результате осаждения), попадая на кожу, вызывают химические ожоги.

В результате по данным веществам в таблице 5.4 приводим, ПДК и класс опасности.

Таблица 5.4 – Предельно допустимые концентрации веществ

Наименование вещества	Значение ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Уранилнитрат	0,015	1
Кристаллогидрат аммония	0,05	1
Гидроксид натрия	4	2

В результате во избежание химических ожогов все работающие с агрессивными веществами должны быть обеспечены соответствующей спецодеждой.

В случае ожога нужно как можно быстрее и тщательнее промыть пораженное место обильной струей воды. Поэтому к рабочим местам должны быть проведены шланги с наконечниками и легко открывающимися кранами. Для промывки глаз устанавливают фонтанчики. При отсутствии водопровода устанавливают емкости с водой.

Защита при работе с химическими веществами основывается на предотвращении утечек химических реагентов, контроле сварных швов, рациональном конструировании, применения разрежения внутри корпусов печей, использовании СИЗ при работе с химическими веществами.

Одним из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих мест. При неправильном освещении помещений и рабочих мест резко снижается производительность труда, условия безопасности и повышается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется в производственной обстановке.

Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасной ситуации. В связи с этим существуют следующие нормативные параметры освещения [СНиП 22-05-95 Искусственное и естественное освещение], которые составляют:

– искусственное освещение при системе общего освещения равно 200 лк;

– естественное совмещенное освещение при боковом освещении равно КЕО

$e_n = 0,6 \%$.

Следует проверять уровень освещенности в контрольных точках производственного помещения не реже одного раза в год после очередной очистки светильников и замены перегоревших ламп. Фактическая освещенность должна быть больше или равна нормируемой освещенности, умноженной на коэффициент запаса.

Мероприятия по защите от электрического тока заключаются в надежном заземлении, занулении токоведущих частей оборудования, обеспечении их недоступности, организации безопасной эксплуатации электроустановок.

Расчет защитного заземления

Защитное заземление является одной из наиболее часто встречающихся мер защиты людей от поражения электрическим током и предназначено для снижения до малых величин шагового напряжения и напряжения прикосновения.

Расчет защитного заземления сводится к определению потребного количества электродов, при котором общее сопротивление защитного заземления не превышает допустимого по нормам [25].

Исходные данные для расчета защитного искусственного заземления приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета защитного заземления

Параметры электроустановки: фазное напряжение, <i>B</i> мощность, <i>кВА</i>	220 80
Размеры труб: длина, <i>м</i> диаметр, <i>м</i>	3,5 0,06
Ширина полосовой стали, <i>м</i>	0,08
Глубина заложения полосы, <i>м</i>	1,5
Расстояние между электродами, <i>м</i>	7

Характер заземления нейтрали источника – изолированная.

Электроустановка размещена в климатической зоне II [25], с грунтом в месте расположения – глиной.

Расчет защитного заземления производим в соответствии с [25].

Сопротивление одного электрода определяется по формуле:

$$r_3 = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_3}{d_3} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot h_3 + l_3}{4 \cdot h_3 - l_3} \right),$$

(5.1)

где ρ – удельное сопротивление грунта, *Ом·м*, для глины $\rho = 0,6 \cdot 10^2$ *Ом·м*;

K_B –повышающий коэффициент для вертикальных электродов; $K_B = 1,5 \dots 1,8$;

l_3 –длина электрода, *м*;

d_3 –диаметр электрода, *м*;

h_3 – глубина заложения электрода, м.

Принимаем $K_B = 1,8$.

Глубина заложения электрода определяется по формуле:

$$h_3 = h_n + 0,5 \cdot l_3,$$

(5.2)

где h_n – глубина заложения полосы, м.

$$h_3 = 1,5 + 0,5 \cdot 3,5 = 3,25 \text{ м.}$$

Тогда

$$r_3 = \frac{0,366 \cdot 0,6 \cdot 10^2 \cdot 1,8}{3,5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3,5}{0,06} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 3,25 + 3,5}{4 \cdot 3,25 - 3,5} \right) = 24,7 \text{ Ом.}$$

Предварительное количество электродов определяется по формуле:

$$n' = \frac{r_3}{r_3},$$

(5.3)

где r_3 – допускаемое сопротивление искусственного заземления, Ом.

Согласно [25] для сетей с изолированной нейтралью при мощности источника $W \leq 100 \text{ кВА}$ $r_3 = 10 \text{ Ом}$.

