

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения

Специальность Машины и аппараты химических производств

Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Установка получения гексафторида урана с разработкой основного оборудования УДК 661.87.065.5:095.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Семенов Антон Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К	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., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А	к.б.н.		

По разделу «Механо-технологический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.О.Зав. ка- федрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Лист

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

Институт Электронного обучения
Специальность Машины и аппараты химических производств
Кафедра Общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
И.О.Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Семенов Антон Александрович

Тема работы:

Установка получения гексафторида урана с разработкой основного оборудования

Утверждена приказом директора (дата, номер)

25.04.2016 г., № 3107/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016г.

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.).

Материалы преддипломной практики

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	- Введение; - Описание технологической схемы; - Технологический расчет пламенного реактора; - Конструктивный расчет пламенного реактора; - Механический расчет пламенного реактора; - Технологический расчет десублиматора; - Конструктивный расчет десублиматора; - Механический расчет десублиматора; - Социальная ответственность - Техничко-экономические показатели.								
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1 лист технологическая схема, лист 2-3 общий вид пламенного реактора, лист 4 общий вид корпуса пламенного реактора, лист 5 общий вид форсунки пламенного реактора, лист 6-7 общий вид десублиматора, лист 8 общий вид трубчатки десублиматора, лист 9 схема монтажа, лист 10 технико-экономические показатели								
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Раздел</th><th>Консультант</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Экономический</td><td>Рыжакина Т.Г.</td></tr> <tr> <td>Социальный</td><td>Антоневич О.А.</td></tr> <tr> <td>Монтаж оборудования</td><td>Семакина О.К.</td></tr> </tbody> </table> Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		Раздел	Консультант	Экономический	Рыжакина Т.Г.	Социальный	Антоневич О.А.	Монтаж оборудования	Семакина О.К.
Раздел	Консультант								
Экономический	Рыжакина Т.Г.								
Социальный	Антоневич О.А.								
Монтаж оборудования	Семакина О.К.								

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н.		02.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Семенов Антон Александрович		02.02.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Семенов Антон Александрович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Установка получения гексафторида урана.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - физико-химическая природа вредности, её связь с обрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты; - (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	1.1. Вредные производственные факторы при выполнении работ на установке получения гексафторида урана: - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; - токсические и раздражающие; - повышенный уровень ионизирующих излучений; 1.2. Опасные производственные факторы при выполнении работ на установке получения гексафторида урана: - опасность поражения электрическим током; - движущиеся части оборудования; - опасность взрыва и пожара.
2. Экологическая безопасность: - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	- <u>защита атмосферы:</u> основным источником загрязнения атмосферы являются фтористые газообразные соединения, аммиак и α-активные аэрозоли. Контроль производится следующими приборами и методами: непрерывный отбор пробы на аэрозольные фильтры типа АФА РСП-20 для определения активности суммы и состава смеси выбрасываемых радионуклидов; периодический отбор проб на фтор-ион на поглотитель (материал "ВИОН") и их анализ потенциометрическим методом оперативный контроль за содержанием α-активных аэрозолей в воздухе рабочих помещений с использованием альфа-спектрометрического комплекса; ежесуточный отбор проб на содержание фтористых газообразных соединений и аммиака; еженедельный отбор проб на содержание оксидов азота и серной кислоты. - <u>защита гидросферы:</u> охлаждающие воды после аппаратов сбрасываются в канализацию условно-чистых вод через колодец № 98, а затем в

	северный сбросной канал ТЭЦ, и контролируются на содержание примесей урана (не более 0,003 мг/дм³) в колодце. Воды из калориферов отопления, калориферов ООГП, ООВТ, вентсистем П-1, П-2, конденсат из теплопункта сбрасываются в промышленную канализацию, а затем в водохранилище № 1, и контролируются согласно [15] не реже трех раз в месяц на содержание урана и ЗВ в колодце. <u>- защита литосферы:</u> в процессе деятельности производства 5102 образуются нетехнологические твердые отходы, которые относятся к низкоактивным твердым радиоактивным отходам: непригодная для использования спецодежда и другие СИЗ из натуральных волокон, ветошь, бумага; отработавшие элементы оборудования, тара, материалы, лабораторная посуда, металлоконструкции, а также отходы керамики, стекла, полимеров и резины; отходы строительных материалов и др.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Основными причинами, способными привести к аварии, являются следующие факторы: - отступление от норм установленного технологического режима эксплуатации; - разгерметизация аппаратов, оборудования, трубопроводов, фланцевых соединений и сальниковых уплотнений трубопроводов; неисправность средств сигнализации и блокировки технологического процесса; -по причине некачественного монтажа оборудования; -в результате коррозии оборудования; -в результате прогара труб;-несоблюдение инструкций по промышленной безопасности и противопожарных правил. - При обнаружении выше перечисленных дефектов произвести устранение неисправностей после остановки оборудования и отключения трубопроводов, работающих под давлением [18]. Для предотвращения на производстве ЧС техногенного характера предусмотрено: периодическое техническое обслуживание и ремонт оборудования; - автоматизированный контроль за производственным процессом; -установка современных систем защиты оборудования (предупредительная и аварийная сигнализация); -система оповещения; -молниезащита оборудования;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Согласно статье 224ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Выбор места сооружения радиационных объектов должен отвечать требованиям ОСПОРБ-99 и настоящей правил. Для предприятий и объектов атомной промышленности в зависимости от их категории потенциальной опасности, согласно п. 3.2.8. ОСПОРБ-99, устанавливаются санитарно-защитная зона и зона наблюдения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О. А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Семенов Антон Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Семенов Антон Александрович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	МАХП

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей
3. Расчёт чистого денежного потока
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

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
3-5001	Семенов Антон Александрович		

Лист

Реферат

Тема диплома: установка получения гексафторида урана с разработкой основного оборудования.

Ключевые слова: гексафторид урана, пламенный реактор, десублиматор.

Проведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчеты основного технологического оборудования: пламенного реактора и десублиматора.

Разработана схема монтажа оборудования и рассчитана такелажная оснастка.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены факторы, влияющие на безопасность и здоровье человека, работающего на установке.

В организационно-экономической части рассмотрены вопросы эффективности и окупаемости работы установки.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 152 с., 9 рис., 32 табл., и 10 листов графического материала формата А1.

Abstract

Thesis: installation producing uranium hexafluoride with the development of the main equipment.

Keywords: uranium hexafluoride, the fiery reactor desublimator.

Conducted material, thermal, structural and strength analysis of the main processing equipment: flame reactor and desublimator.

A hardware arrangement and designed rigging.

In the "Social Responsibility" identified factors that affect the safety and health of the person operating the facility.

The organizational and economic effectiveness of the discussed issues, efficiency and profitability of the plant.

The degree project consists of an explanatory note containing 152 pp., 9 fig., 32 tab., And 10 sheets of A1 format graphic material.

Содержание

Введение.....	12
1 Обзор литературы.....	13
1.1 Система гексафторида урана.....	13
1.2 Свойства гексафторида урана.....	14
1.2.1 Физические свойства гексафторида урана.....	14
1.2.2 Химические свойства гексафторида урана.....	15
1.2.3 Методы получения гексафторида урана.....	17
2 Аппаратурно-технологическая схема.....	19
2.1 Описание технологической схемы.....	19
2.2 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры.....	24
2.3 Выбор стандартного оборудования.....	26
3 Расчет основного оборудования.....	27
3.1 Расчет пламенного реактора.....	27
3.1.1 Исходные данные.....	27
3.1.2 Материальный расчет.....	28
3.1.3 Тепловой расчет.....	29
3.1.4 Конструктивный расчет.....	33
3.1.5 Прочностной расчет.....	36
3.2 Расчет дисублиматора.....	61
3.2.1 Исходные данные.....	61
3.2.2 Материальный расчет.....	63
3.2.3 Тепловой расчет.....	66
3.2.4 Расчет тепловой нагрузки аппарата.....	75
3.2.5 Определение поверхности теплоотдачи.....	79
3.2.6 Конструктивный расчет.....	83
3.2.7 Прочностной расчет.....	86

4 Монтаж оборудования.....	100
4.1 Введение.....	100
4.2 Расчет и подбор полиспаста.....	100
4.3 Расчет и подбор каната.....	101
4.4 Подбор электролебёдки.....	103
 5 Социальная ответственность.....	 104
5.1 Введение.....	104
5.2 Производственная безопасность.....	104
5.3 Экологическая безопасность.....	114
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	122
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	125
 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	 128
6.1 Расчет производственной мощности.....	128
6.2 Режим работ.....	129
6.3 Организация оплаты труда.....	136
6.4 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.....	139
6.5 Расчет себестоимости.....	141
6.6 Расчет технико-экономических показателей.....	146
6.7 Расчет точки безубыточности.....	150
6.8 Вывод.....	152
 Литература.....	 153

Введение

Уран – главная составная часть ядерного горючего. Фторидные процессы имеют важное значение в технологии производства природного урана и в технологии переработки облученных материалов.

В технологии ядерного горючего особую роль играет гексафторид урана UF_6 . Это единственное соединение урана, которое применяется в промышленности для разделения изотопов урана $^{92}U^{235}$ и $^{92}U^{238}$. ГФУ разделяется на обогащенную и обедненную изотопом $^{92}U^{235}$ фракции. Обогащенная фракция перерабатывается в тепловыделяющие и топливные элементы активной зоны реактора, а уран обедненной фракции может быть использован в зоне воспроизводства реакторов или другие нужды.

К чистоте ГФУ, перерабатываемого на разделительных заводах, предъявляются жесткие требования. При наличии даже небольших количеств летучих фторидов в исходном продукте их содержание в обогащенной фракции резко увеличивалось бы и вызвало бы необходимость очистки урана после разделительных установок.

Гексафторид урана, поступающий на разделительные заводы, также не должен содержать фтористый водород из-за его высокой коррозионной активности.

Высокая химическая активность и токсичность ГФУ вынуждает проводить все процессы его обработки (в том числе конденсацию и очистку) в герметичной аппаратуре и из выбрасываемых в атмосферу газов улавливать даже следы его.

Возможно, самостоятельное применение ГФУ в качестве ядерного горючего в газовых реакторах, однако из-за многих технологических и аппаратурных трудностей ГФУ почти полностью перерабатывается в металл. Уран или его соединения применяются в качестве ядерного горючего.

Данный дипломный проект посвящен разработке установки получения природного гексафторида урана, а именно, разработке пламенного реактора и десублиматора.

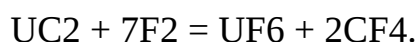
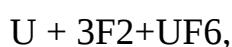
1 Обзор литературы

1.1 Система гексафторида урана

Первые сведения о гексафториде урана относятся к 1900 г. Когда Муассан заметил, что металлический уран энергично реагирует с фтором, образуя летучее соединение. Тогда это соединение не было изучено, и лишь десять лет спустя, в 1909 г. Руфф и Хайнцельман, получив гексафториды молибдена и вольфрама, высказали предположение о существовании аналогичного соединения урана.

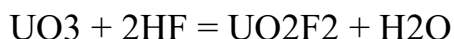
Для синтеза гексафторида урана авторы предложили три способа: 1) взаимодействие пентахлорида урана с фтором; 2) реакцию пентахлорида урана с жидким фтористым водородом (в этом случае UF_6 получается в результате диспропорционирования образующегося пентафторида урана) и 3) взаимодействие металлического урана или его карбида с фтором. Авторы считали наиболее удобным последний способ и использовали его для получения чистого гексафторида урана: они изучили также некоторые физические и химические свойства гексафторида урана. Однако более поздними работами показана неточность данных, полученных этими авторами. В последующие 30 лет (1909-1939) гексафторид урана исследовался сравнительно мало. После открытия явления распада ядра урана создаются установки и заводы по диффузионному выделению легкого изотопа урана (U^{235}), на которых используется его гексафторид. Двадцать последующих лет (1940-1960 г.г.) характеризуются бурным ростом исследований физических и химических свойств гексафторида урана, а также способов его получения.

Для получения гексафторида с помощью фтора используют разные урансодержащие материалы. Фторированию подвергались металлический уран или его карбид:

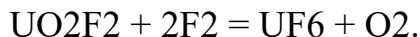


В тех же целях предложено использовать тетрафторид и двуокись урана. Известен синтез гексафторида урана непосредственно из UO_3 ; при этом

трехокись предварительно превращается в уранилфторид газообразным фтористым водородом:



И далее фторируется до гексафторида:



Реакция гексафторирования проводится при температуре 200-400°C. Гексафторид урана может быть получен из любых урансодержащих материалов при их обработке галогенфторидами (ClF_3 , BrF_3 , BrF_5 , и др.).

1.2 Свойства гексафторид урана

1.2.1 Физические свойства гексафторид урана

Гексафторид урана, в обычных условиях, представляет собой белое кристаллическое вещество, возгоняющееся без плавления. Гексафториды актиноидов NpF_6 и PuF_6 , близки к нему по своим физическим и химическим свойствам. С другой стороны, гексафторид урана является аналогом высших фторидов элементов подгруппы хрома: MoF_6 , WF_6 .

Давление пара гексафторида урана в широком диапазоне температур от 0 до 80,2°C.

Критическая точка гексафторида урана характеризуется следующими параметрами

Температура - 245°

Давление - 63 атм.

Плотность - 1,39 г/см³

Плотность твердого гексафторида урана составляет 5,09 г/см³, жидкого - 3,63 г/см³.

Теплота образования гексафторида урана из элементов



составляет 505 ± 3 ккал/моль.

Теплоты сублимации и испарения в тройной точке равны соответственно 11,38 и 6,82 ккал/моль; отсюда можно вычислить теплоту плавления, равную разности этих величин 4,56 ккал/моль.

Отдельные значения теплопроводности для UF₆ таковы: при 50 - 1,42; при 105° - 1,94. Теплопроводность жидкого UF₆ известна для одной температуры (72°) и равна $3,83 \pm 3\% \cdot 10^{-4}$ кал·см·с⁻¹·град⁻¹. Данные для твердого гексафторида полностью отсутствуют.

Вопрос о структуре молекулы гексафторида урана до настоящего времени окончательно не разрешен. Ряд авторов интерпретируют данные электронографических исследований гексафторида урана, исходя из модели ромбической бипирамиды. В других работах предполагается, что молекула гексафторида урана построена по типу неправильного октаэдра с тремя короткими и тремя длинными связями. Не исключена возможность модели молекулы UF₆ с центром инверсии, обладающей двумя короткими, двумя средними и двумя длинными связями.

Развитие теории электронной дифракции показало, что молекула гексафторида урана скорее находится в соответствии с моделью правильного октаэдра.

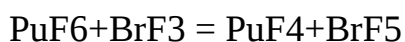
Трактовка строения молекулы гексафторида урана как правильного октаэдра позволяет обосновать отсутствие ассоциации его молекул.

1.2.2 Химические свойства гексафторида урана

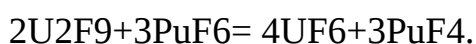
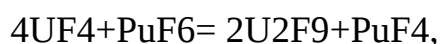
Гексафторид урана является весьма реакционноспособным веществом; химические свойства его во многом аналогичны свойствам высших фторидов актинидов и элементов подгруппы хрома.

По устойчивости к диссоциации на фтор и низшие фториды, рассматриваемые гексафториды можно расположить в ряд: PuF₆ > NpF₆ > UF₆ > MoF₆ > WF₆.

Трифторид брома фторирует соединение урана, молибдена и вольфрама, образуя гексафториды, в то время как гексафторид плутония является фторирующим агентом для по BrF_3 реакции:



Гексафторид плутония обладает способностью фторировать низшие фториды тех элементов, которые стоят в рассмотренном ряду правее PuF_6 , до высших. Например, тетрафторид урана фторируется гексафторидом плутония до UF_6



На воздухе гексафторид дымит, что обусловлено его взаимодействием с влагой воздуха, и только лишь при температуре -40° (давление паров гексафторида урана равно 0,4-0,5 мм рт.ст.) гидролитическое расщепление гексафторида урана на воздухе становится незаметным. Гидролитическое расщепление гексафторида урана в водных растворах различных реагентов приводит к тем же результатам, что и взаимодействие этих реагентов с уранилфторидом и плавиковой кислотой.

При наличии кислорода в молекуле растворителя гексафторид превращается в уранилфторид; взаимодействие с углеводородами сопровождается образованием тетрафторида и промежуточных фторидов урана.

Гексафторид урана нерастворим в сероуглероде; при отсутствии влаги взаимодействие компонентов протекает очень медленно. Довольно хорошо гексафторид урана растворим в галоидированных углеводородах (хлороформе, четырёххлористом углероде и т.д.); с некоторыми из них (тетрахлорэтаном, пентахлорэтаном и др.) он образует растворы, устойчивые при комнатной температуре в течение нескольких недель. Наиболее стойки растворы гексафторида урана в полностью фторированных углеводородах.

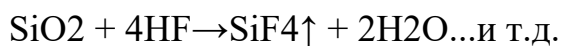
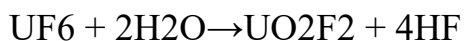
Гексафторид урана образует также устойчивые растворы и в некоторых неорганических растворителях, например, жидком фтористом водороде, галогенфторидах. К сухим газообразным кислороду, азоту, а также углекисло-

му газу, хлору и бром у гексафторид урана совершенно инертен и не реагирует с ними ни на холоде, ни при нагревании.

Для гексафторида характерны реакции восстановления, в результате которых образуются тетрафторид и промежуточные фториды урана.

Довольно энергично, при повышенной температуре, гексафторид урана реагирует со многими твердыми неорганическими веществами. Особенно легко протекают реакции, в результате которых образуются летучие продукты.

Стекло и кварц устойчивы к сухому гексафториду урана, но следы влаги могут привести к полному разрушению аппарата:



Следует отметить, что гексафторид урана совместно с фтористым водородом гораздо агрессивнее воздействует на многие материалы, чем, возможно, объясняется значительная загрязненность тетрафторида урана, полученного из гексафторида восстановлением водородом.

Что касается металлов, то они также в большинстве случаев корродируют в среде гексафторида урана. Золото и платина устойчивы к этому соединению лишь при комнатной температуре, при нагревании же они тускнеют. Свинец, олово, цинк и железо разрушаются очень быстро. Наиболее устойчивы медь, алюминий и никель, а также сплавы на их основе (монель-металл, инконель и т.д.).

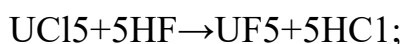
1.2.3 Методы получения гексафторида урана

Гексафторид, или шестифтористый уран, может быть получен различными способами. В качестве исходных продуктов используются тетрафторид урана, окислы, металлический уран и его сплавы, и целый ряд других соединений. Фторирующими реагентами могут быть фтор, фтористый водород с кислородом и фторгалогены. Технологическая применимость того или иного метода получения гексафторида урана определяется многими факторами,

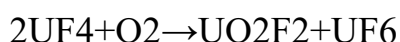
важнейшими из которых являются характеристика исходного и конечного продуктов, экономичность передела и возможность аппаратного оформления процесса.

Единственным применимым в промышленности методом производства гексафторида является высокотемпературная обработка тетрафторида урана фтором.

Без использования фтора гексафторид урана можно получить из пентахлорида:



Другим, более интересным в практическом отношении, методом получения гексафторида урана без применения фтора является окисление тетрафторида урана:



Промышленное производство гексафторида урана осуществляется главным образом для целей разделения изотопов урана. Поэтому установки по производству гексафторида располагаются, как правило, на газодиффузионных заводах.

На американских и английских заводах исходным продуктом для производства гексафторида служит очищенная двуокись урана, которая

сначала действием фтористого водорода переводится в тетрафторид, а затем перерабатывается в гексафторид урана фтором.

Производство гексафторида урана осуществляется в две или три стадии:

1) восстановление химических концентратов, а иногда очищенной трехокиси урана водородом или продуктами разложения аммиака (этот передел отсутствует, если исходным сырьем служит двуокись урана);

2) фторирование очищенной или технической двуокиси урана фтористым водородом;

3) взаимодействие очищенного или технического тетрафторида урана с фтором.

2 Аппаратурно – технологическая схема

2.1 Описание аппаратурно – технологической схемы

Сырье, окислы урана и гексафторида урана из транспортных контейнеров А-3, а смеси окислов и промежуточных фторидов из контейнеров или с помощью пневмотранспорта, загружаются в бункер А-2 и затем шнековым питателем подаются в головку пламенного реактора А-1. Скорость загрузки сырья регулируется числом оборотов шнекового питателя.

Равномерное распределение сырья по сечению реактора А-1 осуществляется распылителем.

Одновременно в головку реактора, через сопло с направленными отверстиями, тангенциально подается фтор. Для количественного фторирования фтор подается с избытком. Взаимодействие фтора и твердого продукта происходит в факеле и сопровождается выделением большого количества тепла. Тепло отводится через стенку реактора горячей промышленной водой. Избыточный фтор используется в аппаратах дожигания для фторирования тетрафторида урана или окислов урана до промежуточных фторидов.

Использование фтора в такой схеме близко к 99%, суммарный выход ГФУ до 99,99%.

Температура стенок пламенного реактора автоматически поддерживается на уровне 450-5000С; при более высокой температуре наблюдается прогорание стенок, при более низкой возможно оплавление на стенках промежуточных фторидов урана, сопровождающееся резким ухудшением условий теплоотдачи.

В пламенный реактор подается 25-50% избытка фтора по отношению к стехиометрическому; при этих условиях только около 1% урана попадает в узел выгрузки в виде «огарков».

Частицы твердого продукта, не прореагировавшие в пламенном реакторе (огарки) ссыпаются в горизонтальный узел выгрузки А-4, откуда с помощью мешалки выгружаются в электрообогреваемый контейнер А-16 и направля-

ются на последующее дробление и дожиг в аппарат дожигания или на переработку через гидролиз в производство переработки отходов и оборотов.

Технологический газ по обогреваемым трубопроводам, пройдя узел выгрузки, поступает в расширительную камеру А-5, где происходит грубая очистка от твердых пылевидных частиц, затем направляется на охлаждение горячей водой в межтрубное пространство теплообменника А-6.

Твердые пылевидные частицы из теплообменника А-6 ссыпаются в электрообогреваемый контейнер А-16 и направляются на переработку напрямую в аппарат дожигания или на переработку через гидролиз в производство переработки отходов или оборотов производства.

Далее технологический газ по обогреваемым трубопроводам поступает на очистку в электрофильтр А-7 и инерционно электростатический фильтр А-8 для более тонкой очистки парогазовой фазы от пылевидных частиц. Пыль с пластин электрофильтров периодически стряхивается вибратором, через разгрузочное устройство ссыпается в электрообогреваемый контейнер А-16 и передается на дальнейшую переработку. Корпуса аппаратов А-7, А-8 обогреваются паром.