Тогда

$$n' = \frac{24,7}{10} = 2,47.$$

Принимаем $n' = 3$.

При расположении электродов по контуру с соотношением

$$a/l_3 = 2$$

(здесь a – расстояние между электродами) согласно [25] коэффициент использования электродов равен:

$$\eta_3 = 0,67.$$

Окончательно определяем требуемое количество электродов по формуле:

$$n = \frac{r_3}{r_3 \cdot \eta_3};$$

(5.4)

$$n = \frac{24,7}{10 \cdot 0,67} = 3,69.$$

Принимаем $n = 4$.

Определяем длину соединительной полосы по формуле:

$$l_n = a \cdot (n - 1);$$

(5.5)

$$l_n = 7 \cdot (4 - 1) = 21 \text{ м.}$$

Определяем сопротивление соединительной полосы по формуле:

$$r_n = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_G}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b}, \quad (5.6)$$

где K_G – повышающий коэффициент для горизонтальных электродов;
 $K_G = 3,5 \dots 4,5$;

b – ширина соединительной полосы, м.

Принимаем $K_G = 4,4$.

Тогда

$$r_n = \frac{0,366 \cdot 0,6 \cdot 10^2 \cdot 4,4}{21} \cdot \lg \frac{2 \cdot 21^2}{1,5 \cdot 0,08} = 17,79 \text{ Ом.}$$

Определяем общее сопротивление контура защитного заземления по формуле:

$$r_3 = \frac{r_3 \cdot r_n}{r_3 \cdot \eta_n + r_n \cdot \eta_3 \cdot n}, \quad (5.7)$$

где η_n – коэффициент использования полосы; $\eta_n = 0,5$.

Тогда

$$r_3 = \frac{24,7 \cdot 17,79}{24,7 \cdot 0,5 + 17,79 \cdot 0,67 \cdot 4} = 7,32 \text{ Ом.}$$

Производим проверку выполнения условия:

$$r_\Sigma \leq r_3;$$

$$7,32 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

Для защиты человека от движущихся частей оборудования применяют оградительные, предохранительные системы.

Все работающее технологическое оборудование должно быть оснащено оградительными устройствами, предотвращающими появление человека в опасной зоне (щиты, экраны, кожухи, решетки, сетки на жестком каркасе).

Предохранительные защитные устройства предназначены для автоматического отключения сушильной и прокалочной печей при изменении скорости вращения барабанов, шнеков, а также для автоматического отключения шнека-холодильника при изменении скорости вращения шнека.

Защита от разрушения аппаратов, работающих под давлением (емкостные аппараты с перемешивающими устройствами) заключается в контроле качества сварных швов, материалов. Кроме того, аппарат снабжается манометром, термометром, предохранительными устройствами (клапаны, мембраны), запорной арматурой, указателями уровня жидкости.

Защита от нагретых поверхностей печей заключается в надежной теплоизоляции барабанов печей изолирующим материалом (кирпичная кладка). Допустимая температура на поверхности теплоизоляции 45°C .

Защита от ионизирующего излучения состоит в осуществлении систем технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий.

Помещения должны быть отдельными, изолированными от других помещений, специально оборудованными. Стены, потолки и двери делают гладкими, все углы закругляют для облегчения уборки помещений от радиоактивной пыли, стены покрывают масляной краской на высоту 2 м. Полы изготавливают из плотных материалов, не впитывающих жидкость.

Также применяют защитные экраны. Для защиты от α -излучения достаточен слой воздуха в несколько см. Также применяют экраны из плексигласа и стекла толщиной в несколько мм. Обязательна защита от α -излучения емкостных аппаратов с перемешивающими устройствами, барабанного вакуум-фильтра, сушильной и прокалочной печей, циклонов, шнека-холодильника, дезинтегратора и контейнера готовой продукции.

Поддержание метеорологических условий, соответствующих нормативным (в том числе от инфракрасного излучения) заключается в механизации и автоматизации тяжелых и трудоемких работ (подвод исходных реагентов с помощью трубопроводов, удаление готового продукта механизированным способом), дистанционном управлении процессами в сушильной и прокалочной печах, рациональном размещении и теплоизоляции печей (устройство их на открытых площадках), устройстве защитных экранов и завес.

5.3 Безопасность в ЧС

Производственное помещение установки получения оксидов урана относится в соответствии с НПБ 105 – 95 к категории В (пожароопасные), так как присутствуют в обращении горючие и трудногорючие вещества и материалы. По ПУЭ помещение относится к классу П-Па – пожароопасное.