Технологический газ после электрофильтров поступает на десублимацию гексафторида урана в конденсаторы А-91-3 (десублиматоры). Конденсация гексафторида урана осуществляется последовательно в три стадии в конденсаторах непрерывного действия с тепловым сбросом продукта. На каждой стадии в работе находятся два конденсатора. На первой и второй стадиях в качестве хладагента используется промышленная вода, в летнее время - артезианская; в качестве теплоносителя – пар. В цикле "захолаживания" находится 8 секций, в цикле "отпарка" - 1 секция. При «захолаживании» на секции подаётся вода, при "отпарке" – пар. "Запаривание" секций происходит поочередно, автоматически, через равные промежутки времени.

На третьей стадии конденсации в качестве хладагента используется холодный рассол, поступающий из холодильного отделения; в качестве теплоносителя – горячий рассол, который подогревается в рассольных баках. Для

"отпарки" гексафторида урана в конденсаторах горячим рассолом предусмотрен рассольный бак А-18, обогреваемый глухим паром, и насос А-19 для циркуляции рассола. На третьей стадии конденсации в цикле "захолаживание" или "отпарка" находятся все секции одновременно.

На поверхности наружных трубок охлаждаемых секций из технологического газа конденсируется гексафторид урана в твёрдом виде. При "отпарке" твёрдый гексафторид отслаивается от трубок и сползает в ёмкость транспортную А-101-3, герметично подсоединённую к разгрузочному штуцеру конденсатора и установленную на поворотном круге.

Отработанная вода и образовавшийся паровой конденсат сбрасываются в промканализацию.

Прямой рассол, после цикла " захолаживание", по обратному контуру идёт на охлаждение. Обратный рассол после цикла "отпарка" поступает в рассольные баки для нагрева. Нагрев осуществляется глухим паром.

Технологический газ после третьей стадии конденсации, пройдя через два обратных клапана, поступает в аппарат комбинированного типа А-11 (АКТ) для улавливания гексафторида урана, фтора и фтористого водорода на оксидах урана. Обратные клапаны предназначены для исключения попадания сырья из АКТ в конденсаторы.

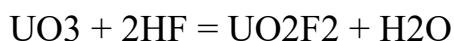
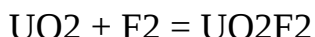
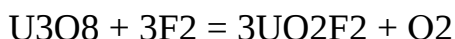
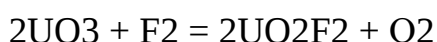
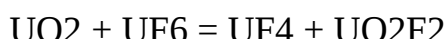
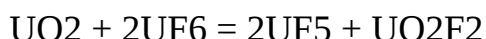
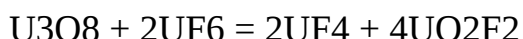
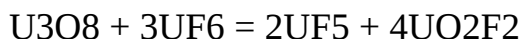
Корпуса всех конденсаторов снабжены паровыми змеевиками и обогреваются паром. Образовавшийся паровой конденсат сливается в конденсаторо-сборники.

В состав технологической линии входит аппарат комбинированного типа. На АКТ смонтированы бункер загрузки и бункер подмешивания полу-продукта. В бункеры загрузки загружается сырьё и шнеком подаётся в аппарат комбинированного типа. Технологический газ поступает в аппарат снизу.

Улавливание гексафторида урана, фтора и фтористого водорода осуществляется на окислах урана. Установлено, что при недостатке фтора и из-

бытке окислов урана, наиболее вероятно превращение окислов урана в уранилфторид.

Реакции взаимодействия гексафторида урана, фтора и фтористого водорода с окислами урана выражается следующими уравнениями:



Таким образом, применение окислов урана для извлечения гексафторида урана, фтора и фтористого водорода из технологического газа, после последней стадии конденсации, позволяет в принципе количественно поглотить все ценные компоненты.

АКТ – вертикальный аппарат с горизонтальным узлом выгрузки. Узел выгрузки состоит из трубы с водяной рубашкой, в которой расположен полый шнек выгрузки, охлаждаемый водой.

На АКТ имеется дополнительно шнек перегрузки в камерные питатели пневмотранспорта. Выгрузка осуществляется в контейнеры А-16. В верхней зоне аппарата имеется сепарационная зона, выполненная в виде усеченного конуса. Вертикальная часть аппарата разделена на три зоны. Первая снизу зона охлаждается водой, а 2-ая и 3-я зоны снабжены электронагревателями.

Полученный в результате улавливания гексафторида урана, фтора и фтористого водорода полупродукт, состоящий из смеси оксидов и промежуточных фторидов, ссыпается в горизонтальный узел выгрузки и шнеком выгружается из АКТ в контейнер А-16 или камерные питатели установки пнев-

мотранспорта для передачи в бункер загрузки А-2 пламенного реактора А-1 для дальнейшего фторирования или в бункеры подмешивания полупродукта.

"Хвостовой" газ через электрофильтр А-20 (для инерционно-электростатической очистки газов от пылевидной твердой фракции) направляется в циклонный обеспыливатель А-12, где происходит сухая очистка от пыли, затем на мокрую очистку в абсорбционную колонну А-13.

В верхней части абсорбционной колонны вмонтировано орошающее устройство. Внутренняя полость А-13 заполнена насадкой из кусков графита. Поверх насадки загружаются кольца Рашига, выполняющие роль каплеотбойники.

После абсорбционной колонны А-13 "хвостовой" газ проходит через каплеотбойник А-14, заполненный фторопластовой или полиэтиленовой стружкой и эжектором А-15 подаётся в вентсистему комплекса газоочистных сооружений для дополнительной очистки перед выбросом в атмосферу. Эжектор А-15 выполнен из металлической трубы в виде сопла.

Пневмотранспортировка полупродукта осуществляется из АКТ в бункер загрузки пламенного реактора методом импульсного пневмотранспорта. Приём полупродукта из АКТ и последующая его выдача в бункер загрузки пламенного реактора производится через камерные питатели, расположенные под АКТ. Передача полупродукта осуществляется непрерывно за счет попеременной работы двух камерных питателей в режиме загрузки – выгрузки. Перегрузка полупродукта из АКТ в камерные питатели осуществляется перегрузочным шнеком.

Полупродукт из камерных питателей через дозатор порциями, с помощью сжатого воздуха давлением не ниже 1,8 ати, подаётся в бункер загрузки пламенного реактора, а отработанная пылегазовая смесь, пройдя фильтрацию через пылеосадитель, металлотканевый фильтр и фильтр тонкой очистки, подаётся вентилятором в вентсистему комплекса газоочистных сооружений для дополнительной очистки.

На технологической линии переработки сырья предусмотрено проведение операции вакуумирования технологических аппаратов и трубопроводов перед выводом их в ремонт вакуумным насосом А-17.

Для транспортировки по цеху пустых и заполненных гексафторидом урана емкостей, а также контейнеров с продуктом, полупродуктом и для демонтажа оборудования на технологической линии предусмотрен мостовой кран грузоподъемностью 10 тонн.

В процессе работы технологической линии образуются твердые, жидкие и газообразные отходы.

В производстве гексафторида урана, в состав которого входит технологическая линия, разработаны мероприятия по утилизации или дальнейшей переработке технологических отходов:

- пыль с пластин электрофильтра в электрообогреваемом контейнере передается на дальнейшую переработку;
- охлаждающие воды (нормативно-чистые) после конденсаторов и аппаратов комбинированного типа сбрасываются в промышленную канализацию;
- "хвостовой" газ после АКТ проходит очистку на электрофильтре, циклонном обеспыливателе, абсорбционной колонне, попадает в каплеотбойник и подается в вентсистему комплекса газоочистных сооружений для дополнительной очистки перед выбросом в атмосферу.

2.2 Выбор контрольно – измерительной аппаратуры

Система управления технологическим процессом создается как автоматизированная система управления. Это позволит:

- управлять процессом в реальном времени;
- исключить субъективные ошибки оператора;
- снизить вероятность возникновения аварийной ситуации;
- улучшить качество стабилизации заданных режимов технологического процесса.

Назначение автоматизированной системы управления:

- измерение и контроль технологических параметров;
- реализация управляющих воздействий на технологический объект управления;
- выдачу аварийных и технологических сообщений.

Наименования и назначения контрольно – измерительных приборов приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Выбор контрольно – измерительной аппаратуры

Обозначение прибора	Наименование прибора
FI	Прибор для измерения расхода регулирующий: установленный на щите техконтроля: KROHNE 0 – 200 м ³ /ч (0 - 250) м ³ /ч
PI	Датчик для измерения давления: MC2040, 0 – 0,07МПа (0 – 0,1МПа)
TE	Прибор для измерения температуры показывающий, регистрирующий, установленный на щите: ТХК (0 - 2500 °С)
LI	Прибор для измерения уровня (сигнализация и блокировка): ультразвуковой (0,1 – 0,5м ³)
QT	Прибор для измерения загазованности помещения (газоанализатор) регистрирующий: установленный на щите: типа «Хоббит»
QI	Прибор для измерения типа продукта типа «Тоledo» (0 – 100000Н): установленный на щите техконтроля

2.3 Подбор стандартного оборудования

В качестве привода шнеков пламенного реактора, аппарата комбинированного типа со шнековым питателем, а также для электрофильтров, принимаем мотор – редуктор МПз-40 по ГОСТ 21355-75(мощность электродвигателя 55кВт, электродвигатель 4АН280М10У3), для шнекового питателя пламенного реактора используем электродвигатель 4А100Л2У3 (мощность 7,5кВт), для шнека выгрузки электродвигатель 4А112М2У3 (мощность 5,5кВт), редукторы ЦУ-160-4,0-12У2, ЦУ-200-0,5-12У2 ГОСТ 21426-75.

В качестве обогрева для контейнеров А-16, транспортных трубопроводов и корпусов аппаратов принимаем электронагреватель ленточный (мощность 1 кВт).

3 Расчет нестандартного оборудования

3.1 Расчет пламенного реактора

3.1.1 Исходные данные

Исходные данные сведены в таблицу 3.1.1

Таблица 3.1.1 – Исходные данные

	Наименование	Ед. изм.	Величина
1	Производительность по урану	кг/ч	640
2	Производительность по U_3O_8	кг/ч	770
3	Степень фторирования	%	99,9
4	Избыток фтора	%	10
5	Начальная температура процесса	°C	370
6	Температура поступающих продуктов	°C	20
7	Максимальная температура процесса	°C	500
8	Начальная температура теплоносителя	°C	20
11	Конечная температура теплоносителя	°C	40
12	Средняя температура процесса	°C	430
13	Рабочее давление в аппарате	МПа	0,3
14	Рабочее давление в рубашке	МПа	0,7
15	Теплоноситель		вода

Парогазовая смесь, выходящая из реактора для фторирования урана, имеет сложный состав. Вместе с целевым продуктом реакции – гексафторидом урана, в ней присутствуют избыток фтора и фтороводород, также входят пары дифторида кислорода OF_2 и нитроксилфторида NOF .

Для облегчения расчета аппарата материальный расчет будем проводить по уравнению:



3.1.2 Материальный расчет

Материальный расчет проводим для составления схемы материальных потоков и определения их количества (производительности), влияющих в дальнейшем на тепловой и прочностной расчеты определения состава потоков, и составления таблицы материального баланса процесса фторирования оксида урана.

Материальный расчет производим по уравнению, приведенному выше.

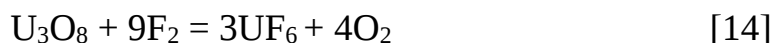


Таблица 3.1.2 – Молекулярная масса веществ в реакции

Вещество	U_3O_8	9F_2	3UF_6	4O_2
Молекулярная масса, г/моль	842	342	1047	128

$$m_{\text{F}_2(\text{смex})100\%} = m_{\text{U}_3\text{O}_8} \frac{M_{\text{F}_2}}{M_{\text{U}_3\text{O}_8}} = 770 \cdot \frac{342}{842} = 312,755 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{F}_2(\text{расход})} = m_{\text{F}_2(\text{смex})100\%} \cdot \alpha = 312,755 \cdot 0,999 = 312,442 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{F}_2(\text{изб})} = \frac{100+10}{100} \cdot m_{\text{F}_2(\text{смex})100\%} = 1,1 \cdot 312,755 = 344,03 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{F}_2(\text{осм})} = m_{\text{F}_2(\text{изб})} - m_{\text{F}_2(\text{расход})} = 344,03 - 312,442 = 31,59 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{O}_2} = m_{\text{U}_3\text{O}_8} \frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{U}_3\text{O}_8}} \cdot \alpha = 770 \cdot \frac{128}{842} \cdot 0,999 = 116,9 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{UF}_6} = m_{\text{U}_3\text{O}_8} \frac{M_{\text{UF}_6}}{M_{\text{U}_3\text{O}_8}} \cdot \alpha = 770 \cdot \frac{1047}{842} \cdot 0,999 = 956,5 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{U}_3\text{O}_8(\text{осм})} = m_{\text{U}_3\text{O}_8} \cdot (1 - \alpha) = 770 \cdot (1 - 0,999) = 0,77 \text{ кг/ч}.$$

По результатам расчёта составляем таблицу материального баланса.

Таблица 3.1.3 – Материальный баланс процесса получения UF₆

Приход				Расход			
№	Статьи при- хода	массовый расход, кг/ч	%	№	Статьи расхода	массовый расход, кг/ч	%
1	закись- окись урана	770	69	1	ГФУ	956,5	86
2	фтор	344,03	31	2	кислород	116,9	11
				3	огарок	0,77	0,07
				4	фтор	31,59	2,93
Сумма		1114,03	100	Сумма		1105,76	100

3.1.3 Тепловой расчет

Температура процесса не должна превышать 500°С., следовательно, необходимо охлаждать аппарат, но не ниже 370°С. Охлаждение производим водой начальной температурой 13°С. Расход воды рассчитывается на основе теплового баланса, который определяется по уравнению [14]:

$$\sum Q'_{\text{прих}} = \sum Q'_{\text{расх}}, \quad (3.1.1)$$

где $\sum Q'_{\text{прих}}$ – суммарный приход от всех источников тепла, Вт, равный

$$\sum Q'_{\text{прих}} = Q'_{\text{окс}} + Q'_{\text{фтора}} + Q'_{\text{реак.}} + Q'_{\text{пост}}; \quad (3.1.2)$$

$\sum Q'_{\text{расх}}$ – суммарное тепло, отводимое из аппарата, Вт, равное

$$\sum Q'_{\text{расх}} = Q'_{\text{ГФУ}} + Q'_{\text{огар}} + Q'_{\text{ост}} + Q'_{\text{отв}} + Q'_{\text{потерь}}; \quad (3.1.3)$$

Здесь $Q'_{\text{окс}}$ – тепло, поступающее с оксидом урана, Вт;

$Q'_{\text{газ}}$ – тепло, поступающее с газом, Вт;

$Q'_{\text{реак}}$ – тепло, выделяемое в процессе реакции, Вт;

$Q'_{\text{пост}}$ – тепло, поступающие с теплоносителем, Вт;

$Q'_{\text{ГФУ}}$ – тепло, отводимое продуктом, Вт;

$Q'_{\text{огар}}$ – тепло, отводимое огарком, Вт;

$Q'_{\text{ост}}$ – тепло, отводимое остаточными газами, Вт;

$Q'_{\text{отв}}$ – тепло, отводимое теплоносителем, Вт

$Q'_{\text{потерь}}$ – потери тепла в окружающую среду, Вт.

Количество тепла, поступающего с веществом, определим по уравнению [14]:

$$Q'_i = c_i \cdot G_i \cdot t_i^{\text{BX}} \quad (3.1.4)$$

где c_i – удельная теплоемкость вещества, Дж/(кг·К);

G_i – производительность по данному веществу, кг/ч;

t_i^{BX} – температура поступающего вещества, °С.

Количество тепла, отводимого с веществом, определим по уравнению:

$$Q'_i = c_i \cdot G_i \cdot t_i^{\text{ВЫХ}} \quad (3.1.5)$$

где c_i – удельная теплоемкость вещества, Дж/(кг·К);

G_i – производительность по данному веществу, кг/ч;

$t_i^{\text{ВЫХ}}$ – температура отводящего вещества, °С.

Тепло, поступающее с оксидом урана, равно:

$$Q'_{\text{окс}} = c_{\text{окс}} \cdot G_{\text{окс}} \cdot t_{\text{окс}}^{\text{BX}} = \frac{237,9}{842} \cdot 1000 \cdot \frac{770}{3600} \cdot 20 = 1208,5 \text{ Вт}.$$

Тепло, поступающее с фтором, равно:

$$Q'_{\text{фтора}} = c_{\text{фтора}} \cdot G_{\text{фтора}} \cdot t_{\text{фтора}}^{\text{BX}} = \frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{344,03}{3600} \cdot 20 = 1575,27 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое с гексафторидом урана, равно:

$$Q'_{\text{ГФУ}} = c_{\text{ГФУ}} \cdot G_{\text{ГФУ}} \cdot t_{\text{ГФУ}}^{\text{ВЫХ}} = \frac{129,90}{349} \cdot 1000 \cdot \frac{956,5}{3600} \cdot 500 = 49445,7 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое с огарком, равно:

$$Q'_{\text{огар}} = c_{\text{огар}} \cdot G_{\text{огар}} \cdot t_{\text{огар}}^{\text{ВЫХ}} = \frac{237,9}{842} \cdot 1000 \cdot \frac{0,77}{3600} \cdot 500 = 30,2 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое остаточными газами, равно:

$$Q'_{\text{ост}} = Q'_{O_2} + Q'_{F_2} = \left(\frac{29,35}{32} \cdot 1000 \cdot \frac{116,9}{3600} \cdot 500 \right) + \left(\frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{31,59}{3600} \cdot 500 \right) = \\ = 14891,8 + 3616,6 = 18508,4 \text{ Вт}.$$

Тепло, поступающее в результате реакции, равно:

$$Q'_{\text{реак}} = |\Delta H| \cdot G = 1930 \cdot 4190 \cdot \frac{312,44}{3600} = 701835,7 \text{ Вт}.$$

Тепловые потери составят:

$$Q'_{\text{потерь}} = \left[Q'_{\text{окс}} + Q'_{\text{фтора}} + Q'_{\text{реак}} - (Q'_{\text{ост}} + Q'_{\text{огар}} + Q'_{\text{ГФУ}}) \right] \cdot 0,2 = \\ = \left[1208,5 + 1575,3 + 701835,7 - (18508,4 + 30,2 + 49445,7) \right] \cdot 0,2 = 127327 \text{ Вт}.$$

Расход воды, составит [14]:

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q'_{\text{окс}} + Q'_{\text{фтора}} + Q'_{\text{реак}} - Q'_{\text{огар}} - Q'_{\text{ост}} - Q'_{\text{ГФУ}} - Q'_{\text{потерь}}}{(t_{\text{воды}}^{\text{ВЫХ}} - t_{\text{воды}}^{\text{ВХ}}) \cdot c_{\text{воды}}} = \\ = \frac{1208,5 + 1575,27 + 701835,7 - 30,2 - 18508,4 - 49445,7 - 127327}{(50 - 13) \cdot \frac{4,19}{18} \cdot \frac{1000}{3600}} = \frac{509308,2}{31} = \\ = 16429,296 \text{ кг/ч} \approx 16,46 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тепло, поступающее с водой, равно:

$$Q'_{\text{ВХ.вода}} = c_{\text{вода}} \cdot G_{\text{вода}} \cdot t_{\text{вода}}^{\text{ВЫХ}} = \frac{4,19}{18} \cdot 1000 \cdot \frac{16,46 \cdot 998}{3600} \cdot 13 = 13809,7 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое нагретой водой, равно [14]:

$$Q'_{\text{вых.вода}} = c_{\text{вода}} \cdot G_{\text{вода}} \cdot t_{\text{вых.вода}}^{\text{вых}} = \frac{4,19}{18} \cdot 1000 \cdot \frac{16,46 \cdot 998}{3600} \cdot 50 = 53114,2 \text{ Вт}.$$

По результатам расчета составляем таблицу теплового баланса.

Таблица 3.1.4 – Тепловой баланс

№	Статья прихода	Количество теплоты, Вт	%	№	Статья расхода	Количество тепла, Вт	%
1	Закись-окись урана	1208,471	0,2	1	ГФУ	49445,7	7
2	Фтор	1575,27	0,2	2	Огарок	30,2	0,374
3	Тепло реакции	701835,7	99,6	3	Остаточные газы	18508,4	2,626
				4	Вода	509308	72
				5	Тепловые потери	127327	18
	Сумма	704619,4	100		Сумма	704619,3	100

3.1.4 Конструктивный расчет

В конструктивном расчете производим расчет основных размеров реактора, диаметры патрубков.

3.1.4.1 Диаметры патрубков

Диаметр патрубков зависит от объемного расхода и скорости движения веществ и определяется из уравнения расхода:

$$V = \frac{\omega \cdot \pi \cdot d^2}{4}, \quad V = \frac{G}{\rho},$$
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}, \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}.$$

Диаметр патрубка для подачи и вывода воды равен:

$$d_{\text{воды}} = \sqrt{\frac{16,46 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3600}} = 0,08 \text{ м.}$$

Определяем диаметр патрубка для подвода фтора.

Плотность фтора при начальной температуре 20°С будет равна:

$$\rho_{F_2}^{20^0 C} = \frac{M \cdot T_0}{22,4 \cdot T}, \text{ кг/м}^3,$$

где M – молярная масса газа, кг/кмоль;

T – температура, К.

$$\rho_{F_2}^{20^0 C} = \frac{38 \cdot 273}{22,4 \cdot 293} = 1,58 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем объемный расход фтора:

$$V_{F_2} = \frac{G_{F_2}}{\rho_{F_2}^{20^0 C}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где V_{F_2} – объемный расход фтора;

G_{F_2} - массовый расход фтора.

$$V_{F_2} = \frac{344,03}{1,58} = 217,74 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,06 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Определим диаметр патрубка:

$$d_{\text{фтор}} = \sqrt{\frac{4V}{\pi \omega}}, \text{ м},$$

где ω - скорость подачи фтора.

$$d_{\text{фтор}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 30}} = 0,05 \text{ м}.$$

Диаметр патрубка для подачи оксида урана определяем по производительности.

$$d_{\text{оксида}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \varphi \cdot \rho_{\text{мат}} \cdot k \cdot t \cdot n}},$$

где G – производительность по оксиду урана, $G = 770$, кг/ч;

D – диаметр патрубка, м;

φ – коэффициент заполнения, $\varphi = 0,1$;

$\rho_{\text{мат}}$ – плотность материала, $\rho_{\text{мат}} = 8390$, кг/ч;

k – коэффициент разбивки шнека, $k \approx 0,33$;

t – шаг винта;

n – скорость вращения, м/с.

$$d_{\text{оксида}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 770}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 3000 \cdot 0,13 \cdot 0,15 \cdot 5 \cdot 3600}} = 0,048 \text{ м}$$

Переводя значение в метры, и округляя его до стандартного, получаем диаметр патрубка 50 мм.

Скорость ω истечения смеси фтора и оксида урана через круглое отверстие форсунки при начальном давлении p_1 , не превышающем $0,15 \text{ МН/м}^2$ и конечном давлении p_0 , близком к атмосферному, определяем по формуле:

$$\omega = \varphi \sqrt{\frac{2(p_1 - p_0)}{\rho}}, \text{ м/с},$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = 0,6$;

F – площадь сечения выходного отверстия, м^2 ;

φ – коэффициент скорости, кг/м^3

Примем давление на выходе из реактора $0,12 \text{ МН/м}^2$.

$$\omega = 0,85 \sqrt{\frac{2(0,15 - 0,12) \cdot 10^6}{1,58}} = 0,18 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Зная скорость истечения смеси, определим площадь отверстия форсунки по формуле:

$$F = \frac{V}{\omega}, \text{ м}^2;$$

$$F = \frac{0,06}{0,18 \cdot 10^3} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Диаметр отверстия форсунки определится по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \text{ м},$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,020 \text{ м}.$$

3.1.4.2 Расчет пламени

Дальнобойность факела определяем по формуле:

$$L_{\phi} = 3,16 \cdot \left(1 + \frac{m \cdot \rho_{F_2}}{\rho_{U_3O_8}} \right), \text{ м},$$

где m – теоретическое количество фтора, необходимое для горения 1 кг оксида урана;

$$\rho_{F2} = 1,58 \text{ кг/ м}^3;$$

$$\rho_{U_3O_8} = 8390 \text{ кг/ м}^3;$$

$$L_{\partial} = 3,16 \cdot \left(1 + \frac{0,7 \cdot 1,58}{8390}\right) = 3,16 \text{ м.}$$

Диаметр пламени находим из соотношения:

$$\frac{L_{\partial}}{D} = 15,$$

где L_{∂} – длина пламени, м;

D – диаметр пламени, м.

$$D = \frac{3,16}{15} = 0,21 \text{ м.}$$

Максимальная длина факела определяется из выражения:

$$L_{\max} = 2 \cdot L_{\partial} = 2 \cdot 3,16 = 6,32 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр и высоту аппарата 320мм и 7200мм соответственно.

3.1.5 Прочностной расчет

3.1.5.1 Определение характеристик аппарата

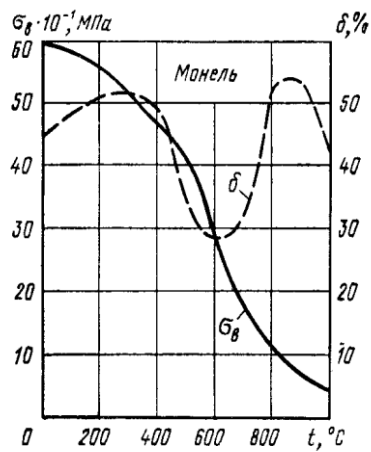
За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимаем наибольшее значение температуры стенки

$$t_p = \max \{t_{\text{среды}}; 500 \text{ }^{\circ}\text{C}\};$$

Для рубашки

$$t_{p \text{ руб.}} = \max \{40 : 20\} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Для корпуса аппарата принимаем конструкционный материал монель-металл, имеющего скорость коррозии $\Pi = 0,1 \text{ мм/год}$.



	C	S	Ni+Co	Mn	Si	Ti	Cu	Fe	Al	Mg	As	Bi	Pb	P	Sb
НМЖМц 28-2,5-1,5	0,2	0,01	65,2-69,8	1,2-1,8	0,05	-	27-29	2-3	-	0,1	0,01	0,002	0,003	0,01	0,002

Для монель-металла корпуса при расчетной температуре $t_{\delta} = 500^{\circ}\text{C}$ допускаемые напряжения равны:

$$n_{\sigma} = 2,4; n_m = 1,1.$$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_{\sigma}}{n_{\sigma}}; \frac{\sigma_m}{n_m} \right\} = 167 \text{ МПа}, \quad [11], [49]$$

$$[\sigma] = 167 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{\text{исп}} = \frac{\sigma_m}{n_{\text{исп}}} = \frac{250}{1,1} = 227 \text{ МПа}.$$

Для рубашки аппарата принимаем конструкционный материал ВСт3

Для ВСт3 рубашки при расчетной температуре $t_{\delta} = 40^{\circ}\text{C}$ допускаемые напряжения равны:

$$[\sigma]_{\text{л}} = 149 \text{ МПа}. \quad [18]$$

Для корпуса при расчетной температуре модуль продольной упругости монель-металла равен:

$$E = 1,83 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Для рубашки при расчетной температуре модуль продольной упругости равен:

$$E_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Выбор коэффициента прочности сварного шва с учетом специфики сварного шва принимаем $\varphi = 0,9$. [18]

3.1.5.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

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

Исполнительную толщину стенки элемента сосуда и аппарата определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad [18]$$

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

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

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

Прибавка к расчетным толщинам

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

3.1.5.3 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления

Исходные данные: $p = 0,3 \text{ МПа}$, $[\sigma] = 167 \text{ МПа}$, $[\sigma]_u = 227 \text{ МПа}$, $h = 7,2 \text{ м}$,

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \rho_{\text{воды}} = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s \geq s_p + C,$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\}; \quad [11]$$

где p_p - расчетное давление,

p_u - пробное давление.

$$p_p = p + p_z, \quad [11]$$

где p_z - гидростатическое давление среды, которое определяется

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h,$$

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h = 998 \cdot 9,81 \cdot 7,2 = 0,07 \text{ МПа},$$

$$p_p = p + p_z = 0,3 + 0,07 = 0,37 \text{ МПа},$$

$$p_u = 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_u}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,37 \cdot \frac{227}{167} = 0,62 \text{ МПа} \quad [11]$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\} = 0,48 \text{ мм}.$$

$$s \geq s_p + C = 0,48 + 1 = 1,48 \text{ мм}.$$

Допускаемое внутреннее давление следует рассчитывать по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}. \quad [19]$$

3.1.5.4 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления

Исходные данные: $p = 0,7 \text{ МПа}$, $[\sigma] = 167 \text{ МПа}$, $[\sigma]_{\text{л}} = 227 \text{ МПа}$, $h = 0,5 \text{ м}$,
 $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $\rho_{\text{воды}} = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Толщину стенки приближенно определяем по формулам:

$$s \geq s_{p,н} + C,$$

$$s_{p,н} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\}, \quad [11]$$

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h = 998 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 0,004 \text{ МПа}.$$

$$p_p = p + p_z = 0,7 + 0,05 = 0,704 \text{ МПа}.$$

Коэффициент K_2 определяется по номограмме рис. 1.14 [11] при соответствующих значениях коэффициентов K_1 и K_3 , определяемых по формулам:

$$K_1 = \frac{n_y \cdot p_p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E}; \quad [11]$$

$$K_3 = \frac{l_p}{D}, \quad [11]$$

где l_p – длина корпуса аппарата в месте действия наружного давления.

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,704}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5} = 3,84;$$

$$K_3 = \frac{500}{320} = 1,56;$$

$$K_2 = 0,9.$$

Толщина стенки корпуса:

$$s_{p.n} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = 2,88 \text{ мм},$$

$$s \geq s_{p.n} + C = 2,88 + 1 = 3,88 \text{ мм}.$$

Исполнительную толщину стенки корпуса определяем по формуле:

$$s = \max \left\{ s_p; s_{p.n} \right\} + C;$$

$$s = \max \{0,48; 2,88\} + 1 = 3,88 \text{ мм}.$$

Принимаем $s = 6 \text{ мм}$.

Находим допускаемое внутреннее давление

$$[p] = \frac{2 \cdot 167 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1)}{320 + (6 - 1)} = 4,62 \text{ МПа};$$

$$p \leq [p] (0,3 < 4,62).$$

Допускаемое наружное давление следует определять по формуле:

$$[p]_n = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E} \right)^2}}, \quad [19]$$

где допускаемое давление из условия прочности определяем по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - C)}{D + (s - C)}; \quad [19]$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 167 \cdot (6-1)}{320 + (6-1)} = 5,13 \text{ МПа}.$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяем по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-C)}{D} \right]^{2,5}, \quad [19]$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-C)}} \right\}; \quad [19]$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{320}{500} \cdot \sqrt{\frac{320}{100 \cdot (6-1)}} = 4,41 \right\} = 1;$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5 \cdot 320}{2,4 \cdot 0,16 \cdot 500} \cdot \left[\frac{100 \cdot (6-1)}{320} \right]^{2,5} = 4,88 \text{ МПа};$$

$$[p]_H = \frac{5,13}{\sqrt{1 + \left(\frac{5,13}{4,88} \right)^2}} = 3,53 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_H \quad (0,7 < 3,53).$$

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру

$$\frac{s-C}{D} \leq 0,1;$$

$$\frac{6-1}{320} = 0,015 < 0,1.$$

3.1.5.5 Расчет толщины стенки рубашки из условия действия внутреннего давления

Исходные данные: $p = 0,7 \text{ МПа}$, $[\sigma] = 149 \text{ МПа}$, $[\sigma]_u = 154 \text{ МПа}$, $g = 9,81 \frac{\text{Кг}}{\text{м}^3}$,

$$\rho_{\text{воды}} = 998 \frac{\text{Кг}}{\text{м}^3}, \quad D = 500 \text{ мм}$$

Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s \geq s_p + C,$$
$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\}; \quad [11]$$

где p_p - расчетное давление,

p_u - пробное давление.

$$p_p = p + p_z,$$

где p_z - гидростатическое давление среды, которое определяется

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h,$$

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h = 998 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 0,004 \text{ МПа},$$

$$p_p = p + p_z = 0,7 + 0,04 = 0,704 \text{ МПа},$$

$$p_u = 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_u}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,704 \cdot \frac{149}{154} = 0,85 \text{ МПа}$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\} = 1,58 \text{ мм.}$$

$$s \geq s_p + C = 1,58 + 1 = 2,58 \text{ мм.}$$

Из конструктивных соображений принимаем $s_p = 4 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление следует рассчитывать по следующей формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}. \quad [19]$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 0,9 \cdot (4 - 1)}{500 + (4 - 1)} = 1,59 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p] \quad (0,7 \leq 1,59).$$

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру

$$\frac{s - C}{D} \leq 0,1;$$

$$\frac{4 - 1}{500} = 0,006 < 0,1.$$

3.1.5.6 Проверка необходимости укрепления отверстий

Расчетный диаметр одиночного отверстия в крышке корпуса вычисляем по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s_K - C}{s_{K,p}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_K - C)}; \quad [20]$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{6 - 1}{2,88} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{320 \cdot (6 - 1)} = 74,88 \text{ мм}.$$

Проверяем условие:

$$d_R \leq d_0 \quad (30 < 74,88). \quad [20]$$

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

3.1.5.7 Расчет укрепления корпуса и рубашки кольцами жесткости

Для заданных расчетного давления (p) и толщины стенки (s) коэффициент (K_4) следует рассчитывать по формуле:

$$K_4 = \frac{p_p \cdot (D + s - C)}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - C)} - 1. \quad [19]$$

Для корпуса коэффициент (K_4) равен:

$$K_4 = \frac{0,37 \cdot (320 + 6 - 1)}{2 \cdot 0,9 \cdot 167 \cdot (6 - 1)} - 1 = -0,86.$$

Для рубашки коэффициент (K_4) равен:

$$K_4 = \frac{0,704 \cdot (500 + 4 - 1)}{2 \cdot 0,9 \cdot 149 \cdot (4 - 1)} - 1 = -0,55.$$

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

3.1.5.8 Проверка на прочность при гидравлических испытаниях

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

$$[p]_u = \frac{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}. \quad [11]$$

3.1.5.8.1 Корпус

Допускаемое внутреннее давление при испытаниях

$$[p]_u = \frac{2 \cdot 227 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1)}{320 + (6 - 1)} = 6,28 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_u \quad (0,3 < 6,28).$$

3.1.5.8.2 Рубашка

Допускаемое внутреннее давление при испытаниях

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

$$[p]_u = \frac{2 \cdot 154 \cdot 0,9 \cdot (4 - 1)}{500 + (4 - 1)} = 1,65 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_u \quad (0,7 < 1,65).$$

3.1.5.9 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов стыка днища с обечайкой

Допускаемые напряжения на краю элемента определяются по следующей формуле:

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

$$[\sigma]_{кр.} = 1,3 \cdot 149 = 193,7 \text{ МПа.}$$

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

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u &= \Delta_p^3 + \Delta_{Q_0}^3 + \Delta_{M_0}^3, \\ \theta_p^u - \theta_{Q_0}^u + \theta_{M_0}^u &= -\theta_p^3 - \theta_{Q_0}^3 - \theta_{M_0}^3, \end{aligned} \right\}$$

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 ;

$\Delta_p^3, \Delta_{Q_0}^3, \Delta_{M_0}^3, \theta_p^u, \theta_{Q_0}^u, \theta_{M_0}^u$ – соответственно радиальные и угловые

перемещения края конической оболочки

под действием нагрузок p, Q_0, M_0 .

Подставляя в уравнения совместности деформаций значения деформаций, получим:

$$\frac{(2-\mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s-C)} \cdot p - \frac{2\beta \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C)} \cdot M_0 = \frac{p \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot (s_\partial - C)} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) +$$
$$\frac{2 \cdot \beta_\partial \cdot a^2}{(s_\partial - C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta_\partial^2 \cdot a^2}{(s_\partial - C) \cdot E} \cdot M_0;$$

$$- \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot M_0 = - \frac{2 \cdot \beta_\partial^2 \cdot a^2}{(s_\partial - C) \cdot E} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta_\partial^3 \cdot a^2}{(s_\partial - C) \cdot E} \cdot M_0;$$

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

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

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

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

$$a = R = 160 \text{ мм};$$

$$b = 80 \text{ мм};$$

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{160 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-6}}} = 35,92 \text{ м}^{-1};$$

$$\beta_{\partial} = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{160 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-6}}} = 35,92 \text{ м}^{-1};$$

Подставляя эти значения, определяем Q_0 и M_0 :

$$Q_0 = -32,5 \cdot 10^{-7} \text{ МН/м};$$

$$M_0 = -0,29 \cdot 10^{-7} \text{ МН} \cdot \text{м/м}.$$

Суммарные напряжения на краю конической обечайки:

меридиональное

$$\begin{aligned} \sigma_{m\partial} &= \sigma_{m\partial}^p + \sigma_{m\partial}^{Q_0} + \sigma_{m\partial}^{M_0} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot (s_{\partial} - C)} + 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s_{\partial} - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,004 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7})}{(0,004 - 0,001)^2} = (-11,5 \pm 0,019) = 11,519 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{t\partial} &= \sigma_{t\partial}^p + \sigma_{t\partial}^{Q_0} + \sigma_{t\partial}^{M_0} = \frac{p \cdot a \cdot \left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_{\partial} - C)} + \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta_{\partial} \cdot a}{(s_{\partial} - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta_{\partial}^2 \cdot a}{(s_{\partial} - C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s_{\partial} - C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,4 \cdot \left(2 - \frac{0,23^2}{0,115^2}\right)}{2 \cdot (0,004 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-32,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 49,93 \cdot 0,4}{(0,004 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7}) \cdot 49,93^2 \cdot 0,4}{(0,004 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7})}{(0,004 - 0,001)^2} = (23,0251 \pm 0,0058) = 23,0309 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки:

меридиональное

$$\begin{aligned} \sigma_{m0} &= \sigma_{m0}^p - \sigma_{m0}^{Q_0} + \sigma_{m0}^{M_0} = \frac{p \cdot R}{2 \cdot (s - C)} - 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,004 - 0,001)} \pm \frac{6 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7})}{(0,004 - 0,001)^2} = \\ &= (11,5 \pm 0,019) = 11,0519 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

кольцевое

$$\begin{aligned}\sigma_{t0} &= \sigma_{t0}^p - \sigma_{t0}^{Q_0} + \sigma_{t0}^{M_0} = \frac{p \cdot R}{(s-C)} - \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot R}{(s-C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot R}{(s-C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s-C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,4}{(0,004 - 0,001)} - \frac{2 \cdot (-32,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 49,93 \cdot 0,4}{(0,004 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7}) \cdot 49,93^2 \cdot 0,4}{(0,004 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot (-0,29 \cdot 10^{-7})}{(0,004 - 0,001)^2} = (23,0251 \pm 0,0058) = 23,0309 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Максимальное напряжение на краю:

конической обечайки

$$\begin{aligned}\sigma_{\max \partial} &= \max \left\{ \sigma_{m \partial}; \sigma_{t \partial} \right\} = \max \{11,519; 23,0309\} = 23,0309 \text{ МПа;} \\ \sigma_{\max l} &< 1,3 \cdot [\sigma] (23,0309 < 171,405);\end{aligned}$$

цилиндрической обечайки

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \max \left\{ \sigma_{m0}; \sigma_{t0} \right\} = \max \{11,519; 23,0309\} = 23,0309 \text{ МПа;} \\ \sigma_{\max} &< 1,3 \cdot [\sigma] (23,0309 < 171,405).\end{aligned}$$

Таким образом, условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется.

3.1.5.10 Расчет и подбор фланцев

Для корпуса и рубашки аппарата принимаем стандартный плоский приварной фланец по ОСТ 26-426 – 79 с соединительным выступом. Конструкция фланца приведена на рисунке 3.1.1.

Таблица 3.1.5 – Фланец для аппарата стальной плоский приварной

D	320	d	M20
$p, \text{МПа}$	0,3	h	18
D_n	460	s_0	6
D_6	420	z	12
D_{cn}	390	b_n	16

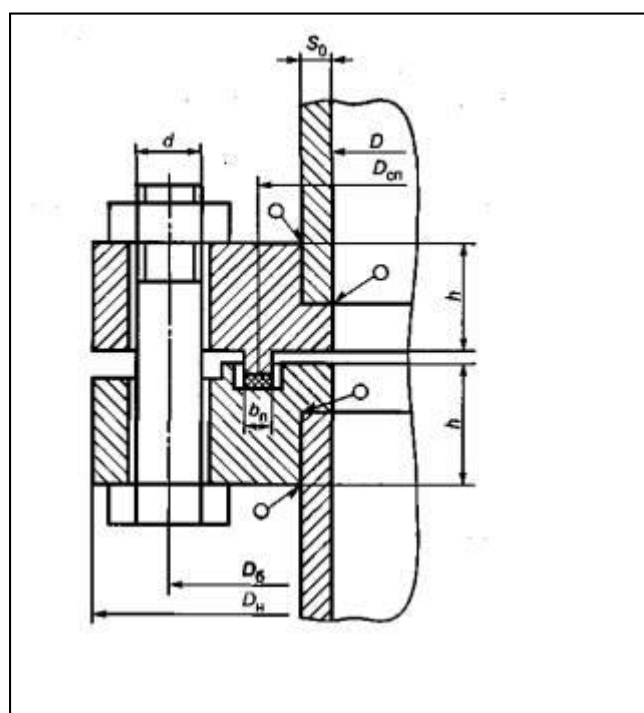


Рисунок 3.1.1 – Фланец корпуса и рубашки аппарата

Материал фланца - сталь 12X18H10T, материал болтов - сталь 35X

Выбираем плоский приварной фланец, конструктивные размеры выбираем по таблице 21.9 [10, с. 551]

- Конструктивные размеры фланца.

толщину втулки принимаем равной исполнительной толщине штуцера

$$s_0 := 6 \quad \text{мм}$$

выбираем болты M20, количество $n := 12$ штук

Внутренний диаметр фланца

$$D := 320 \quad \text{мм}$$

Диаметр болтовой окружности

$$D_6 := 420 \quad \text{мм}$$

Наружный диаметр фланца

$$D_H := 460 \quad \text{мм}$$

Условия применимости формул [11, с. 9]:

$$Usl_3 := \begin{cases} Usl_3 \leftarrow \text{"условие выполняется"} & \text{if } \frac{D_H}{D} \leq 5 \\ Usl_3 \leftarrow \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_3 = \text{"условие выполняется"}$

Высота фланца

$$h := 18 \quad \text{мм} \quad h1 := h \quad h2 := h$$

$$Usl_4 := \begin{cases} Usl_4 \leftarrow \text{"условие выполняется"} & \text{if } \frac{2 \cdot h}{D_H - D} \geq 0.25 \\ Usl_4 \leftarrow \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_4 = \text{"условие выполняется"}$

Наружный диаметр прокладки по формуле (1.120) [11, с. 96]

$e := 26$ нормативный параметр см. таблицу 1.41 [11, с. 95]

$$D_{н.п.} := D_6 - e = 394 \quad \text{мм}$$

Средний диаметр прокладки

$$b_{п.} := 16 \quad \text{ширина плоской неметаллической прокладки опр. по таблице 1.42 [11, с. 96], мм}$$

$$D_{с.п.} := D_{н.п.} - b_{п} = 378 \quad \text{мм}$$

выбираем материал прокладки - Паронит по таблице 7.2 [10, с. 239]

- Нагрузки действующие на фланец

Равнодействующая внутреннего давления [11, с. 98]

$$P_p := 0.233 \text{ МПа}$$

$$Q_d := P_p \cdot \frac{\pi \cdot D_{с.п.}^2}{4} = 26147.454 \quad \text{Н}$$

Реакция прокладки

b_0 эффективная ширина прокладки

$$b_0 := b_{п} = 16 \quad \text{мм}$$

$m := 2.5$ прокладочный коэффициент см. таблицу 1.44 [11, с. 98]

$$R_{п} := \pi \cdot D_{с.п.} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_p = 11067.705 \quad \text{Н}$$

Усилие Q_b возникающее от температурных деформаций [11, с. 98]

$$\alpha_{\phi 1} := 17 \cdot 10^{-6} \quad \text{коэффициент линейного расширения материала фланцев, опр. по таблице XI, } 1^{\circ}\text{C [11, с. 286]}$$

$$\alpha_{\phi 2} := \alpha_{\phi 1}$$

$$\alpha_b := 12.1 \cdot 10^{-6} \quad \text{коэффициент линейного расширения материала болтов, опр. по таблице XI, } 1^{\circ}\text{C [11, с. 286]}$$

$$t := 110 \quad ^{\circ}\text{C}$$

расчетная температура неизолированных фланцев по таблице 1.37 [11, с. 92]

$$t_{\phi 1} := 0.96 \cdot t = 105.6 \quad ^{\circ}\text{C} \quad t_{\phi 2} := t_{\phi 1}$$

расчетная температура болтов по таблице 1.37 [11, с. 92]

$$t_b := 0.95 \cdot t = 104.5 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$E_b := 2.15 \cdot 10^5 \quad \text{модуль продольной упругости для болтов из стали 35Х, МПа}$$

$$f_b := 154 \quad \text{Расчетная площадь поперечного сечения болта, мм}^2$$

Для болтов диаметром равным $d_b := 20$ мм принимаем диаметр отверстия под болты равным $d := 23$ мм по таблице 21.2 [10, с. 539]

Жесткость фланцевого соединения γ [11]

Плечи действия усилий в болтах (шпильках):

$$b := 0.5 \cdot (D_b - D_{с.п.}) = 21 \quad \text{мм}$$

$E_{620} := 2.18 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости для болтов из стали 35Х
при 20 °С, МПа

$E_1 := 2.02 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости материала фланца, МПа

$E_2 := E_1$

$E_{120} := 2.05 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости материала фланца при 20
°С, МПа

$E_{220} := E_{120}$

Податливость прокладки y_{Π} вычисляют по формуле

$h_{\Pi} := 3$ высота стандартной прокладки, мм

Коэффициент обжатия прокладки, опр. по таблице И1 (ГОСТ Р 52857.4-2007)

$K_{обж} := 0.9$

$E_{\Pi} := 0.02 \cdot 10^5$ условный модуль сжатия прокладки, МПа;

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{с.п.} \cdot b_{\Pi}} = 7.105 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н}$$

Податливость болтов y_6 вычисляют по формуле

Эффективная длина болта L_6 при определении податливости, мм;

$L_{60} := 32$ расстояние между опорными поверхностями гайки и головки
болта или опорными поверхностями
гаек, мм;

$L_6 := L_{60} + 0.28 \cdot d = 38.44$ мм

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{620} \cdot f_6 \cdot n} = 9.542 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н}$$

Угловую податливость фланца y_{ϕ} при затяжке вычисляют по формуле

$\beta_v := 0.7$ расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров
втулки фланца, определяют по рисунку К.2 [11];

параметр длины втулки l_0

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 43.818 \quad \text{мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру вычисляют по формуле

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.438$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.736$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 6.069$$

$\beta_F := 0.9$ расчетный коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца, определяют по рисунку К.2 (ГОСТ Р 52857.4 - 2007)

Коэффициент λ вычисляют по формуле

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = 1.215$$

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{120} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 1.621 \times 10^{-9} \text{ мм/Н}$$

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_6 \cdot \frac{E_{620}}{E_6} + \left(y_\Phi \cdot \frac{E_{120}}{E_1} + y_\Phi \cdot \frac{E_{220}}{E_2} \right) \cdot b^2} = 6.178 \times 10^5 \text{ Н/мм}$$

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\Phi 1} \cdot h_1 \cdot (t_{\Phi 1} - 20) + \alpha_{\Phi 2} \cdot h_2 \cdot (t_{\Phi 2} - 20) - \alpha_6 \cdot (h_1 + h_2) \cdot (t_6 - 20)]$$

$$Q_t = 9624.18 \text{ Н}$$

Расчетную нагрузку P_{M6} на болты фланцевых соединений вычисляют по формулам:

- при затяжке фланцевого соединения:

расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$F_{\text{вн}} := 0 \quad \text{внешняя осевая сила}$$

Принимаем внешний изгибающий момент равным $M := 0$ т.к. колонна нагрузки от ветра не испытывает.

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев принимается равным:

$$e_{\phi} := 0.5 \cdot (D_{\text{с.п.}} - D - s_0) = 26 \quad \text{мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой α , вычисляют по формуле (Е.11) [11, с. 27]

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\phi} \cdot e_{\phi} + y_{\phi} \cdot e_{\phi}) \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\phi} + (y_{\phi} + y_{\phi}) \cdot b^2} = 2.064$$

Угловую податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, вычисляют по формуле (К.15) [11]:

$$y_{\phi.н} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\phi}}{D_{\text{н}} \cdot E_{120} \cdot h^3} = 3.7 \times 10^{-10}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом α_M , вычисляют по формуле:

$$\alpha_M := \frac{y_{\phi} + 2 \cdot y_{\phi.н} \cdot b \cdot \left(b + e_{\phi} - \frac{e_{\phi}^2}{D_{\text{с.п.}}} \right)}{y_{\phi} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\phi}}{D_{\text{с.п.}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi.н} \cdot b^2} = 1.566$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$P_{\phi 1} := \max \left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{с.п.}}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{с.п.}}} - Q_t \right]$$

$$P_{\phi 1} = 65048.024 \quad \text{Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, вычисляют по формуле:

$$q_{\text{обж}} := 10 \quad \text{удельное давление обжатия прокладки определяем по таблице 1.44 [11, с. 98], МПа:}$$

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_{\text{п}} \cdot q_{\text{обж}} = 95001.762 \quad \text{Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра, мм²;
с учетом 4 болтов - получается

$$A_6 := n \cdot f_6 = 1848 \quad \text{мм}^2$$

$$\sigma_{d60} := 230 \quad \text{допускаемое напряжение для болтов из стали 35Х при 20}^{\circ}\text{С, опр. по таблице 1.38 [11, с. 93] , МПа}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{d60}) = 1.7 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{м6} := \max(P_{61}, P_{62}) = 1.7 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

- в рабочих условиях [11, с. 12]:

$$P_{p6} := P_{м6} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{с.п.}} = 1.518 \times 10^5$$

Проверка прочности болтов и прокладки:

Расчетные напряжения в болтах:

- при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{м6}}{A_6} = 92 \quad \text{МПа}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{p6}}{A_6} = 82.147 \quad \text{МПа}$$

Условия прочности болтов:

Номинальное допускаемое напряжение для болтов

$$\sigma_{dp} := 229 \quad \text{допускаемое напряжение для болтов из стали 35Х при рабочей температуре, опр. по таблице 1.38 [11, с. 93] , МПа}$$

- при затяжке:

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{61} \leq \sigma_{d60} \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_5 = \text{"условие выполняется"}$$

- в рабочих условиях:

$$Usl_6 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{62} \leq \sigma_{dp} \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_6 = \text{"условие выполняется"}$

Условие прочности прокладки

$$q := \frac{\max(P_{m6}, P_{p6})}{\pi \cdot D_{c.п.} \cdot b_{п}} = 8.948 \quad \text{МПа}$$

$q_d := 40$ удельное давление обжатия прокладки определяем по таблице 1.44 [11, с. 98], МПа:

$$Usl_7 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_7 = \text{"условие выполняется"}$

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент M_m , действующий на фланец при затяжке

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m \cdot 0.5}}} \right) = 1$$

$$M_m := C_F \cdot P_{m6} \cdot b = 3.57 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{p6} \cdot b + (Q_d + F) \cdot e_{\phi}, |Q_d + F| \cdot e_{\phi}] = 3.868 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 4.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) = 4.872$$

$$Usl_8 := \begin{cases} \text{"1"} & \text{if } s_0 \leq 16 \wedge \frac{D}{s_0} \leq 300 \wedge \frac{\beta_Y \cdot M_m}{h^2 \cdot D} \leq \sigma_{d60} \wedge \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} \leq \sigma_{dp} \\ \text{"2"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_8 = \text{"1"}$

1 - проверку допускается не проводить
2 - проверку необходимо проводить

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{120}}{E_1} = 0.006 \text{ рад}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца равен $\Theta_d := 0.013 \text{ рад}$

$$Usl_9 := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } \Theta \leq \Theta_d \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_9 = \text{"условие выполняется"}$$

3.1.5.11 Подбор опор

Нагрузка, действующая на опору, рассчитывается по формуле:

$$P = (m_{\text{обечайки}} + m_{\text{фланца}} + m_{\text{форсунки}} + m_{\text{рубашки}} + m_{\text{привода}}) \cdot g;$$

$$P = (1611 + 28,8 + 30 + 1546 + 55) \cdot 9,81 = 32 \text{ кН}.$$

Выбираем стандартные опоры для аппарата по ОСТ 26-665 – 79. Принимаем количество лап $n = 4$, следовательно

$$Q_p = \frac{P}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ кН}.$$

Конструкция стандартной опоры (лапы) приведена на рисунке 3.1.3

Основные геометрические характеристики опоры аппарата приведены в таблице 3.1.6.

Таблица 3.1.6 – Основные геометрические характеристики опоры аппарата

$Q, кН$	10	$c, мм$	20
$h, мм$	170	$c_1, мм$	85
$h_1, мм$	14	$b, мм$	115
$s_1, мм$	6	$d, мм$	24
$a, мм$	90	$d_B, мм$	M16
$a_1, мм$	115	$K, мм$	120
$f_{max}, мм$	30	$K_1, мм$	30

Размеры накладных листов (рисунок 3.1.2) под опоры вертикальных аппаратов принимаем по ОСТ 26-665 – 79:

$$B = 100 \text{ мм}, H = 150 \text{ мм}, c = 8 \text{ мм}, s_H = 4 \text{ мм}.$$

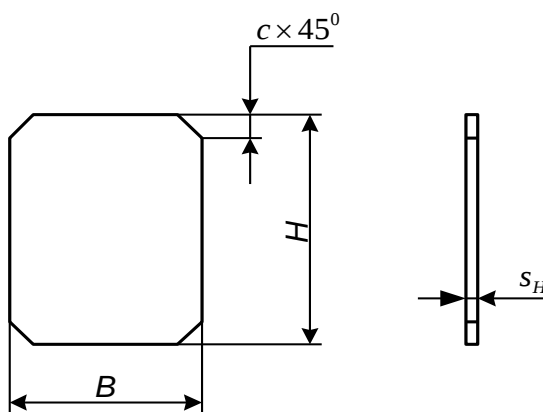


Рисунок 3.1.2 – Накладной лист

На рисунке 3.1.3 изображена подобранная опора.

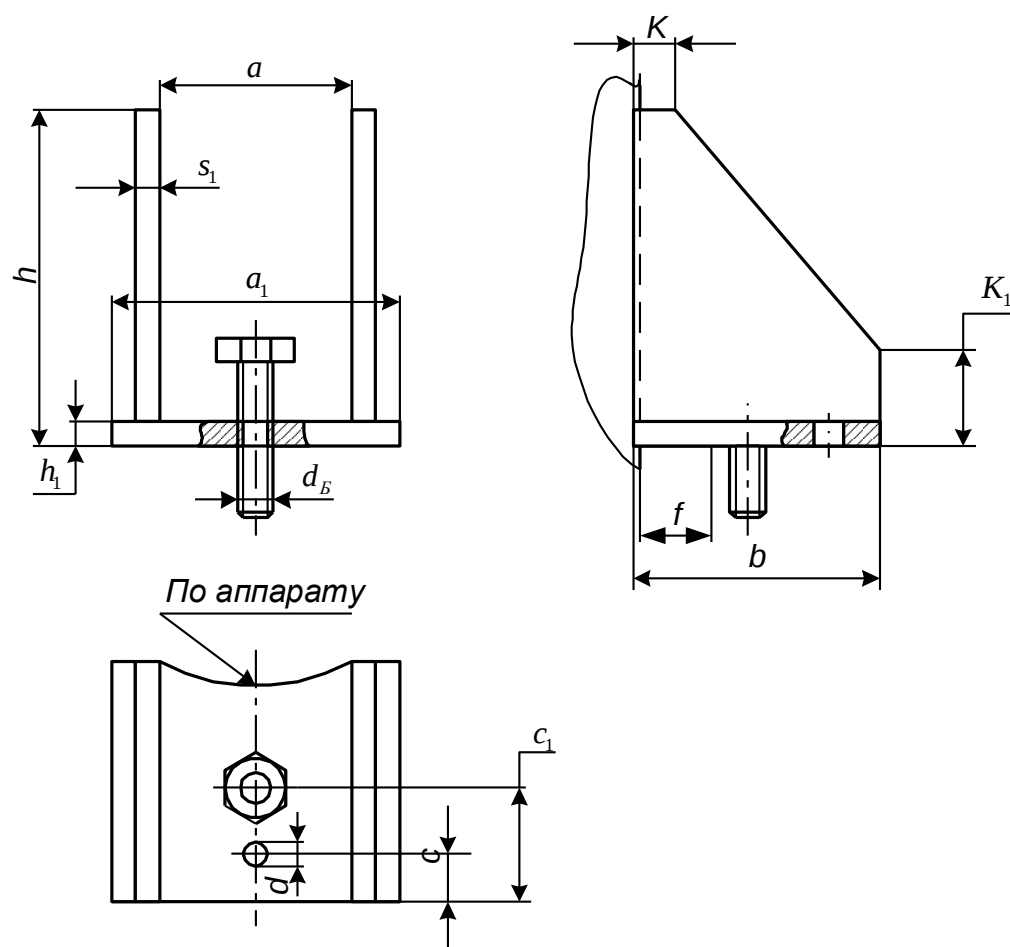


Рисунок 3.1.3 – Опора

3.2 Расчет десублиматора

3.2.1 Исходные данные

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – исходные данные для расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
1. Температура:			
- поступающей парогазовой смеси	$T_{г. вх.} (t_{г. вх.})$	К ($^{\circ}$ С)	373 (100)
- выходящей парогазовой смеси при десублимации	$T_{г. вых.} (t_{г. вых.})$	К ($^{\circ}$ С)	329,4 (56,4)
- выходящих паров ГФУ при сублимации	$T_{п.} (t_{п.})$	К ($^{\circ}$ С)	373(100)
- хладагента на входе	$T_{х. вх.} (t_{х. вх.})$	К ($^{\circ}$ С)	286(13)
- хладагента на выходе	$T_{х. вых.} (t_{х. вых.})$	К ($^{\circ}$ С)	303 (30)
- наружной стенки стенки аппарата при десублимации	$T_{ст. д.} (t_{ст. д.})$	К ($^{\circ}$ С)	363 (90)
- внутренних трубок при десублимации	$T_{ст. с.} (t_{ст. с.})$	К ($^{\circ}$ С)	373 (-30)
- внутренних трубок при сублимации			363 (90)
2. Давление:			
- поступающей парогазовой смеси	$P_{г}$	-	Атмосферное
- хладагента	$P_{х}$	МПа (кгс/см ²)	0,3 (3)
3. Объемный расход поступающей парогазовой смеси	V	м ³ /час (м ³ /с)	50 (0,01388)
4. Состав парогазовой смеси на входе:		м ³ /час (м ³ /с)	
- гексафторид урана	UF ₆		25 (0,0069)
- фтор	F		8 (0,0022)
- кислород	O ₂		20 (0,0055)
- фтористый водород	HF		7 (0,0019)
5. Состав парогазовой смеси на выходе:		м ³ /час (м ³ /с)	
- гексафторид урана	UF ₆		0 (0)
- фтор	F		8 (0,0022)
- кислород	O ₂		20 (0,0055)
- фтористый водород	HF		7 (0,0019)

Конструктивные размеры десублиматора

Заданные геометрические размеры аппарата, см. рисунок 3.2.1:

- наружный диаметр десублиматора, $D = 1000$ мм;
- наружный диаметр теплообменных трубок, $d = 40$ мм;
- количество теплообменных трубок для подачи хладагента, $n = 91$;
- длина теплообменных трубок, $l = 3000$ мм;
- внутренний объем аппарата, $V = 2$ м³;
- площадь поверхности теплообменных трубок (поверхность теплообмена), $S = 34$ м²;
- высота аппарата, $H = 3650$ мм;
- высота десублимационной камеры, $h = 3200$ мм;
- масса аппарата, 3000 кг.

Эскиз десублиматора представлен на рисунке 3.2.1.

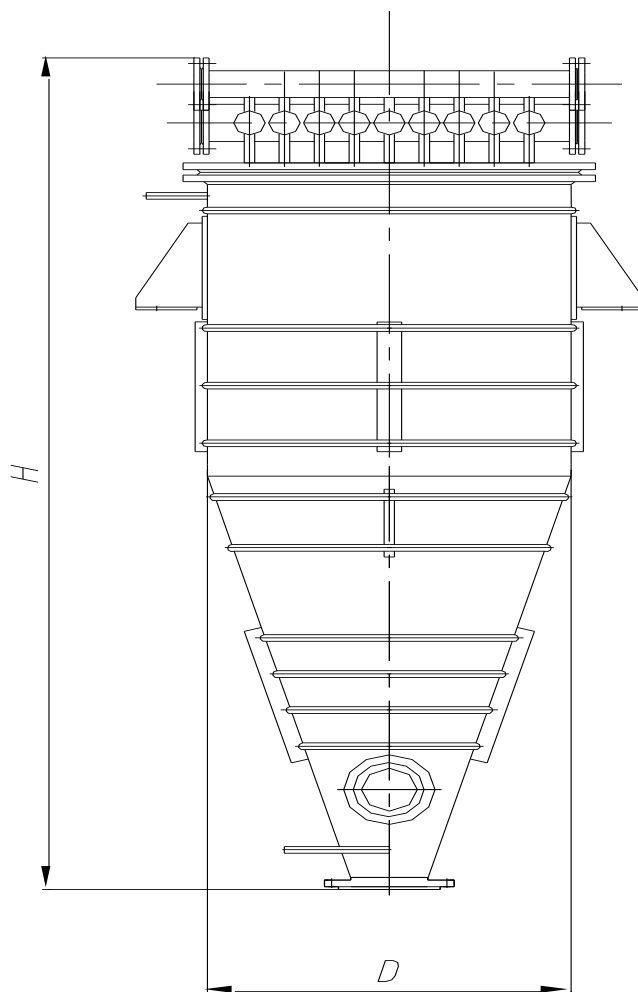


Рисунок 3.2.1 – Эскиз десублиматора

3.2.2 Материальный расчет процесса десублимации

Материальный расчет проводится для составления схемы материальных потоков и определения их количества (производительности), влияющих в дальнейшем на тепловой и прочностной расчеты, определения состава потоков и составления таблицы материального баланса процесса десублимации гексафторида урана.

Состав реакционного газа до и после десублимации приведен в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Расчетный состав реакционных газов в процессе десублимации ГФУ [6]

Компоненты газовой смеси	До десублимации, % об.	После десублимации, % об.
Гексафторид урана (UF ₆)	30	0
Фтор (F ₂)	16	22,85
Кислород (O ₂)	40	57,15
Фтороводород (H F)	14	20

При заданной объемной производительности десублиматора определяем массовый расход ГФУ по формуле [6]:

$$M_{\text{ГФУ}} = V_{\text{ГФУ}} \cdot \rho_{\text{ГФУ}}, \quad (3.2.1)$$

где $\rho_{\text{ГФУ}}$ – плотность паров ГФУ при температуре поступающей парогазовой смеси, кг/м³ [5].

$$\rho_{\text{ГФУ}} = 13,26 \cdot \frac{323,2}{T_2^{\text{ex}}} \cdot \frac{P_2}{760}, \quad (2.2.2)$$

где P_r - давление паров ГФУ, мм.рт.ст.

$P_r = 760$ мм.рт.ст.

$$\rho_{\text{ГФУ}} = 13,26 \cdot \frac{323,2}{373} \cdot \frac{760}{760} = 11,49 \text{ кг/м}^3.$$

$$M_{\text{ГФУ}} = 15 \cdot 11,49 = 172,34 \text{ кг/ч}$$

Определяем массовый расход каждой составляющей газовой смеси [6]:

$$M_i^{мас.} = V_i \cdot \rho_i \quad (2.2.3)$$

где ρ_i – плотность составляющей смеси при заданной температуре T и давлении P , кг/м³:

$$\rho_i = \frac{M_i}{22,4} \cdot \frac{273P}{T_2^{ок} \cdot P_0}, \quad (3.2.4)$$

здесь M_i – мольная масса i -той компоненты газа, кг/моль.

$$\rho_{F_2} = \frac{38 \cdot 273 \cdot 760}{22,4 \cdot 373 \cdot 760} = 1,24 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{O_2} = \frac{32 \cdot 273 \cdot 760}{22,4 \cdot 373 \cdot 760} = 1,05 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{HF} = \frac{20 \cdot 273 \cdot 760}{22,4 \cdot 373 \cdot 760} = 0,65 \text{ кг/м}^3$$

$$M_{F_2} = 8 \cdot 1,24 = 9,92 \text{ кг/ч}$$

$$M_{O_2} = 20 \cdot 1,05 = 21 \text{ кг/ч}$$

$$M_{HF} = 7 \cdot 0,71 = 4,55 \text{ кг/ч}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – массовый расход компонентов в исходной парогазовой смеси

Компоненты парогазовой смеси	Мольная масса M_i , кг/кмоль	Плотность ρ_i , кг/м ³	Объемный расход V_i , м ³ /ч	Массовый расход M_i , кг/ч
Гексафторид урана (UF ₆)	349	11,49	15	172,34
Фтор (F ₂)	38	1,24	8	9,92
Кислород (O ₂)	32	1,05	20	21
Фтороводород (H F)	20	0,65	7	4,55
Всего:	-	-	50	207,81

Массовые расходы компонентов газовой смеси после десублиматора определяются с использованием уравнения материального баланса.

Уравнение материального баланса [6]:

$$\Sigma M_{\text{прих.}} = \Sigma M_{\text{расх.}}, \quad (3.2.5)$$

где $\Sigma M_{\text{прих.}}$ – массовый расход веществ до десублимации (приход), кг/ч, равный

$$\Sigma M_{\text{прих.}} = M_{UF_6}^{mac} + M_{F_2}^{mac} + M_{O_2}^{mac} + M_{HF}^{mac} \quad (3.2.6)$$

$$\Sigma M_{\text{расх.}} = M_{F_2}^{mac} + M_{O_2}^{mac} + M_{HF}^{mac} \quad (3.2.7)$$

Подставляя численные значения в формулу (3.2.6) получим:

$$\Sigma M_{\text{прих}} = 172,34 + 9,92 + 21 + 4,55 = 207,81 \text{ кг/ч}$$

Суммарный массовый расход газовой смеси после десублиматора равен

$$\Sigma M_{\Gamma.} = M_{F_2}^{mac} + M_{O_2}^{mac} + M_{HF}^{mac} = \Sigma M_{\text{прих.}} - M_{UF}$$

$$\Sigma M_{\Gamma.} = 207,81 - 172,34 = 35,41 \text{ кг/ч}$$

Зная концентрации компонентов смеси после десублиматора (см. таблицу 3.2.2), массовый расход определяют по формуле:

$$M_i^{mac} = \frac{\Sigma M_{\Gamma}^{mac} \cdot M_i^{\%}}{100} \quad (3.2.8)$$

Или

$$M_{F_2}^{mac} = \frac{35,41 \cdot 22,85}{100} = 8,09 \text{ кг/ч}$$

$$M_{O_2}^{mac} = \frac{35,41 \cdot 57,15}{100} = 20,24 \text{ кг/ч}$$

$$M_{HF}^{mac} = \frac{35,41 \cdot 20}{100} = 7,08 \text{ кг/ч}$$

Результаты материального расчета по формулам приведены в таблице 3.2.4.