К возможным причинам пожаров и взрывов на предприятии относятся: нарушение технологического режима загрузки исходных реагентов, неисправность электрооборудования печей, износ и коррозия оборудования, искры при электро- и газосварочных работах.

Мероприятия по предупреждению пожаров и взрывов классифицируются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию аппаратов и внутрицехового транспорта, содержание зданий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, пожарно-технических комиссий.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные предприятия – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационные мероприятия – это своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий.

В качестве технических мер обеспечения безопасности труда и промсанитарии при проектировании предусматривается:

- применение герметичной аппаратуры с выводом сдувок через узел спецотсоса, содержащий газоочистное оборудование;
- возможность продувки аппаратов и трубопроводов азотом перед вскрытием для ремонта;
- применение конструкционных материалов для изготовления оборудования, устойчивых в среде азотной кислоты;
- теплоизоляция аппаратов и трубопроводов, нагреваемых выше 45 °С;
- применение местных отсосов от оборудования, периодически перекрываемого;

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные предприятия – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационные мероприятия – это своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители типа ОП-5, ОП-10 и углекислотные типа ОУ-8.

5.4 Экологическая безопасность

В технологии получения оксидов урана основную опасность для атмосферы несут выделяющиеся газы из сушильной и прокалочной печей, содержащие пары воды, оксиды азота, аммиак, водород, кислород, азот и захваченные частицы оксидов урана и уранатов аммония.

Схема газовой очистки в технологии получения оксидов урана приведена в аппаратурно-технологической схеме УПОУ.170500.00.00 СЗ.

Генеральный план предприятия составляется с учетом требований безопасности труда и санитарно-гигиенических требований.

При разработке генерального плана основы безопасности закладываются на стадии выбора площадки для предприятия, размещения отдельных цехов на предприятии.

Химическое предприятие располагают с подветренной стороны с учетом преобладающего направления ветров по отношению к жилой застройке.

В соответствии с санитарными нормами предприятие, на котором осуществляется технологии получения оксидов урана, относится к 1-му классу (санитарно-защитная зона – 1000 м).

Зонирование – это совокупность мероприятий по разбиению предприятия на участки, в которых группируют производства и службы, имеющие сходства по функциональному назначению, условиям безопасности, санитарным условиям.

На предприятии организуют следующие зоны: предзаводская, производственная, подсобная, складская, сырьевая, товарных емкостей.

5.5 Пожарная безопасность

Причинами загорания в помещении категории В могут быть: аварии и нарушения технологического режима; самовоспламенение горючих веществ при высоких температурах их нагрева внутренними и наружными источниками тепла, в результате химической реакции и т.д.; воспламенение – в результате действия открытого огня, разрядов статического электричества.

На предприятиях химической промышленности организованы военизированные пожарные части управлений пожарной охраны МВД. На эти части возлагается проведение мероприятий по предупреждению пожаров, а также тушению возникающих пожаров и загораний.

Для первичного пожаротушения предусмотрены огнетушители типа ОУ-5 и ОУ-8. Дополнительно предусмотрен пожарный кран с расходом воды $Q = 20$ л/с. Краны устанавливают во всех помещениях независимо от их категории и группы.

На случай пожара предусматриваются пути эвакуации людей и материальных ценностей.

Все сварочные работы проводятся с разрешения представителя пожарной охраны.

Все перечисленные мероприятия обеспечивают необходимую безопасность обслуживающего персонала и сохранность оборудования и материалов.

ВЫВОДЫ

1 В ходе разработки дипломного проекта произведен обзор методов получения оксидов урана. Путем сравнения методов получения оксидов урана выбран метод химической денитрации уранилнитрата.

2 Разработана аппаратурно-технологическая схема установки получения оксидов урана. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса.

3 Спроектирован аппарат с перемешивающим устройством.

3.1 Произведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчет данного аппарата.

3.2 При проектировании данного аппарата по возможности использованы стандартные элементы (фланцы, штуцера и т. д.), повышающие ремонтпригодность оборудования и снижающие затраты на их обслуживание.