Таблица 3.2.4 – Материальный баланс процесса десублимации гексафторида урана в десублиматоре

Приход			Расход		
Статьи прихода	кг/ч	%масс.	Статьи расхода	кг/ч	%масс.
1 Газ на входе в десублиматор, в том числе:	207,81	100	1 Твердый продукт (UF ₆)	172,34	82,97
UF ₆	172,34	82,97	2 Газ на выходе из десублиматора, в том числе:	35,41	17,03
F	9,92	4,78	F	8,09	3,89
O ₂	21	10,06	O ₂	20,24	9,73
HF	4,55	2,19	HF	7,07	3,41
Итого:	207,81	100	Итого:	207,75	100

Учитывая сложность и неоднозначность объяснения процесса десублимации ГФУ принимаем допущение, что ГФУ полностью десублимируется.

3.2.3 Тепловой расчет

Цель теплового расчета – определение необходимой поверхности теплопередачи, определение расхода хладагента.

Общее уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\Sigma Q_{\text{прих.}} = \Sigma Q_{\text{расх.}}, \quad (3.2.9)$$

где $\Sigma Q_{\text{прих.}}$ – суммарный приход от всех источников тепла, Вт, равный:

$$\Sigma Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{газа.}} + Q_{\text{десуб.}} + Q_{\text{пост.}} + Q_{\text{нагр.}} \quad (2.2.10)$$

$\Sigma Q_{\text{расх.}}$ – суммарное тепло, отводимое от аппарата, Вт, равное:

$$\Sigma Q_{\text{расх.}} = Q_{\text{отв.}} + Q_{\text{Гфу.}} + Q_{\text{хлад.}} + Q_{\text{потерь.}} \quad (3.2.11)$$

Здесь:

$Q_{\text{газа.}}$ – тепло, поступающее с исходной парогазовой смесью, Вт;

$Q_{\text{десуб.}}$ – тепло, выделяемое при десублимации ГФУ, Вт;

$Q_{\text{пост.}}$ - тепло, поступающее в десублиматор с хладагентом, Вт;

$Q_{\text{нагр.}}$ - тепло, поступающее в десублиматор от теплых стенок, Вт;

$Q_{\text{отв.}}$ - тепло, отводимое газами, выходящими из десублиматора, Вт;

$Q_{\text{гфу.}}$ - тепло, затрачиваемое на охлаждение твердого ГФУ, Вт;

$Q_{\text{хлад.}}$ - тепло, отводимое из десублиматора хладагентом, Вт;

$Q_{\text{потерь.}}$ - потери тепла в окружающую среду, Вт.

Количество тепла, поступающего с исходной парогазовой смесью, определяется как сумма тепла Q_i , поступающего с каждым компонентом смеси, т.е.

$$Q_{\text{газа.}} = \sum Q_i, \quad (3.2.12)$$

$$Q_i = c_i \cdot G_i \cdot t_G^{\text{ex}}. \quad (3.2.13)$$

Где

c_i - удельная теплоемкость i - того компонента в парогазовой смеси, Дж/(кг·К);

G_i - производительность по i - тому компоненту в парогазовой смеси, кг/с;

t_G^{ex} - температура парогазовой среды на входе в десублиматор, °С.

Значения удельной теплоемкости для каждого компонента парогазовой смеси приведены в таблице 3.2.5.

Таблица 3.2.5 – Удельная теплоемкость компонентов смеси

Компонент парогазовой смеси	Удельная теплоемкость $C_{\text{моль}}$, Дж/(моль·град)
Гексафторид урана (UF_6) газ.	129,90
Фтор (F_2)	31,32
Кислород (O_2)	29,35
Фтороводород (H F)	29,14

Исходя из вышесказанного, количество тепла, поступающего с компонентами парогазовой смеси, составляет по уравнениям (3.2.11) – (3.2.13):

$$Q_{\text{UF6}} = \frac{129,90}{349} \cdot 1000 \cdot \frac{172,34}{3600} \cdot 100 = 1781,85 \text{ Вт}$$

$$Q_{F_2} = \frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{9,92}{3600} \cdot 100 = 227,11 \text{ Вт}$$

$$Q_{O_2} = \frac{29,35}{32} \cdot 1000 \cdot \frac{21}{3600} \cdot 100 = 535,02 \text{ Вт}$$

$$Q_{HF} = \frac{29,14}{20} \cdot 1000 \cdot \frac{4,55}{3600} \cdot 100 = 184,14 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{газ.}} = 1781,85 + 227,11 + 535,02 + 184,14 = 2528,12 \text{ Вт.}$$

Перевод удельной мольной теплоемкости в удельную массовую теплоемкость осуществляется по формуле:

$$C_i = \frac{C_{\text{моль} \cdot i}}{MM_i} \cdot 1000 \quad (3.2.14)$$

Где

C_i – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К);

$C_{\text{моль} \cdot i}$ – удельная мольная теплоемкость, Дж/(моль·град);

MM_i – молекулярная масса вещества.

Тепло, выделяющееся при десублимации ГФУ, определяется по формуле:

$$Q_{\text{десуб.}} = \frac{r \cdot m}{\tau_{\text{десубл}}} \quad (3.2.15)$$

где

r – теплота десублимации ГФУ, $r = 1,38 \cdot 10^5$ Дж/кг;

m – полная масса ГФУ в десублиматоре, кг;

$\tau_{\text{десуб.}}$ – время десублимации ГФУ, с.

Масса ГФУ в заполненном десублиматоре определяется из габаритных размеров и, соответственно, зная степень заполнения $\varphi_{\text{ап.}}$ Аппарата для данного конкретного случая ($\varphi_{\text{ап.}} = 0,8$) при внутреннем объеме $V_{\text{ап.}}$ Десублима-

тора за вычетом объема, занимаемого теплообменными трубками ($V_{\text{ап.}} = 2 \text{ м}^3$), и при плотности твердого ГФУ $\rho_{\text{ГФУ}} = 5060 \text{ кг/м}^3$, масса ГФУ равна

$$m = V_{\text{ап.}} \cdot \rho_{\text{ГФУ}} \cdot \phi_{\text{ап.}} = 2 \cdot 5060 \cdot 0,8 = 8096 \text{ кг}$$

Время конденсации при заданной степени заполнения аппарата определяем по формуле:

$$\tau_{\text{кон.}} = \frac{m}{M_{UF_6}} = \frac{8096}{172,34} = 46,98 \text{ ч} = 169128 \text{ с}$$

Тогда

$$Q_{\text{десуб.}} = \frac{1,38 \cdot 10^5 \cdot 8096}{169128} = 6605,93 \text{ Вт}$$

Определяем тепло, поступающее в десублиматор от наружных стенок, подогреваемых водой для обеспечения свободного прохода парогазовой смеси вдоль стенок. Для этого определяем коэффициент теплоотдачи для цилиндрической поверхности трубок в окружающую их полость аппарата от поверхности стенки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, равный:

$$\alpha_{\Sigma} = 9,74 + 0,07 (t_c - t_d) = 9,74 + 0,07 \cdot (90 - 56,4) = 12,092.$$

Тепловые потери с единицы поверхности стенки определяются по формуле:

$$q_{\text{ст}} = \alpha_{\Sigma} (t_c - t_d) = 12,092 \cdot (90 - 56,4) = 406,291 \text{ Вт/м}^2.$$

Тогда тепло, поступающее в десублиматор от наружных стенок будет равно:

$$Q_{\text{ст}} = S \cdot q_{\text{ст}},$$

Где S – поверхность теплообмена.

$$Q_{\text{ст}} = 34 \cdot 406,291 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое от десублиматора с отходящими газами, определяется по формуле:

$$Q_{\text{отв.}} = Q_{F_2} + Q_{O_2} + Q_{HF} \quad (3.2.16)$$

$$Q_i = c_i \cdot G_i \cdot t_{\Gamma}^{\text{блх}} \quad (3.2.17)$$

где

$t_{\Gamma}^{\text{блх}}$ - температура парогазовой смеси на выходе из десублиматора, °С,
 $t_{\Gamma}^{\text{блх}} = 13^{\circ}\text{C}$.

Тогда по формуле (3.2.17):

$$Q_{F_2} = \frac{31.32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{8.09}{3600} \cdot 13 = 24.08 \text{ Вт}$$

$$Q_{O_2} = \frac{29.35}{32} \cdot 1000 \cdot \frac{20.24}{3600} \cdot 13 = 67.04 \text{ Вт}$$

$$Q_{HF} = \frac{29.14}{20} \cdot 1000 \cdot \frac{7.07}{3600} \cdot 13 = 37.2 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{отв.}} = 24,08 + 67,04 + 37,2 = 128,32 \text{ Вт}$$

Тепло, затрачиваемое на охлаждение твердого ГФУ, определяется по формуле (3.2.17) при теплоемкости твердого ГФУ

$$C_{\text{ГФУ}} = 459 \text{ Дж/(кг·К)}:$$

$$Q_{\text{ГФУ}} = 459 \cdot \frac{172,34}{3600} \cdot 13 = 285,65 \text{ Вт}$$

Тепловые потери в окружающую среду определим путем расчета теплоизоляции.

Основной задачей расчета тепловой изоляции является определение потерь тепла и температур в теплоизоляционном слое при заданной теплоизоляционной конструкции или толщине изоляционного слоя, удовлетворяю-

щим определенным требованиям. Обычно толщину теплоизоляционного слоя определяют по заданной температуре на поверхности изоляции в том случае, когда тепловая потеря изолированного объекта не регламентирована, а изоляция необходима как средство, обеспечивающее нормальную температуру воздуха в рабочих помещениях или предохраняющее обслуживающий персонал от термического воздействия. В таких случаях температура на поверхности изоляции принимается равной 45...50 °С в закрытых помещениях. Десублиматор в режиме сублимации имеет температуру наружных стенок 90 °С, поэтому его необходимо теплоизолировать. Аппарат изолируется двумя элементами конструкции: цилиндрической изоляцией вокруг корпуса и плоской изоляцией в форме диска с торцов этого корпуса.

Принимаем в качестве теплоизоляционного материала – минераловатные прошивные маты марки 150 на металлической сетке с последующим оштукатуриванием и покраской.

Для плоской поверхности толщина изоляционного слоя принимается по формуле:

$$\delta_{из.1} = \frac{\lambda_{из.} \cdot (t - t_k)}{\alpha_{н1} \cdot (t_k - t_n)}$$

где

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

t_k – температура на поверхности изоляции, °С;

t – температура под изоляцией, °С;

$\alpha_{н1}$ – коэффициент теплоотдачи для плоской поверхности изоляции в окружающий воздух от поверхности, находящейся в помещении, Вт/(м²·К), равен:

$$\alpha_{н1} = 9,74 + 0,07 (t_k - t_n);$$

t_n – температура наружного воздуха, °С.

Для минераловатных прошивных матов марки 150 на металлической сетке из приложения:

$$\lambda_{из} = 0,046 + 0,00016 t_{ср.}$$

Средняя температура теплоизоляции $t_{cp.}$ определяется по формуле:

$$t_{cp.} = \frac{t + t_k}{2}$$

Тогда

$$t_{cp.} = (90 + 50)/2 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_{из} = 0,046 + 0,00016 \cdot 70 = 0,0572 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)};$$

$$\alpha_{н1} = 9,74 + 0,07 (50 - 25) = 11,49 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$\delta_{из.1} = \frac{0,0572 \cdot (90 - 50)}{11,49 \cdot (50 - 25)} = 0,008 \text{ м}$$

Принимаем $\delta_{из.1} = 20 \text{ мм}$

Для цилиндрической поверхности при расчете теплоизоляции применяется формула:

$$\frac{d_k}{d_n} \ln \frac{d_k}{d_n} = \frac{2\lambda_{из.} (t - t_k)}{\alpha_{н1} \cdot d_n (t_k - t_n)}$$

где

$\alpha_{н2}$ - коэффициент теплоотдачи для цилиндрической поверхности изоляции в окружающий воздух от поверхности, находящейся в помещении, Вт/(м²·К), равный:

$$\alpha_{н2} = 9,74 + 0,07 (t_k - t_n).$$

После определения по $x \cdot \ln x$ значения $x = d_k / d_n$, толщина изоляции находится по формуле:

$$\delta_{из.2} = \frac{d_n}{2} \cdot \left(\frac{d_k}{d_n} - 1 \right)$$

где

d_n – наружный диаметр изолируемого объекта, м;

d_k – наружный диаметр изоляционной конструкции, м.

Тогда

$$\alpha_{н2} = 9,74 + 0,07 (45 - 25) = 11,14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

$$\frac{d_{\kappa}}{d_{\text{н}}} \ln \frac{d_{\kappa}}{d_{\text{н}}} = \frac{2 \cdot 0,0572 \cdot (90 - 50)}{11,49 \cdot 1 \cdot (50 - 25)} = 0,016$$

Этому значению функции соответствует $x = 1,023$, тогда

$$\delta_{\text{из.2}} = 1/2 \cdot (1,023 - 1) = 0,0115 \text{ м.}$$

Принимаем $\delta_{\text{из.2}} = 20 \text{ мм.}$

Определение потерь тепла в окружающую среду производится следующим образом.

Тепловые потери с единицы поверхности изоляции определяются по формулам:

- для однослойной плоской стенки

$$q = \frac{\lambda_{\text{из.}} \cdot (t - t_{\kappa})}{\delta_{\text{из.}}}$$

- для однослойной цилиндрической стенки на единицу длины цилиндра

$$q_1 = \frac{2 \cdot \lambda_{\text{из.}} \cdot (t - t_{\kappa})}{\ln \frac{d_{\kappa}}{d_{\text{н}}}}$$

После подстановки численных значений величин получается:

$$q = \frac{0,0572 \cdot (90 - 50)}{0,02} = 114,4 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0572 \cdot (90 - 50)}{\ln \frac{1,04}{1,00}} = 368,7 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

Площадь наружной поверхности изоляции для плоской крышки:

$$f_1 = \frac{\pi \cdot d_{\kappa}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,04^2}{4} = 0,849 \text{ м}^2$$

Потери тепла составят:

- для плоской крышки

$$Q_1 = 2 \cdot q \cdot f_1 = 2 \cdot 114,4 \cdot 0,849 = 194,25 \text{ Вт};$$

- для цилиндрической поверхности

$$Q_2 = q_1 \cdot H_{\text{ст.}} = 368,7 \cdot 3,7 = 1361,19 \text{ Вт},$$

где

$H_{\text{ст}}$ – высота корпуса десублиматора.

Общие потери тепла равняются

$$Q_{\text{потерь}} = Q_1 + Q_2 = 194,25 + 1361,19 = 1558,44 \text{ Вт}.$$

Найдем расход воды, идущей по теплообменным трубкам:

$$G_{\text{воды}} = \frac{\Delta Q_{\text{газа}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{дес}} + Q_{\text{ГФУ}}}{c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})},$$
$$G_{\text{воды}} = \frac{2399,8 + 13813,9 + 6605,93 + 285,65}{4190 \cdot (30 - 13)} = 0,33 \text{ кг/с} = 1174 \text{ кг/ч}.$$

Тепло, поступающее в десублиматор от хладагента, идущего по внутренним теплообменным трубкам:

$$Q_{\text{воды в ттру}} = c_{\text{воды}} \cdot G_{\text{воды}} \cdot t_{\text{н}} = 4190 \cdot 0,33 \cdot 13 = 17975,1 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое от десублиматора с отходящими газами, определяется по формуле:

$$Q_{\text{воды в ттру}} = c_{\text{воды}} \cdot G_{\text{воды}} \cdot t_{\text{н}} = 4190 \cdot 0,33 \cdot 13 = 17975,1 \text{ Вт}.$$

Определим расход воды идущей в корпусе аппарата:

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пот}}}{c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})},$$
$$G_{\text{воды}} = \frac{13813,9 + 1558}{4190 \cdot (30 - 13)} = 0,611 \text{ кг/с} = 2200 \text{ кг/ч}.$$

Тепло, поступающее в десублиматор от хладагента, идущего в корпусе аппарата:

$$Q_{\text{воды корп}} = c_{\text{воды}} \cdot G_{\text{воды}} \cdot t_{\text{н}} = 4190 \cdot 0,611 \cdot 92 = 235528,28 \text{ Вт}.$$

Тепло, отводимое от десублиматора с хладагентом, определяется по формуле:

$$Q_{\text{воды в ттру}} = c_{\text{воды}} \cdot G_{\text{воды}} \cdot t_{\text{н}} = 4190 \cdot 0,611 \cdot 98 = 17975,1 \text{ Вт}.$$

Результаты теплового расчета десублиматора, работающего в режиме десублимации, сведены в таблицу 3.2.6.

Таблица 3.2.6 – тепловой баланс для процесса десублимации ГФУ

Приход		Расход	
Статья прихода	Количество тепла, Вт	Статья расхода	Количество тепла, Вт
Тепло, поступающее с исходной газовой смесью	2528,12	Тепло, отводимое газовой смесью из аппарата	128,32
Тепло, выделяющееся при десублимации ГФУ	6605,93	Тепло, затрачиваемое на охлаждение ГФУ	285,65
Тепло, поступающее с хладагентом, идущим по трубкам	17975,1	Тепло, отводимое из аппарата хладагентом, идущем по трубкам	41481
Тепло, поступающее от обогреваемых стенок	13813,9	Тепловые потери в окружающую среду	1558
Тепло, поступающее с хладагентом, идущем в корпусе	235528,28	Тепло, отводимое из аппарата хладагентом в корпусе	250888,82
Всего:	283659,3	Всего:	292783,79

3.2.4 Расчет тепловой нагрузки аппарата

Процесс десублимации гексафторида урана проходит в несколько этапов, каждому из которых соответствуют свои определенные температурные и тепловые параметры. Изменение температуры ГФУ зависит от количества переданного тепла хладагентом.

Целью расчета является определение количества хладагента (рассола), необходимого для проведения десублимации в заданных температурных пределах. Параметры исходной парогазовой среды, поступающей в десублиматор, те же, что и в тепловом расчете.

Десублимация проходит в 3 стадии

- первая – охлаждение исходной парогазовой смеси до температуры десублимации ГФУ;
- вторая - конденсация ГФУ при постоянной температуре насыщения;
- третья – охлаждение десублимата до заданной температуры с одновременным охлаждением оставшейся газовой смеси.

Следовательно, общая тепловая нагрузка будет определяться как сумма количества тепла, соответствующих каждой стадии:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (3.2.20)$$

где:

Q - общая нагрузка десублиматора, Вт;

Q_1 - тепло, отводимое при охлаждении исходной парогазовой смеси, Вт;

Q_2 - тепло, отводимое при десублимации ГФУ, Вт;

Q_3 - тепло, отводимое при охлаждении ГФУ, Вт;

Q_4 - тепло, отводимое при охлаждении оставшейся газовой смеси, Вт.

Тепло, отводимое при охлаждении исходной парогазовой смеси определяется по формулам:

$$Q_i = \sum Q_i, \quad (3.2.22)$$

$$Q_i = c_i \cdot M_i \cdot (t_n - t_{\text{конд.}}), \quad (3.2.23)$$

или

$$Q_i = M_i \cdot (i_n^i - i_{\text{конд}}^i), \quad (3.2.24)$$

где

Q_i - тепло, отводимое каждым компонентом парогазовой смеси, Вт;

c_i - удельная теплоемкость каждого компонента смеси, Дж/(кг·К);

M_i - массовый расход каждого компонента смеси, кг/с;

t_n - температура исходной парогазовой смеси, К;

$t_{\text{конд.}}$ - температура десублимации ГФУ, К;

i_n - удельная энтальпия компонента смеси при температуре исходной парогазовой смеси, Дж/кг;

$i_{\text{конд.}}$ - удельная энтальпия компонента смеси при температуре десублимации ГФУ, Дж/кг.

Для ГФУ тепло, отводимое при охлаждении оставшейся газовой смеси, определяется по формуле (3.2.24).

Удельная энтальпия газообразного ГФУ, в зависимости от температуры, определяется по формуле:

$$i_{\text{газа}} = 8460 + 32,43 T + 0,003968 T^2 + 320680 T^{-2}, \quad (3.2.25)$$

где

T – температура ГФУ, К.

Для начальной температуры $T = 373\text{К}$ (100°C) парогазовой смеси удельная энтальпия ГФУ равна по формуле (3.2.25):

$$i_n = (8460 + 32,43 \cdot 373 + 0,003968 \cdot 373^2 + 320680 \cdot 373^{-2}) \cdot 1000/352 \cdot 4,19 = 251289,2 \text{ Дж/кг}$$

Для температуры десублимации $T=329,4\text{ К}$ ($56,4^\circ\text{C}$):

$$i_{\text{конд.}} = (8460 + 32,43 \cdot 329,6 + 0,003968 \cdot 329,6^2 + 320680 \cdot 329,6^{-2}) \cdot 1000/352 \cdot 4,19 = 233104 \text{ Дж/кг}$$

Следовательно, теплота охлаждения газообразного ГФУ до температуры конденсации по уравнению (3.2.24) равна:

$$Q_{UF_6} = 172,34/3600 \cdot (251289,2 - 233104) = 870,57 \text{ Вт}$$

Для остальных компонентов газовой смеси количество отводимого тепла по формуле (3.2.23) равно:

$$Q_{F_2} = \frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{9,92}{3600} \cdot (100 - 56,4) = 99,02 \text{ Вт}$$

$$Q_{O_2} = \frac{29,35}{32} \cdot 1000 \cdot \frac{21}{3600} \cdot (100 - 56,4) = 233,3 \text{ Вт}$$

$$Q_{HF} = \frac{29.14}{20} \cdot 1000 \cdot \frac{4.55}{3600} \cdot (100 - 56.4) = 80.28 \text{ Вт}$$

Суммарное количество тепла, отводимое при охлаждении исходной газовой парогазовой смеси, по формуле (3.2.22) равно:

$$Q_1 = 870,57 + 233,3 + 99,02 + 80,28 = 1283,17 \text{ Вт}$$

Тепло, отводимое при десублимации ГФУ составляет:

$$Q_2 = Q_{\text{десуб.}} = 6605,93 \text{ Вт}$$

Тепло, отводимое при охлаждении твердого ГФУ, определяется по формуле:

$$Q_2 = M_{\text{ГФУ}} \cdot (i_{\text{конд.тв.}}^{UF_6} - i_{\kappa}^{UF_6}),$$

где

$M_{\text{ГФУ}}$ - массовый расход ГФУ, кг/с;

$i_{\text{конд.тв.}}^{UF_6}$ - удельная энтальпия твердого ГФУ при температуре десублимации, Дж/(кг·К);

$i_{\kappa}^{UF_6}$ - удельная энтальпия твердого ГФУ при конечной температуре, 303 К (30 °С), Дж/(кг·К);

Удельная энтальпия твердого ГФУ в зависимости от температуры T , определяется по формуле:

$$i_{\text{конд. тв.}} = 9865 - 20,082 T + 0,080790 T^2 - 104920 T^{-1}$$

Подставляя численные значения температуры и переводя в систему измерений СИ, по формуле (3.2.25) получаем:

$$i_{\text{конд. тв.}} = (9865 - 20,082 \cdot 329,4 + 0,080790 \cdot 329,4^2 - 104920 \cdot 329,4^{-1}) \cdot 1000/352 \cdot 4,19 = 139300 \text{ Дж/кг}$$

$$i_{\kappa} = (9865 - 20,082 \cdot 303 + 0,080790 \cdot 303^2 - 104920 \cdot 303^{-1}) \cdot 1000/352 \cdot 4,19 = 129165 \text{ Дж/кг}$$

$$Q_3 = 172,34/3600 \cdot (139300 - 129165) = 10135 \text{ Вт}$$

Тепло, отводимое при охлаждении газовой смеси, выходящей из десублиматора, определяется по формуле (3.2.23):

$$Q_{F_2} = \frac{31.32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{8.09}{3600} \cdot (56.4 - 30) = 48.9 \text{ Вт}$$

$$Q_{O_2} = \frac{29,35}{32} \cdot 1000 \cdot \frac{20,24}{3600} \cdot (56,4 - 30) = 136,13 \text{ Вт}$$

$$Q_{HF} = \frac{29,14}{20} \cdot 1000 \cdot \frac{7,07}{3600} \cdot (56,4 - 30) = 75,5 \text{ Вт}$$

$$Q_4 = 48,9 + 136,13 + 75,5 = 260,53 \text{ Вт}$$

Общая тепловая нагрузка десублиматора равна:

$$Q = 1283,17 + 6605,93 + 10135 + 260,53 = 18284,63 \text{ Вт}$$

Необходимый расход воды определяется из уравнения (3.2.23):

$$18284,63 = G_p \cdot 1073 \cdot (303 - 286),$$

$$G_p = \frac{18284,63}{(303 - 286) \cdot 1073} = 1,002 \text{ кг / с} = 3607,2 \text{ кг / ч}$$

3.2.5 Определение поверхности теплоотдачи

Определим расчетом (подтвердим) необходимую площадь поверхности десублимации. При этом площадь поверхности десублимации определяется для каждой из стадий, с учетом тепловой нагрузки.

Площадь поверхности десублимации рассчитывается по уравнению теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \quad (3.2.26)$$

где

k – коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена, Вт/(м²·К);

F – поверхность теплообмена, м²;

Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителями, определяющая среднюю движущую силу процесса теплопередачи, К.

Коэффициент теплопередачи от газа к холодной стенке принимают постоянным и не зависящим от скорости его движения в пределах от 0,04 до 0,6 м/с. В нашем примере при принятых размерах десублиматора и заданном расходе исходной парогазовой смеси скорость этой смеси определяется по формуле:

$$W = V / S_c,$$

где

V – объемный расход парогазовой смеси, м³/с;

S_c – площадь проходного сечения десублиматора, м².

$$S_c = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

где

D – внутренний диаметр обечайки десублиматора, м;

d – наружный диаметр трубок с хладагентом, м;

n – количество трубок, подводящих хладагент.

Тогда:

$$S_c = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} - 91 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,671$$

Максимальная скорость парогазовой смеси в десублиматоре составит:

$$W = \frac{50}{3600 \cdot 0,671} = 0,02 \text{ м/с}$$

При теплоотдаче от газа к газу, невысоких давлениях и свободном движении потоков, что соответствует нашему случаю, коэффициент теплопередачи

k в формуле (3.2.26) рекомендуется принимать в пределах 4...12 Вт/(м²·К).

Принимаем $k = 8$ Вт/(м²·К).

Средняя разность температур Δt_{cp} , входящая в уравнение теплопередачи (3.2.26), определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mu}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mu}}} \quad (3.2.27)$$

где Δt_{δ} , Δt_{μ} - большая и меньшая разности температур на концах тепловых потоков, К.

Если отношение $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\mu} < 2$, то с достаточной точностью вместо уравнения (3.2.27) можно применять уравнение:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\mu}}{2} \quad (3.2.28)$$

Поверхность теплообмена десублиматора рассчитывается как сумма поверхностей для каждой стадии, проходящей в аппарате при десублимации.

Для первой стадии охлаждения парогазовой смеси при постоянном давлении, равном атмосферному, от температуры 100 °С до начала десублимации при температуре 56,4 °С, необходимо отвести количество тепла, определенное ранее $Q_1 = 1283,17$ Вт.

Среднюю разность температур для этой стадии можно определить по графику изменения температур теплоносителей,

$$\Delta t_{\delta} = 70^{\circ}, \Delta t_{\mu} = 17^{\circ},$$

тогда

$$\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\mu} = 70 / 17 = 4,11,$$

Следовательно, для расчета средней разности температур можно применить формулу (3.2.27). Тогда

$$\Delta t_{cp} = \frac{70 - 17}{\ln \frac{70}{17}} = 37,86^{\circ},$$

а поверхность теплообмена для первой стадии процесса охлаждения газа из уравнения теплопередачи равна:

$$F_1 = \frac{Q}{\kappa \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1283,17}{4 \cdot 37,86} = 2,82 \text{ м}^2$$

Для второй стадии количество тепла, отводимого из аппарата при десублимации равно количеству тепла, выделяемому при десублимации ГФУ

$$Q_2 = Q_{\text{десуб.}} = 6605,93 \text{ Вт}$$

$$\Delta t_6 = 33,4^0, \Delta t_m = 28,4^0, \text{ тогда}$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_m = 33,4 / 28,4 = 1,18; 1,18 < 2.$$

Тогда по формуле 2.2.28)

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{33,4 + 28,4}{2} = 30,9^0,$$

а поверхность теплопередачи для стадии десублимации равна:

$$F_2 = \frac{6605,93}{12 \cdot 30,9} = 17,8 \text{ м}^2$$

Для третьей стадии охлаждения ГФУ и оставшейся части газовой смеси отводимое тепло равно:

$$Q_3 + Q_4 = 10135 + 260,53 = 10395,5 \text{ Вт}$$

$$\Delta t_6 = 33,4^0, \Delta t_m = 17^0$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_m = 33,4 / 17 = 1,9; 1,9 < 2.$$

Следовательно, средняя разность температур между теплоносителями определяется по формуле (3.2.28):

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{33,4 + 17}{2} = 25,2^0,$$

а поверхность теплопередачи для этой стадии равна:

$$F_3 = \frac{10395,5}{12 \cdot 25,2} = 34,38 \text{ м}^2.$$

Общая поверхность теплопередачи процесса десублимации ГФУ:

$$F = F_1 + F_2 + F_3,$$

$$F = 2,82 + 17,8 + 34,38 = 55 \text{ м}^2$$

Следовательно, геометрическая поверхность десублиматора ГФУ заданной производительности превосходит необходимую поверхность, полученную из условий теплопередачи, что позволит применять данную конструкцию десублиматора и для более высокой производительности по газовому потоку.

3.2.6 Конструктивный расчет

Конструктивный расчет десублиматора проводится с целью определения диаметров патрубков для подвода и отвода продуктов и хладагента (теплоносителя) по их объемным расходам, подбора фланцев к этим патрубкам и проверочного расчета на прочность при гидравлических испытаниях аппарата.

Определяем диаметры патрубков для подвода и отвода продуктов и хладагента (теплоносителя) по их объемным расходам.

Уравнение расхода газа или жидкости:

$$G = F \cdot w,$$

где

G – расход жидкости или газа, м³/с;

F – площадь поперечного сечения трубопровода, м²;

w – скорость движения жидкости или газа в трубопроводе, м/с.

Исходя из исходных данных и проведенных тепловых и материальных расчетов процессов десублимации и сублимации, имеем:

- расход парогазовой смеси на входе в аппарат – $G_1 = 0,01388$ м³/с;
- расход горячего рассола, идущего на обогрев наружной стенки аппарата, $G_2 = 0,000833$ м³/с;
- расход рассола на охлаждение парогазовой смеси в режиме десублимации по внутренним теплообменным трубкам, $G_3 = 0,000381$ м³/с;
- расход рассола на нагрев десублимата в режиме сублимации по внутренним теплообменным трубкам, $G_4 = 0,00045$ м³/с.

Исходя из рекомендаций [8] принимаем следующие скорости в трубопроводах:

- на входе и выходе парогазовой смеси на входе в аппарат, $w_1 = 1,5$ м/с;
- на входе и выходе горячего рассола, идущего на обогрев наружной стенки аппарата, $w_2 = 2$ м/с;
- на входе и выходе рассола на нагрев десублимата в режиме сублимации по внутренним теплообменным трубкам, $w_2 = 2$ м/с;
- количество внутренних теплообменных трубок, $n = 91$.

Находим площади поперечного сечения трубопроводов и их диаметры по формулам:

$$F = G / w,$$
$$F = \pi \cdot d^2 / 4 = 0,785 \cdot d^2,$$

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot V}}.$$

Внутренний диаметр трубопровода подвода и отвода парогазовой смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{0,01388}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,108 \text{ м}.$$

Принимаем $d_1 = 150$ мм

Внутренний диаметр трубопровода подвода и отвода горячего рассола, идущего на обогрев наружной стенки аппарата:

$$d_2 = \sqrt{\frac{0,000833}{0,785 \cdot 2}} = 0,023 \text{ м}.$$

Принимаем $d_2 = 25$ мм

Внутренний диаметр трубопровода подвода и отвода рассола на нагрев десублимата в режиме сублимации по внутренним теплообменным трубкам с учетом количества трубок:

$$d_3 = \sqrt{\frac{0,00045}{0,785 \cdot 2}} = 0,0169 \text{ м}.$$

Принимаем $d_3 = 20$ мм.

Подбор фланцев к патрубкам подвода и отвода.

Исходя из отсутствия давления в десублиматоре и среды, поступающей по трубопроводам, выбираем следующие типы фланцев:

- для подвода и отвода агрессивной парогазовой среды – стальные приварные встык с шипом и пазом по ГОСТ 12821-80;
- для подвода и отвода слабоагрессивного рассола - стальные плоские с соединительным выступом по ГОСТ 12820-80.

Десублиматор работает при атмосферном давлении в режимах десублимации и сублимации. Поэтому проводим проверочный расчет толщины стенки десублиматора только в условиях давления при гидравлическом испытании его на прочность и плотность, а именно на давление $p = 0,2 \text{ МПа} = 0,2 \text{ МПа}$ (2 кг/см^2). Основной материал корпуса аппарата – ВСт3. Толщина стенки аппарата принята $s = 10 \text{ мм}$, исходя из наличия агрессивной среды в аппарате и срока службы аппарата.

Проверка толщины стенки корпуса производится при действии внутреннего давления p :

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

где

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение. По ГОСТ 14249-89 для стали ВСт3 при температуре 100°C $[\sigma] = 149 \text{ МПа}$;

φ – коэффициент прочности сварных швов. Для стыковых сварных швов со 100 % контролем по ГОСТ 14249-89 $\varphi = 1$;

s – толщина стенки аппарата, $s = 0,008 \text{ м}$;

C – прибавка на коррозию и эрозию, принимаем $C = 0,001 \text{ м}$;

D – внутренний диаметр аппарата, $D = 1 \text{ м}$.

Тогда

$$[p] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 1 \cdot (0,008 - 0,001)}{1 + (0,008 - 0,001)} = 2,07 \text{ МПа}.$$

$2,07 \text{ МПа} > 0,2 \text{ МПа}$, т.е. $[p] > p$; условие соблюдается.

3.2.7 Прочностной расчет

3.2.7.1 Определение характеристик аппарата

Прочностной расчет тонкостенного сосуда будем вести по [19]. За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимаем наибольшее значение температуры стенки:

$$t_p = \max \{100; 90\} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Для всех элементов аппарата принимаем конструкционный материал – сталь *ВСт3*, имеющую скорость коррозии $\Pi = 0,1 \text{ мм/год}$.

Для выбранного конструкционного материала при расчетной температуре допускаемые напряжения для корпуса и крышки равны:

$$[\sigma] = 149 \text{ МПа}. \quad [18]$$

Для марки стали *ВСт3* при расчетной температуре модуль продольной упругости корпуса и крышки равен:

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Выбор коэффициента прочности сварного шва производим по ГОСТ 14249-89. С учетом специфики сварного шва принимаем $\varphi = 0,9$. [18]

3.2.7.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

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

Исполнительную толщину стенки элемента сосуда и аппарата определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad [18]$$

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

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

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

Прибавка к расчетным толщинам

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

3.2.7.3 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления

Исходные данные: $p = 0,1 \text{ МПа}$, $[\sigma] = 149 \text{ МПа}$, $[\sigma]_u = 154 \text{ МПа}$,

$$h = 3,2 \text{ м}, \quad g = 9,81 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad \rho_{\text{воды}} = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Толщину стенки следует рассчитывать по формулам [11, с.18]:

$$s \geq s_p + C,$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\};$$

где p_p - расчетное давление,

p_u - пробное давление.

$$p_p = p + p_z, \quad [11]$$

где p_z - гидростатическое давление среды, которое определяется

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h,$$

$$p_z = \rho \cdot g \cdot h = 998 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 0,03 \text{ МПа},$$

$$p_p = p + p_z = 0,1 + 0,03 = 0,13 \text{ МПа},$$

$$p_u = 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_u}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,13 \cdot \frac{600}{430} = 0,22 \text{ МПа}$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p)}{p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - p_u)} \right\} = 0,79 \text{ мм.}$$

$$s \geq s_p + C = 0,79 + 1 = 1,79 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее давление следует рассчитывать по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}. \quad [19]$$

3.2.7.4 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления

Исходные данные: $p = 0,3 \text{ МПа}$, $[\sigma] = 149 \text{ МПа}$, $[\sigma]_u = 154 \text{ МПа}$,

$$g = 9,81 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad \rho_{\text{воды}} = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Толщину стенки приближенно определяем по формулам:

Толщину стенки приближенно определяем по формулам [12, с.36]:

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

$$s_{p.н} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\}, \quad [11]$$

$$p_p = p + p_2$$

Так как площадь рубашки незначительная, то давление гидростатического столба жидкости p_2 принимаем равное 0, следовательно

$$p_p = p = 0,3 \text{ МПа}.$$

Коэффициент K_2 определяется по номограмме [12, с. 37] при соответствующих значениях коэффициентов K_1 и K_3 , определяемых по формулам:

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

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

где l_p – длина корпуса аппарата в месте действия наружного давления.

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,3}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5} = 1,63;$$

$$K_3 = \frac{3200}{1000} = 3,2;$$

$$K_2 = 0,9.$$

Толщина стенки корпуса:

$$s_{p.н} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = 9 \text{ мм},$$

$$s \geq s_{p.n} + C = 9 + 1 = 10 \text{ мм.}$$

Исполнительную толщину стенки корпуса определяем по формуле:

$$s = \max \left\{ s_p; s_{p.n} \right\} + C;$$

$$s = \max \{0,79; 9\} + 1 = 10 \text{ мм.}$$

Принимаем $s = 10 \text{ мм.}$

Находим допускаемое внутреннее давление

$$[p] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 0,9 \cdot (10 - 1)}{1000 + (10 - 1)} = 2,39 \text{ МПа};$$

$$p \leq [p] (0,1 < 2,39).$$

Допускаемое наружное давление следует определять по формуле:

$$[p]_n = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E} \right)^2}}, \quad [19]$$

где допускаемое давление из условия прочности определяем по формуле:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - C)}{D + (s - C)}; \quad [19]$$

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 149 \cdot (10 - 1)}{1000 + (10 - 1)} = 2,65 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяем по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - C)}{D} \right]^{2,5}, \quad [19]$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - C)}} \right\}; \quad [19]$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{1000}{3200} \cdot \sqrt{\frac{1000}{100 \cdot (10 - 1)}} = 3,1 \right\} = 1;$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5 \cdot 1000}{2,4 \cdot 1 \cdot 3200} \cdot \left[\frac{100 \cdot (10 - 1)}{1000} \right]^{2,5} = 0,38 \text{ МПа};$$

$$[p]_H = \frac{2,65}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,65}{0,38} \right)^2}} = 0,38 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_H \quad (0,3 < 0,38).$$

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру

$$\frac{s - C}{D} \leq 0,1;$$

$$\frac{10 - 1}{1000} = 0,009 < 0,1.$$

3.2.7.5 Определение толщины плоской крышки

Толщину плоской круглой крышки рассчитываем по формуле:

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

$$\text{где } s_{K,p} = K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma]}}. \quad [11]$$

Значения коэффициента (K) в зависимости от конструкции крышки определяем по [3, с. 44]:

$$K = 0,4;$$

$$D_p = D_3.$$

Значения коэффициента ослабления (K_0) для крышки, имеющей несколько отверстий, определяют по формуле:

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p} \right)^3}{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p} \right)}}; \quad [11]$$

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{50}{1100} \right)^3}{1 - \sum \left(\frac{50}{1100} \right)}} = 4,7;$$

$$s_{K,p} = 0,4 \cdot 4,7 \cdot 1000 \cdot \sqrt{\frac{0,3}{0,9 \cdot 149}} = 8,9 \text{ мм};$$

$$s_K = 8,9 + 1 = 9,9 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_K = 10 \text{ мм}$.

Допускаемое давление на плоскую крышку определяют по формуле:

$$[p] = \left(\frac{s_K - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi; \quad [11]$$

$$[p] = \left(\frac{10 - 1}{0,4 \cdot 4,7 \cdot 1100} \right)^2 \cdot 149 \cdot 0,9 = 0,58 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p] \quad (0,3 \leq 0,58).$$

Проверяем условия закрепления крышки:

$$D_p = D_3 = 1100 \text{ мм}.$$

3.2.7.6 Проверка необходимости укрепления отверстий

Расчетный диаметр одиночного отверстия в крышке корпуса вычисляем по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s_K - C}{s_{K.p}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_K - C)}; \quad [20]$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{10-1}{8.9} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1000 \cdot (10-1)} = 41.2 \text{ мм.}$$

Проверяем условие:

$$d_R \leq d_0 \quad (40 < 41.2).$$

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

3.2.7.7 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов стыка цилиндра с конусом

Допускаемые напряжения на краю элемента определяются по следующей формуле:

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

$$[\sigma]_{кр.} = 1,3 \cdot 149 = 193,7 \text{ МПа.}$$

Уравнения совместности деформаций для места стыка цилиндра с конусом имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u &= \Delta_p^3 + \Delta_{Q_0}^3 + \Delta_{M_0}^3, \\ \theta_p^u - \theta_{Q_0}^u + \theta_{M_0}^u &= -\theta_p^3 - \theta_{Q_0}^3 - \theta_{M_0}^3, \end{aligned} \right\}$$

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 ;

$\Delta_p^3, \Delta_{Q_0}^3, \Delta_{M_0}^3, \theta_p^y, \theta_{Q_0}^y, \theta_{M_0}^y$ – соответственно радиальные и угловые перемещения края конической оболочки под действием нагрузок p, Q_0, M_0 .

Подставляя в уравнения совместности деформаций значения деформаций, получим:

$$\frac{(2-\mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s-C)} \cdot p - \frac{2\beta \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C)} \cdot M_0 = \frac{p \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot (s_\delta - C)} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) + \frac{2 \cdot \beta_\delta \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta_\delta^2 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot M_0;$$

$$- \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot M_0 = - \frac{2 \cdot \beta_\delta^2 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta_\delta^3 \cdot a^2}{(s_\delta - C) \cdot E} \cdot M_0;$$

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

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

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

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

$$a = R = 500 \text{ мм};$$

$$b = 250 \text{ мм};$$

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{500 \cdot (9 - 1) \cdot 10^{-6}}} = 20,48 \text{ м}^{-1};$$

$$\beta_\delta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{500 \cdot (9 - 1) \cdot 10^{-6}}} = 20,48 \text{ м}^{-1}.$$

Подставляя эти значения, определяем Q_0 и M_0 :

$$Q_0 = -23,5 \cdot 10^{-7} \text{ МН/м};$$

$$M_0 = -0,92 \cdot 10^{-7} \text{ МН} \cdot \text{м/м}.$$

Суммарные напряжения на краю конуса:

меридиональное

$$\begin{aligned} \sigma_{m\partial} &= \sigma_{m\partial}^p + \sigma_{m\partial}^{Q_0} + \sigma_{m\partial}^{M_0} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot (s_\partial - C)} + 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s_\partial - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,009 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = (-7,5 \pm 0,086) = 7,586 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{t\partial} &= \sigma_{t\partial}^p + \sigma_{t\partial}^{Q_0} + \sigma_{t\partial}^{M_0} = \frac{p \cdot a \cdot \left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_\partial - C)} + \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta_\partial \cdot a}{(s_\partial - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta_\partial^2 \cdot a}{(s_\partial - C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s_\partial - C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,4 \cdot \left(2 - \frac{0,5^2}{0,25^2}\right)}{2 \cdot (0,009 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-23,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48^2 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = (15,0087 \pm 0,0025) = 15,0011 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Суммарные напряжения на краю цилиндра:

меридиональное

$$\begin{aligned} \sigma_{m0} &= \sigma_{m0}^p - \sigma_{m0}^{Q_0} + \sigma_{m0}^{M_0} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot (s - C)} - 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,009 - 0,001)} \pm \frac{6 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = \\ &= (7,5 \pm 0,086) = 7,586 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{t0} &= \sigma_{t0}^p - \sigma_{t0}^{Q_0} + \sigma_{t0}^{M_0} = \frac{p \cdot R}{(s - C)} - \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot R}{(s - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot R}{(s - C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s - C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} - \frac{2 \cdot (-23,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48^2 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = (15,0087 \pm 0,0025) = 15,011 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Максимальное напряжение на краю:

конуса

$$\sigma_{\max o} = \max \{ \sigma_{m o}; \sigma_{t o} \} = \max \{ 7,586; 15,0011 \} = 15,0011 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\max o} < 1,3 \cdot [\sigma] (15,0011 < 171,405);$$

цилиндра

$$\sigma_{\max} = \max \{ \sigma_{m 0}; \sigma_{t 0} \} = \max \{ 7,586; 15,0011 \} = 15,0011 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\max} < 1,3 \cdot [\sigma] (15,0011 < 171,405).$$

Таким образом, условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется.

3.2.7.8 Расчет и подбор фланцев

Расчет производится аналогично расчету 3.1.5.10. По данным расчета для корпуса и трубчатки принимаем стандартный плоский приварной фланец с соединительным выступом по ОСТ 26-426 – 79. Конструкция фланца приведена на рисунке 3.2.4.

Таблица 3.2.7 – Фланец для аппарата стальной плоский приварной

D	1000	d	M20
$p, \text{МПа}$	0,3	h	38
D_n	1130	s_0	10
D_b	1090	z	40
D_{cn}	1052	b_n	25

Фланец корпуса и рубашки аппарата представлен на рисунке 3.2.4.

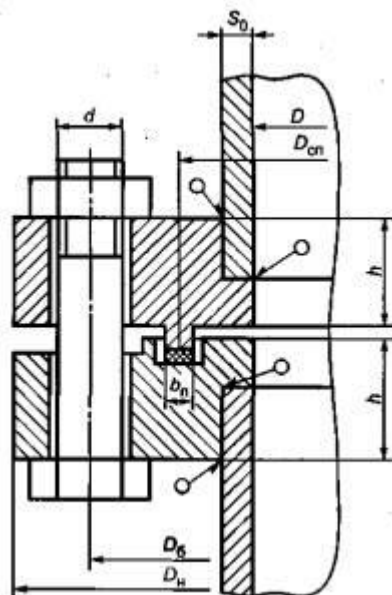


Рисунок 3.2.4 – Фланец корпуса и крышки аппарата

3.2.7.9 Подбор опор

Нагрузка, действующая на опору, рассчитывается по формуле:

$$P = (m_{\text{обечайки}} + m_{\text{фланца}} + m_{\text{крышки}} + m_{\text{трубчатки}} + m_{\text{смеси}}) \cdot g;$$

$$P = (62,9 + 28,8 + 55,8 + 59,4 + 172,8) \cdot 9,81 = 3,7 \text{ кН}.$$

Выбираем стандартные опоры для аппарата по ОСТ 26-665 – 79. Принимаем количество лап $n = 4$, следовательно

$$Q_p = \frac{P}{2} = \frac{3,7}{2} = 1,85 \text{ кН}.$$

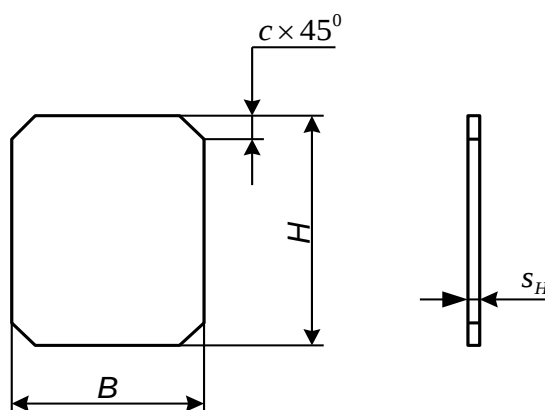
Конструкция стандартной опоры (лапы) приведена на рисунке 3.2.6

Основные геометрические характеристики опоры аппарата приведены в таблице 3.1.6.

Таблица 3.2.8 – Основные геометрические характеристики опоры аппарата

$Q, \kappa H$	4	$c, \text{мм}$	20
$h, \text{мм}$	140	$c_1, \text{мм}$	50
$h_1, \text{мм}$	10	$b, \text{мм}$	95
$s_1, \text{мм}$	5	$d, \text{мм}$	12
$a, \text{мм}$	79	$d_B, \text{мм}$	M12
$a_1, \text{мм}$	95	$K, \text{мм}$	15
$f_{\max}, \text{мм}$	25	$K_1, \text{мм}$	25

Размеры накладных листов (рисунок 3.2.5) под опоры вертикальных аппаратов принимаем по ОСТ 26-665 – 79:



$B = 100 \text{ мм}, H = 150 \text{ мм}, c = 8 \text{ мм}, s_H = 4 \text{ мм}.$

Рисунок 3.2.5 – Накладной лист

На рисунке 3.2.6 изображена подобранная опора.

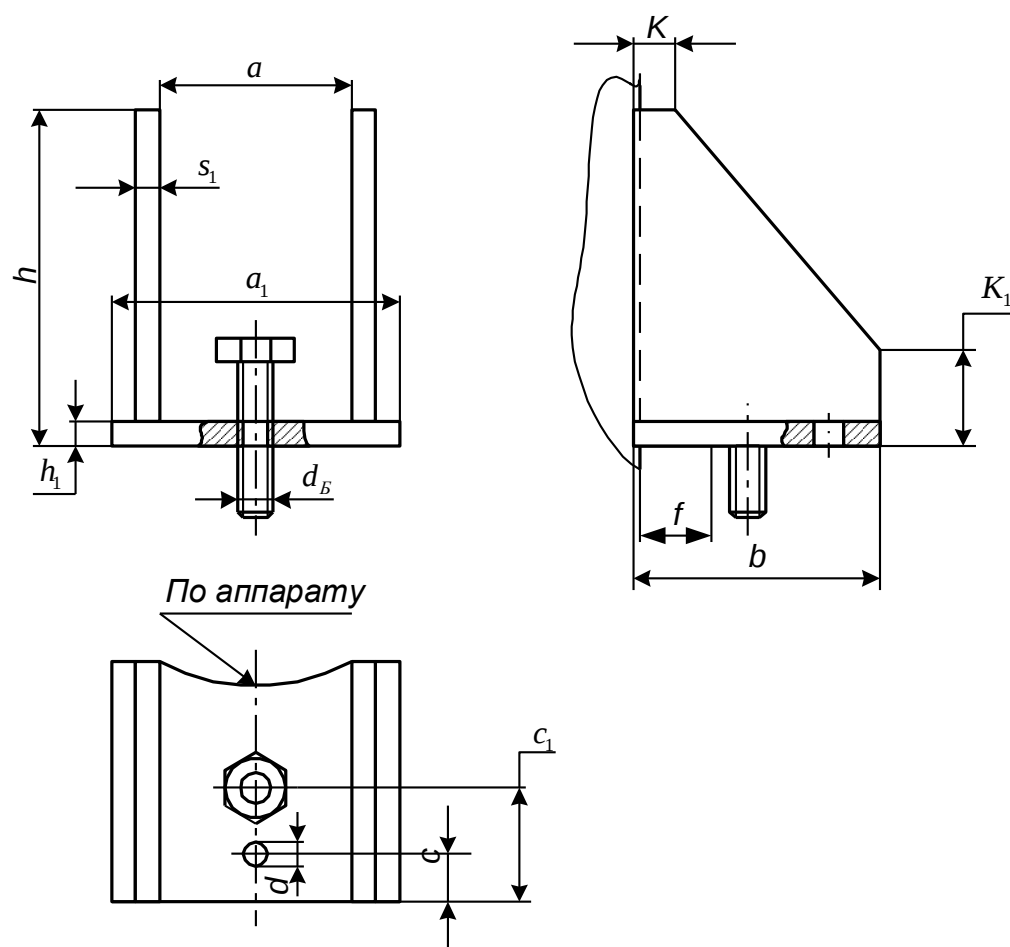


Рисунок 3.2.6 – Опора

4 Монтаж оборудования.

4.1 Введение

Аппараты больших размеров собираются не посредственно на месте установки. Монтаж колонных аппаратов осуществляется (если не большие габариты) кранами, в собранном виде либо поэтапно. В данном случае необходимо смонтировать в помещении цеха установку, состоящую из трёх элементов: вертикальной (пламенный реактор), горизонтальной реторт (узел выгрузки), и расширительной камеры. Масса установки 1900 кг. Доставку к месту монтажа (в помещение цеха) осуществляют автомобилем, далее при помощи мостового крана осуществляют поэтапный монтаж. Более подробная схема монтажа представлена на чертеже.

4.2 Расчёт и подбор полиспаста.

1 Определяем усилие P , действующее на подвижный блок полиспаста при подъеме груза [13]

$$P_n = 10 \cdot G_0,$$

где G_0 – масса поднимаемого груза, т.

$$P_n = 10 \cdot 2 = 20 \text{ кН}.$$

2 Находим усилие P_n , действующее на неподвижный блок полиспаста

$$P_i = (1,07 - 1,2)P_n,$$

$$P_n = 1,07 \cdot 20 = 21,4 \text{ кН}.$$

3 Подбираем блок по наибольшему усилию P_n со следующими характеристиками грузоподъемность – 2,5 т; количество роликов – 1 шт.; диаметр роликов – 150мм; масса – 14 кг. Таким образом в полиспасте, состоящем из двух блоков масса $G_6 = 14 \times 2 = 28$ кг.

4 Находим усилие S_n в сбегающей ветви полиспаста [13]

$$S_n = P_n / m_n \cdot \eta,$$

где m_n – общее количество роликов в полиспасте;

η – коэффициент полезного действия полиспаста, учитывающий потери на трение роликов в осях и сопротивление от жесткости каната при огибании им роликов.

Выбираем блок с роликом на подшипниках качения, находим к.п.д. полиспаста $\eta = 0,980$ (приложение 2, стр.25) [13]

$$S_n = 20 / (1 \cdot 0,980) = 20,4 \text{ кН}.$$

5 Определяем разрывное усилие R_k в сбегающей ветви полиспаста

$$R_k = S_n \cdot k_3,$$

где k_3 – коэффициент запаса прочности, $k_3 = 5,0$.

$$R_k = 20,4 \cdot 5 = 102 \text{ кН}.$$

4.3 Расчёт и подбор каната

1 Подбираем стандартный канат для оснастки полиспаста, канат типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14) +1 о.с. (ГОСТ 7668-80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	109,0
диаметр каната, мм	13,5
масса 1000 м каната, кг	697

2 Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста.

$$L = m_n \cdot (h + 3,14d_p) + l_1 + l_2,$$

где h – длина полиспаста в полностью растянутом виде, $h = 15$ м;

d_p – диаметр роликов блоках, м;

l_1 – длина сбегающей ветви от ролика блок до барабана лебедки,
 $l_1 = 30$ м;

l_2 – расчетный запас длины каната, $l_2 = 10$ м.

$$L = 1 \cdot (15 + 3,14 \cdot 0,150) + 30 + 10 = 47,1 \text{ м.}$$

Подсчитываем суммарную массу полиспаста G_n

$$G_n = G_{\delta} + G_k,$$

где G_{δ} – масса обоих блоков полиспаста, т;

G_k – масса каната для оснастки полиспаста, т.

$$G_k = Lg_k / 1000,$$

где g_k – масса 1000 м каната, кг.

$$G_n = G_{\delta} + G_k = G_{\delta} + Lg_k / 1000 = 28 + 47,1 \cdot 697 / 1000 = 0,06 \text{ т.}$$

Определяем усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста [13]

$$P_{\delta} = 10G_0 + 10G_n + S_n = 10 \cdot 2 + 10 \cdot 0,06 + 20,4 = 41 \text{ кН.}$$

Приняв канат для крепления полиспаста из 8 ветвей и определив запас прочности $k_3 = 6$, как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната

$$R_k = P_{\delta} k_3 / 8 = 41 \cdot 6 / 8 = 30,75 \text{ кН.}$$

4.4 Подбор электролебёдки и мостового крана

По усилию S_n в сбегающей ветви полиспаста подбираем электролебёдку типа ЛМ – 2,5 с тяговым усилием 25 кН и канатоемкостью 140 м.

Выбираем кран мостовой однобалочный ГОСТ 22045-89:

- тип	1
- исполнение	Б
- грузоподъемность, кг	3200
- пролет, м	16,5
- высота подъема, м	18
- напряжение, В.....	220
- масса, кг	3950

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

Данная дипломная работа посвящена разработке установки получения гексафторида урана. В этом разделе будут рассмотрены вопросы безопасности по отношению к перерабатываемому комплексу.

Данный перерабатывающий комплекс обслуживает ряд рабочих: аппаратчики, монтажные работники, слесари и т. д. Они выполняют все необходимые работы, обеспечивающие нормальное функционирование всех аппаратов и установок, такие как ремонт оборудования, контроль за функционированием оборудования и т. д.

Используемое в данном технологическом процессе оборудование очень простое в обслуживании и не требует дополнительных усилий в ремонте и обслуживании. Для безопасной и безаварийной эксплуатации все оборудование должно подвергаться технологическому обслуживанию и ремонту. Для обеспечения нормальной работы оборудования и выявления его дефектов производится капитальный, текущий ремонт и технический осмотр оборудования в соответствии с системой ППР. Служба КИП ежемесячно проводит проверку всех приборов. Два раза в год проводится проверка токоведущих частей и заземления. Все приведенные выше меры позволяют добиться максимальной безопасности.

5.2 Производственная безопасность

Установка получения и улавливания ГФУ является источником опасных и вредных факторов. Классификация опасных и вредных факторов представлена в таблице 5.2.1.

таблица 5.2.1 Опасные и вредные факторы при выполнении работ на установке получения гексафторида урана (ГОСТ 12.0.003-74) [22].

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
- Ведение технологического процесса; - Обслуживание установки получения гексафторида урана.	- Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; - Повышенный уровень ионизирующих излучений; - Химические вещества.	- Опасность поражения электрическим током; - Движущиеся части оборудования (шнек пламенного реактора); - Повышенная температура поверхностей оборудования; - Опасность взрыва и пожара.	ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. ГОСТ 12.1.012-78 ССБТ. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ

- **Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.**

Метеоусловия зависят от состояния воздушной среды и характеризуются следующими элементами: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, тепловым излучением нагретых поверхностей оборудования и обработыванием деталей и материалов. Для обеспечения этих условий в пределах санитарных норм и поддержанием теплового равновесия между теплом человека и окружающей средой на производстве необходимо проводить ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых работ;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами;

- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов и трубопроводов, излучающих тепло;

С целью создания нормальных условий работы персонала установлены нормы производственного микроклимата. Эти нормы устанавливают оптимальные и допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха с учетом (СН-245-71) [23], тяжести выполняемых работ и сезонов года.

Нормативные показатели производственного микроклимата установлены ГОСТ 12.1.005-88 [24] «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования», а также СНиП 2.2.4.584-96. Этими нормами регламентируют показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение.

Средства защиты работников:

- нательное белье;
- костюм из хлопчатобумажной ткани;
- хлопчатобумажный берет;
- носки х/б;
- кожаные ботинки или резиновые сапоги;
- фланелевый шарф;
- респиратор ШБ-1 или «Лепесток-200»;
- противогаз с коробкой марки «ФК-5Б ВЗЕЗРЗ»;
- перчатки или рукавицы хлопчатобумажные.

• **Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте.**

На данном производстве источниками шума и вибрации являются: узлы загрузки и выгрузки сырья, узел фторирования урана.

Повышение уровня шума и вибрации оказывает вредное воздействие на организм человека, производственное оборудование, коммуникации и сооружения. Все это предусматривает необходимость разработки и осуществ

ления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий для снижения шума и вибрации до величин, установленных санитарными нормами и ГОСТом 12.1.003-83 [25]. Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 85 ДбА. Уровень шума в боксах составляет максимум 90 и 100 ДбА. Помещения внутри боксов не являются постоянными рабочими местами. Боксы своими стенами из металла и полиуретанового пенопласта препятствуют выходу наружу шума. Обслуживающий персонал находится в боксах только при пуске и контрольных обходах. Контроль за нормальной работой машин в боксах производится из операторной. Снижение уровня шума в боксах при длительном пребывании, например, при ремонтах, достигается индивидуальными средствами защиты от шума. Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 85 ДбА.

Снижение шума и вибрации достигается:

- применением звукоизолирующих кабин наблюдения и дистанционного управления;
- применением звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах;
- применением акустических экранов;
- снижением шума вентиляторов и применением глушителей шума в системах вентиляции, кондиционирования воздуха и в аэрогазодинамических установках.

Средства защиты работников:

- для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются противοшумные вкладыши, противοшумные наушники и шлемы.

- **Опасность поражения электрическим током.**

Производственное помещение установки получения гексафторида урана по опасности электропоражений в соответствии с ПУЭ относится к классу особо опасных помещений (два и более признаков повышенной

опасности одновременно), так как присутствуют токопроводящие полы, высокая температура.

Причинами электропоражений могут быть: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям пламенного реактора, находящегося под напряжением.

Электрооборудование в здание должно отвечать требованиям правил устройств электроустановок. Все части технологического оборудования, которые проводят статическое электричество, необходимо заземлить согласно ГОСТ 12.4.124-83 [26].

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения в соответствии с ГОСТ 12.4.124-83.

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, резиновые фартуки и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками. [24]

Средства коллективной защиты.

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся: заземление, зануление, защитное отключение, изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, сигнализация и плакаты, электрозащитные средства, электрическое разделение сетей.

Предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых попаданий ударов молнии путем присоединения корпусов установок, отдельных емкостей и аппаратов к заземляющему контуру и установкой молниеприемников. В соответствии с СН 305-77 [27].

- **Токсические и раздражающие.**

Фтор

Фтор относится к веществам 1 класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76 [28], обладает остронаправленным действием, раздражает слизистую оболочку дыхательных путей, глаз, вызывает острые отравления, вдыхание больших

концентраций может привести к параличу дыхательного центра. При попадании на открытые участки тела вызывает химические ожоги. Предельно допустимая концентрация фтора в воздухе рабочей зоны $0,03 \text{ мг/м}^3$. Пожаровзрывобезопасен. Как сильный окислитель фтор при взаимодействии с кислородом воздуха, органическими веществами может вызвать возгорание.

Индивидуальная защита: Изолирующие шланговые противогазы с подачей чистого воздуха. Кислородные приборы. Спецодежда из стекловолокна; защитные очки из оргстекла. Постоянный контроль за герметичностью оборудования. Цельные трубы из стойкого металла. Изолированное хранение емкостей под давлением, дистанционное управление аппаратуры до ее открывания – при помощи вакуума, продувание инертным газом.

Фтористый водород

Фтористый водород относится к вредным веществам 2 класса опасности. Токсичен, обладает остронаправленным, ядовитым и разъедающим действием, способностью к кумуляции. Пары фтористого водорода вызывают сильное раздражение глаз, слизистых носа и гортани, поражение верхних дыхательных путей; при высоких концентрациях – спазм гортани и бронхов, отек легких, поражение центральной нервной системы. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны $0,5 \text{ мг/м}^3$. Пожаровзрывобезопасен.

Индивидуальная защита: Для предупреждения отравления фтороводородом необходима надежная вентиляция, герметизация оборудования и использование индивидуальных средств защиты. Для защиты органов дыхания применяют промышленный фильтрующий противогаз марки ГФ. Для защиты от фторсодержащей пыли используют противопыльный респиратор ШБ-1 (“лепесток”). При работе с фтороводородом предусмотрена суконная спецодежда, резиновые сапоги, перчатки (рукавицы), фланелевый шарф и хлопчатобумажное белье. В рабочем помещении должны быть аптечки, средства пожаротушения и сода для нейтрализации свободной кислоты на случай воз-

можного выброса. Особое внимание следует обращать на выбор конструктивных материалов и средств контроля технологического процесса.

Гексафторид урана

Гексафторид урана относится к вредным веществам 1 класса опасности. Гексафторид урана – токсичное вещество. При длительном воздействии на организм человека отмечается поражение дыхательных путей и почек. Высокие концентрации гексафторида при попадании на кожу вызывают химический ожог, внутрь организма – отек легких, отравление. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,015 мг/м³. Пожаровзрывобезопасен.

Уран и его соединения

Оксиды урана, тетрафторид урана, а также зола, сметки с вентсистем, огарки и т.д., относятся к вредным веществам 1 класса опасности (чрезвычайно опасные вещества). ПДК для растворимых соединений урана 0,015 мг/м³; для нерастворимых – 0,075 мг/м³.

Общий характер действия обусловлен, с одной стороны, химической токсичностью соединений урана, а с другой стороны - его радиоактивностью. Характер патологических процессов во многом зависит от растворимости соединений, их дисперстности, а также от путей поступления их в организм. Основные патологические явления связаны с поражением почек.

Острое отравление. При воздействии UF₆ отмечаются поражения дыхательных путей и почек. В острых случаях отек легких, ожоги кожи, альбинурия, азотемия.

Хроническое отравление. Обнаруживается нефроз почек. При многократном воздействии урановых соединений в моче периодически появляются белок и сахар; в крови понижается количество лимфоцитов.

Поступление в организм, распределение и выведение. Уран и его соединения могут поступать в организм через органы дыхания, желудочно – ки-

шечный тракт и кожу. Всасывание урана при различных путях поступления зависит от растворимости его соединений.

Соединения урана накапливаются главным образом в костях, почках, а также в печени. Большая часть урана, поступившая в организм, выделяется в первые 24 ч. Растворимые соединения урана выделяются с мочой.

Неотложная терапия. Дезактивация кожи и слизистых оболочек водой с мылом или содовым раствором. Внутрь раствор двузамещенного фосфата натрия, слизистые отвары, молоко, яичный белок. Рвотные средства, промывание желудка. Внутривенно – гипосульфит натрия, глюкоза с витамином В, С. Для ускорения выведения урана из организма применяют пентацин, пентафацин и фосфицин.

Кроме химической интоксикации организма происходит поражение ионизирующим излучением, так как уран является альфа. Продукты распада урана также обладают и бета-активностью. ДОО для воздуха производственных помещений устанавливается с учетом изотопного состава смеси радионуклидов, типа соединения при ингаляции и составляет 1,0 Бк/м³. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,075 мг/м³. Пожаровзрывобезопасны.

- **Повышенный уровень ионизирующих излучений.**

В установке получения гексафторида урана используется природный уран, который является источником α – излучения. Под действием ионизирующего излучения в организме человека могут происходить сложные процессы. Действие ионизирующего излучения возможно, как при внешнем облучении, так и при внутреннем облучении.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в

развитии плода и др.) и стохастические (вероятные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

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.

Таблица 5.2.2 – Основные пределы доз (НРБ-99)

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 <i>мЗв</i> в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 <i>мЗв</i> в год	1 <i>мЗв</i> в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 <i>мЗв</i> в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах	150 <i>мЗв</i> 500 <i>мЗв</i> 500 <i>мЗв</i>	15 <i>мЗв</i> 50 <i>мЗв</i> 50 <i>мЗв</i>

В качестве мероприятий по защите от α -излучения служат защитная одежда (хлопчатобумажные комбинезоны, перчатки, шапочка и респиратор). Весь рабочий персонал обязан носить при себе индивидуальные дозиметры и проходить дозиметрический контроль в отделении санпропускника. Работы, связанные со вскрытием оборудования, проводятся с использованием местных вытяжных отсосов.

Радиационный контроль на участке предусматривает контроль за соблюдением требований [29] и [30], получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке.

Контроль за радиационной обстановкой производится в соответствии с [31] и включает:

- контроль за мощностью дозы гамма-излучения;
- контроль за уровнем загрязнения радиоактивными веществами поверхностей полов и оборудования, кожных покровов, спецодежды и спецобуви персонала;
- контроль за содержанием α -активных аэрозолей в воздухе рабочих помещений;
- контроль за выбросами радиоактивных веществ в атмосферу;
- контроль за уровнем загрязнения радиоактивными веществами транспортных средств;
- индивидуальный контроль внешнего и внутреннего облучения персонала;

Для обслуживающего участка персонала предусмотрен обязательный индивидуальный дозиметрический контроль.

При производстве ремонтных работ на участке персонал должен применять дополнительные средства индивидуальной защиты: защитные очки, резиновые перчатки, пластиковые фартук, бахилы и нарукавники.

- **Опасность взрыва и пожара.**

Сведения о взрывопожарной и пожарной опасности, санитарная характеристика производственных зданий, помещений представлены в таблице 5.2.3.

Таблица 5.2.3 – Сведения взрывопожарной и пожарной опасности

Наименование здания помещения	Категория взрывопожарной и пожарной опасности помещений и здания	Классификация взрывоопасных зон внутри и вне помещений для выбора и установки электрооборудования			Группа производственных процессов по санитарной характеристике (СН иП 2.09.04)	Средства пожаротушения
		Класс взрывоопасной зоны	Категория и группа взрывоопасных смесей	Наименование веществ, определяющих категорию и группу взрывоопасных смесей		
Зд 50 ^А	Д	П-IIa	—	—	16	ПК, ОВП-10, ОУ-5
Пом. ЩТК	В4	П-IIa	—	—	16	

Все пожароопасные работы проводятся в соответствии с [32], [33].

5.3 Экологическая безопасность

• Защита атмосферы

В производстве сырьевого гексафторида урана цеха №51 применяется две вытяжные вентсистемы: ВМ-2 и ВО-2.

На ВМ-2 поступает газовоздушная смесь от местных отсосов, сдувок из аппаратов, воздух с установки пневмотранспорта и "хвостовой" технологический газ. Смесь загрязнена фтористыми газообразными соединениями, аммиаком, оксидами азота и α -активными аэрозолями.

На ВО-2 поступает воздух общеобменной вентиляции, загрязненный фтористыми газообразными соединениями и α -активными аэрозолями.

Источники загрязнения атмосферного воздуха

ВМ-2 (ГПУУ-102), ИЗА № 3001. Высота источника 82,3 м, диаметр устья 4,8 м, объемный расход выбрасываемой газовой смеси до 430000 м³/ч.

ВО-2 (ГПУУ-103), ИЗА № 3003. Высота источника 26,5 м, диаметр устья 1,8 м, объемный расход выбрасываемой газовой смеси до 180000 м³/ч.

Из источника выбросов № 3001 в атмосферу поступают следующие ЗВ: F⁻, NH₃, NO₂, SO₃ и РВ – α-активные аэрозоли.

Из источника выбросов № 3003 в атмосферу поступают следующие ЗВ: F⁻ и РВ – α-активные аэрозоли.

Схемы ГПУУ-102 и ГПУУ-103 с указанием точек контроля приведены в приложениях Б и В.

Перечень ЗВ и РВ, выбрасываемые из источников выбросов №№ 3001 и 3003, их нормы выброса представлены в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1 – Нормы выбросов ЗВ и РВ [34], [35] (№ 60-07/723-ДСП; Разрешение № 0057-12)

Вещества	Норма выброса
Источник выбросов № 3001	
Фтористые газообразные соединения	0,0712 г/с (по фтору)
Аммиак	1,4680 г/с
Диоксид азота	0,0624 г/с
Оксид азота	0,0101 г/с
Серная кислота	0,0610 г/с
α-активные аэрозоли*	98,05 МБк/мес
Источник выбросов № 3003	
Фтористые газообразные соединения	0,0220 г/с (по фтору)
α-активные аэрозоли *	37 МБк/мес

• * – изотопы Pu-239, U-234, U-235, U-238

Приборы и методы контроля

Организован контроль за концентрациями ЗВ и РВ в соответствии с ежегодно пересматриваемыми «Графиком аналитического контроля ВВ в воздухе производственных помещений СЗ», «Графиком аналитического контроля выбросов РВ» и «Графиком аналитического контроля выбросов ВХВ». Контроль производится следующими приборами и методами:

- непрерывный отбор пробы на аэрозольные фильтры типа АФА РСП-20 для определения активности суммы и состава смеси выбрасываемых радионуклидов;
- периодический отбор проб на фтор-ион на поглотитель (материал "ВИОН") и их анализ потенциометрическим методом;
- оперативный контроль за содержанием α -активных аэрозолей в воздухе рабочих помещений с использованием альфа-спектрометрического комплекса;
- ежесуточный отбор проб на содержание фтористых газообразных соединений и аммиака;
- еженедельный отбор проб на содержание оксидов азота и серной кислоты.

Измерение параметров ИЗА проводится по следующим методикам и инструкциям:

- РИ 26-108-2007 «Рабочая инструкция по обследованию и измерению основных параметров вентиляционных систем» по всем ИЗА;
- ИА 60-25-007-2008 «Газовоздушные выбросы. Методика выполнения измерений содержания аммиака потенциометрическим методом»;
- ИА 60-25-006-2009 «Воздух рабочей зоны и газовоздушные выбросы. Методика выполнения измерений содержания фтористых соединений потенциометрическим методом»;
- ИА 60-25-016-91 «Воздух рабочей зоны, газовоздушные выбросы. Фотометрический метод определения содержания фтора»;

- МВИ 006-03-88 «Оксиды азота. Ионметрическая методика выполнения измерений содержания в технологических выбросах» по ИЗА №№ 3001, 3010, 3019;

- МП 67-05-2011 «Методика предприятия. Выбросы. Определение величины активности α – излучающих радионуклидов из труб заводов СХК»;

- РД 52.04.186 – 89 «Серная кислота. Турбидиметрический метод».

Предупредительная и аварийная сигнализация, а также блокировки, включающие попадание РВ и ЗВ в газоочистное оборудование с концентрациями и скоростями, превышающими их допустимые пределы, не предусмотрена проектом.

- **Защита гидросферы**

Сточные воды, образующиеся в производстве 5102, представляют собой:

– охлаждающие воды после аппаратов А-202₁₋₄, А-204₁₋₄, А-213₁₋₄, А-210₁₋₄, А-211₁₋₄, А-226₁, А-228_{1,2,3,4}, А-238, А-249, А-297₁ сбрасываются в канализацию условно-чистых вод через колодец № 98, а затем в северный сбросной канал ТЭЦ, и контролируются на содержание примесей урана (не более 0,003 мг/дм³) в колодце № 100 (источник сброса сточных вод №1) еженедельно в соответствии с «Графиком аналитического контроля сбросных вод завода».

– воды из калориферов отопления, калориферов ООГП, ООВТ, вентсистем П-1, П-2, конденсат из теплопункта сбрасываются в промышленную канализацию, а затем в водохранилище № 1, и контролируются согласно [35] не реже трех раз в месяц на содержание урана и ЗВ в колодце № 82 (источник сброса сточных вод №№ 2, 3).

Характеристика источников сброса приведена в таблице 5.3.2.

Таблица 5.3.2 – Характеристика источников сброса

Номер источника	Место образования	Причина образования сточных вод	Категория сточных вод	Загрязняющие вещества (показатели)	Нормы содержания	Суммарный объем сточ-
1	Здание 50а, производство №2, цех №51	Охлаждение технологического оборудования	Охлаждающие, технологические воды	Уран	Не более 0,003 мг/дм ³	75,20
				рН	-	
				Фторид-ион	-	
				Температура ст. вод	-	
2, 3	Здание 50а, 50б, производство №2, №4, цех №51	Охлаждение технологического оборудования	Охлаждающие воды	Уран	Не более 0,015 мг/дм ³	3292, 32
				рН	6,5-8,5	
				Аммонийный азот	0,30 мг/л	
				Азот общий	-	
				Фторид-ион	0,60 мг/л	
				Хлорид-ион	10,14 мг/л	
				Температура ст. вод	26 ⁰ С	
				Взвешенные вещества	26,26 мг/л	
				Сухой остаток	-	
				Прокаленный остаток	161,9 мг/л	
				Сульфат-ион	-	
				Фосфор общий	32,0 мг/л	
				НСПАВ	0,26 мг/л	
				АПАВ	-	

				Железо об- щее	0,15 мг/л	
--	--	--	--	-------------------	--------------	--

Образующиеся во II-ом производстве отмывочные и трапные воды собираются в аппаратах А-207₁₋₃ и выдаются на переработку в VII-ое производство.

Контроль за качеством сбросных охлаждающих вод осуществляется согласно «Графика аналитического контроля цеха № 51» и «Графика аналитического контроля сбросных вод завода».

Предупредительная и аварийная сигнализация, блокировки, предотвращающие сброс РВ и ЗВ, не предусмотрены проектом.

- **Защита литосферы**

Защита территории при нормальном ходе технологического процесса

В процессе деятельности производства 5102 образуются нетехнологические твердые отходы, которые относятся к низкоактивным твердым радиоактивным отходам:

- непригодная для использования спецодежда и другие СИЗ из натуральных волокон, ветошь, бумага;
- отработавшие элементы оборудования, тара, материалы, лабораторная посуда, металлоконструкции, а также отходы керамики, стекла, полимеров и резины;
- отходы строительных материалов и др.

Среднегодовой объём и норма образования ТРО [36] представлены в таблице 5.3.3.

таблица 5.3.3 – Среднегодовой объем и норма образования ТРО (№ 60-02/618-ДСП)

Категория ТРО	Место образования	Среднегодовое количество, т	Годовая норма, т
НАО	Цех № 51, цех № 53, ОТ, лаборатория №10(СЗ) АЛ ЦЗЛ	188,981	361,227

Порядок сбора, временного хранения, вывоза, захоронения, контроля радиоактивных отходов и требования безопасности описаны в [37].

Порядок обращения с каждой категорией ТРО – порядок контроля радиоактивного загрязнения, порядок транспортировки и передачи на длительное хранение – описаны в [37].

Контроль загрязнения путей транспортировки осуществляется в соответствии с [31]. В случае обнаружения превышений норм загрязнения путей транспортировки производится дезактивация в оперативном порядке.

Защита территории при возможных отклонениях от нормального хода технологического процесса

При отклонениях от нормального хода технологического процесса загрязнение территории невозможно.

Загрязнение возможно при возникновении аварийной ситуации во время транспортировки емкости с ГФУ в случае ее разгерметизации. Порядок локализации аварии и ликвидации последствий описан в [39].

Защита территории от загрязнения нерадиоактивными отходами производства и потребления

Во II производстве цеха №51 образуются нерадиоактивные отходы производства и потребления различных классов опасности. Характеристика образующихся отходов, среднегодовое количество образования, места их временного хранения и удаления для цеха №51, приведены в таблице 5.3.4.

Порядок сбора, временного хранения и вывоза опасных отходов производства и потребления описан в рабочей инструкции [40].

Обращение с производственными отходами осуществляется в соответствии с СТО 316.

Нормативы образования отходов и лимиты на их размещения для каждого класса опасности установлены в соответствии с выпиской для СЗ «Нормативы и лимиты отходов производства и потребления ОАО «СХК»».

таблица 5.3.4 – Характеристика нерадиоактивных отходов цеха №51 и места их временного хранения

Наименование отходов	Класс опасности	Средне-годовое кол-во образования, т.	Места временного хранения	Куда удаляются отходы
Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак	I	0,478	Холодный склад у зд. 50б. в коробках на стеллажах	Специализированная сторонняя организация
Мусор строительный от разборки зданий	IV	34,800	По месту образования, навалом	Специализированная сторонняя организация
Отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства	V	1,900	Площадка у авто КПП, закрытый метал. контейнер 2,5 ³ м	Специализированная сторонняя организация
Лом чугуна несортiroванный	V	3,300	Площадка у восточной стены зд.27а, навалом	ОС
Лом легированной стали несортiroванный	V	0,520	Площадка у западной стены корпуса № 2, навалом	ОС
Лом стальной несортiroванный	V	286,590	Площадка у восточной стены	ОС

Наименование отходов	Класс опасности	Средне-годовое кол-во образования, т.	Места временного хранения	Куда удаляются отходы
			зд.27а, навалом	
Резиновые изделия незагрязненные, потерявшие потребительские свойства	V	0,450	Холодный склад у корпуса № 2, контейнер 0,2м ³	Специализированная сторонняя организация
Обрезки и обрывки тканей, смешанных	V	0,250	Холодный склад у корпуса № 2 контейнер 0,2м ³	Специализированная сторонняя организация
Масла промышленные отработанные *	III	0,430	Площадка с северной стороны здания № 31, бочки 200 дм ³	Специализированная сторонняя организация
Масла трансмиссионные отработанные *	III	0,007	Площадка у восточной стены зд.40, бочки 200 дм ³	Специализированная сторонняя организация
Масла компрессорные отработанные *	III	1,130	Площадка с северной стороны здания № 31, бочки 200 дм ³	Специализированная сторонняя организация

** – Соблюдать порядок обращения с нефтепродуктами с целью исключения случаев загрязнения территории.*

При обнаружении территории, загрязнённых нефтепродуктами, оперативно принимать меры по ликвидации загрязнений.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

1. В цехе № 51 есть потенциально опасные производства, в которых в результате неправильных действий персонала, нарушений параметров техно-

логического процесса, разрушения строительных конструкций и т. п. возможно возникновение следующих основных аварийных ситуаций:

- СЦР на участке переработки ВОУ-НОУ;
- разгерметизация упаковок с гексафторидом урана;
- разгерметизация технологической схемы, оборудования с гексафторидом урана;
- пожар на экстракционном стенде;
- разгерметизация и разлив значительных количеств урановых растворов;
- загрязнение территории завода.

2. Причины, вызывающие перечисленные аварийные ситуации, а также действия работников при возникновении аварий и ситуаций, которые могут привести к нежелательным последствиям, изложены в Планах ликвидации аварий и аварийных ситуаций [41,42,43,44]. Этими документами предусмотрен комплекс мер, работ и действий персонала для предупреждения развития аварии, а при ее ликвидации – для уменьшения ее последствий.

3. С целью защиты персонала в аварийной (чрезвычайной) ситуации на заводе разработан и выдан на рабочие места план защиты персонала, определяющий действия руководящего и исполнительного персонала по защите персонала в случае аварии (чрезвычайной ситуации) [45,46].

4. С оперативным персоналом проводятся противоаварийные тренировки, направленные на отработку оперативных действий персонала при авариях (чрезвычайных ситуациях), обучение и закрепление навыков по действиям в аварийных (чрезвычайных) ситуациях.

5. Действия персонала цеха при возникновении СЦР подробно описаны в [47].

6. В специально отведённых местах в корпусах № 1, 2, здании № 50^а хранится аварийный запас нательного белья, костюмов х/б, ботинок, используемый для переодевания в аварийных ситуациях. В специально отведённых

местах в корпусах № 1, 2, здании № 50^а расположены металлические ящики с содой для нейтрализации возможных разливов кислых растворов.

7. Для оповещения работников, находящихся в здании № 50^а, об аварийной ситуации, смонтирована система оповещения, включающая в себя:

- кнопочные извещатели, установленные у выходов из здания № 50^а, около обмывочных пунктов на 2 и 3 этажах административного блока здания № 50^а;

- пульт управления, смонтированный на ЩТК;

- световые табло с надписью: «ОПАСНО! ПОКИНУТЬ ПОМЕЩЕНИЕ!», установленные во 2 и 4 производствах;

- светильники с надписью: «АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ»;

- 5 сирен.

8. Для временного укрытия персонала в аварийной ситуации в цехе определены помещения и назначены ответственные за содержание помещений и их готовность к укрытию персонала:

- комната отдыха на 1 этаже здания № 50^а, в осях В-Д, 3-4;

- кабинет начальника цеха;

- комната (отдыха) на 3 этаже административного блока здания № 50^а;

- комната проведения оперативных совещаний на 5 этаже;

- комната аппаратчиков 7 производства.

9. По сигналу об аварийной ситуации и эвакуации из производственных помещений персонал должен через ближайший (от рабочего места) выход выйти из помещения и собраться в пешеходной галерее (с восточной стороны).

10. По поступлении сигнала о временном укрытии персонал цеха (в зависимости от места нахождения) укрывается в одном из перечисленных помещений (п.7.8). Старший из укывшегося персонала отдает распоряжение о герметизации оконных и дверных проемов. Для этих целей используется материал, хранящийся в мешках и предназначенный для герметизации. Персо-

нал покидает помещения временного укрытия по указанию начальника смены.

11. Действия по оказанию первой помощи пострадавшим при травмировании, отравлении описаны в [48].

12. Во всех случаях, когда работник занимается ликвидацией аварий (аварийных ситуаций), он обязан после доклада руководителю ликвидации аварии обратиться в здравпункт завода для медицинского осмотра на предмет определения возможного отравления вредными химическими веществами.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Например, трудовое законодательство ограничивает использование труда женщин на работах в тяжелых, вредных или опасных условиях (ст.253 ТК РФ). Молодые люди, не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются. Об этом говорится в ст.265 ТК РФ.

У сотрудников, который заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не превышает 36 часов в неделю (ч.1 ст.92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее- 6 часов (ч.2 ст.94 ТК РФ).

2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

При проектировании объектов необходимо предусматривать максимально возможное размещение аппаратуры и оборудования вне зданий. Компонувочные решения технологических установок на объекте должны обеспечивать нижеперечисленные требования:

- Минимальные капитальные и эксплуатационные расходы;
- Технологическую взаимозаменяемость;
- Последовательность технологических процессов с минимальным количеством встречных перекачек;
- Оптимальные размеры рабочей площади агрегатов, технологических блоков, установок;
- Деление на участки, обеспечивающие возможность опорожнения от продукта всех аппаратов и трубопроводов, расположенных на площадке;
- Свободный доступ к оборудованию, арматуре. Приборам контроля и автоматизации; свободный подъезд транспорта и размещение подъемных средств;
- Возможность проводить ремонтные работы с помощью средств механизации.

Расстояния между аппаратами, колоннами, теплообменниками и другим оборудованием, расположенными внутри одной технологической установки, следует принимать исходя из условий максимального удобства обслуживания, ремонта и выполнения требования по охране труда и пожарной безопасности.

Необходимо предусмотреть:

- Основные проходы по обслуживанию щитов управления шириной не менее 2 м;
- Основные проходы по обслуживанию компрессоров, насосов и аппаратов, имеющих местные контрольно-измерительные приборы, и проходы при наличии постоянных рабочих мест шириной не менее 1.5 м.

- Проходы между аппаратами и стенами помещений при условии кругового обслуживания- шириной не 1 м.
- Проходы для осмотра периодической проверки, регулирования аппаратов и приборов – шириной не менее 0.8 м;
- проходы между газовыми компрессорами –не менее 1.5 м. Ширина прохода малогабаритными машинами (шириной и высотой до 0.8 м.)- не менее 1 м.
- расстояние между фундаментами «в свету» для вертикальных аппаратов массой не более 40 м. должны быть не менее 3.5 м.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

6.1 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 6.1).

Таблица 6.1 – 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.:

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

$$M = 0,77 * 6900 * 20 = 106260 \text{ (т/год)}.$$

Коэффициент экстенсивности он характеризуется использованием основного оборудования по времени:

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

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:

$$K_{\text{экт}} = 6900 / 8760 = 0.79.$$

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:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{инт}} * K_{\text{Парка}} * K_{\text{экт}},$$

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

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

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

$$K_{\text{м}} = 0.79 * 1 * 1 = 0.79$$

Годовая программа выпуска до и после производительности

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

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

M – производственная мощность, т/год.

$$N_{\text{год}} = 106260 * 0.79 = 83945 = 84000 \text{ (т/год)}.$$

6.2 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 2015 года приведен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – График режима работы смен на май 2015 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 6.2.1 – 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
Итого по участку подготовки газа			15		79499
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 степени	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:

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

Где $t_{\text{см}}$ – 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 6.2);

Таблица 6.2.2 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:

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

6.3 Организация оплаты труда

В атомной промышленности оплата труда рабочих повременнo–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 объекте 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$З_{\text{тар}} = Т_{\text{ст}} * Т_{\text{фак}} * Н,$$

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

$$Т_{\text{ст}} = 7,24 \text{ руб.}$$

$$Т_{\text{фак}} = 194 \text{ ч. за смену (см. табл.6.3.2);}$$

$Н$ – количество рабочих данной категории, человек; $Н = 10 \text{ чел.}$

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

Доплата за работу в ночное время:

$$Д_{\text{ноч}} = 0,4 * Т_{\text{ст}} * Т_{\text{ноч}} * Н,$$

Где $Т_{\text{ст}}$ – 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 – 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:

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

$$\text{Др.к.} = 0,5 (14045,6 + 5618,24 + 3476,2 + 2809,12) = 12974,58 \text{ (руб.)}$$

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 2015г. 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.;

$$З_{доп} = З_{осн} * К / Т_{кал},$$

Где К – число законных невыходов, дней;

Т_{кал} – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

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

Заработная плата 10 операторов технологических установок за 1 месяц составит:

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

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 6.3.1

Таблица 6.3.1 – 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

6.4 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений

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

В таблице 6.4.1 приведена структура основных фондов

Таблица 6.4.1 – 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 инвентарь	51000	5,48	14	7140		
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:

$$Ar = N_a * F_{восст} / 100,$$

Где N_a – норма амортизационных отчислений, %.

Для производственного оборудования годовая $N_a = 12$ %;

$F_{восст}$ – полная восстановительная стоимость производственного оборудования, руб.

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

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

Сумма месячных амортизационных отчислений производственного оборудования составляет:

$$Ar_m = Ar : 12,$$

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

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

6.5 Расчет себестоимости

Расчет себестоимости гексафторида урана при годовом производственном выпуске $M_{\text{пр}} = 60000$ т приведен в таблице 6.5.1.

Таблица 6.5.1 - 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 $M_{\text{пр}}$)	на т (столбец 1 x 2 или 5/ $M_{\text{пр}}$)	на