4 Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

5 Произведен экономический расчет.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.2. 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1978. – 559 с., ил.
- 2 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
- 3 Белозеров Б. П. Курсовое и дипломное проектирование по технологии химического машиностроения. Руководство для студентов: - Северск: СТИ ТПУ, 1998. – 104 с.
- 4 Галкин Н. П. Технология урана. – Атомиздат, 1964.
- 5 Галкин Н. П., Тихомиров В. Б. Основные процессы и аппараты технологии урана. – М.: Госатомиздат, 1961. – 220 с.
- 6 Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1979.
- 7 ГОСТ 7505 – 89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
- 8 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 9 Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
- 10 Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Машиностроение, 1981.
- 11 Егоров М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. М., 1969.
- 12 Единая система плано-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий.
- 13 Иванов М. Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1984. – 336 с.
- 14 Краткий справочник металлиста/ Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.: ил.
- 15 Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с, ил.
- 16 Липшина И. И. Уранил и его соединения. – М.: Изд. АН СССР, 1959.
- 17 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места, подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. – М.: Машгиз, - 1984 г.
- 18 Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на токарных станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. – М., Машгиз, 1960. – 224 с.
- 19 Павлов К.Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл. – корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10 – е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.

20 Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет агитаторов: Руководство для студентов. – Томск, Отд №1 ТПИ, 1998. – 56 с.

21 Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет потерь тепла в окружающую среду: Руководство для студентов. – Томск: Отделение №1 ТПИ, 1987. – 59 с.

22 Пищулин В. П. Курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии: Руководство для студентов. – Северск: СТИ ТПУ, 1997. – 72 с.

23 Пищулин В. П. Машины и аппараты химических производств. Руководство по дипломному проектированию. – Северск: СТИ ТПУ, 1997. – 99 с.

24 Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности. – М.: Химия, 1989.

25 Расчет защитного заземления. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей, Томск, изд. ТПУ, 1991. – 10 с.

26 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов втузов/ М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.

27 Ревин С. А. Методические указания по проектированию технологических процессов механической обработки деталей машин. Часть VII. Станочные приспособления, их расчет и проектирование. – М.: МВ и ССО РСФСР, 1970.

28 Система планово-предупредительного ремонта технологического оборудования машиностроительных предприятий.

29 Софронов В. Л., Васильева Е. В. Расчет бандажей вращающихся аппаратов: Руководство для студентов. – Томск: ТПИ-1, 38 с.

30 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с., ил.

31 Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е перераб. Том 1. Под ред. канд. техн. наук А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М., «Машиностроение», 1972. – 694 с.

32 Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е переработанное. Том 2. Под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. наук профессора А. Н. Малова. – М., «Машиностроение», 1972. – 568 с.

33 Субботина Л. Г. Организация и планирование ремонта технологического оборудования химических производств. Методические указания. – Томск, 1983. 23 с.

34 Шевченко В. Б., Судариков Б. Н. Технология урана. – М.: Госатомиздат, 1961.

35 Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1994.

36 Vesquerel H., Ann. Chim., 12,5 (1877).

37 Benrath A. Z., Anorg. Chem., 249, 245 (1942).

38 Guempel O., Bull. sos. Chim. Beig, 38, 443 (1929).

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Колич.	Примечание
		1		<i>Мотор-редуктор МПз-40</i>		
				<i>С эл. двигателем. 4А112МА6РЗ</i>		
				<i><u>ГОСТ 21355-75</u></i>	<i>1</i>	
		2		<i><u>Муфта</u></i>	<i>1</i>	
		3		<i>Царга</i>	<i>1</i>	
		4		<i>Прокладка</i>	<i>1</i>	
		5		<i>Опора</i>	<i>2</i>	
		6		<i>Корпус</i>	<i>1</i>	
		7		<i>Кожух</i>	<i>1</i>	
		8		<i>Мешалка пропеллерная</i>	<i>1</i>	
		9		<i>Прокладка</i>	<i>1</i>	
		10		<i>Прокладка</i>	<i>1</i>	
		11		<i>Опора</i>	<i>1</i>	
		12		<i>Фланец</i>	<i>1</i>	
		13		<i>Болт М18х80.5.8</i>		
				<i>ГОСТ 7798-70</i>	<i>4</i>	
		14		<i>Вал</i>	<i>1</i>	
		15		<i>Болт М24х8gx85.5.8</i>		
				<i>ГОСТ 7798-70</i>	<i>16</i>	
		16		<i>Гайка М36-7Н8</i>		
				<i>ГОСТ 5915-70</i>	<i>1</i>	

					<i>ФЮРА.УПОУ.000.000.00</i>		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.		<i>Бояренцев</i>			Литера	Лист	Листов
Провер.		<i>Балмашинов</i>			<i>Д</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Н. контр.		<i>Балмашинов</i>			<i>Агитатор</i> <i>ТПУ ИНЭО</i> <i>Группа 3-2К22</i>		
Утв.							

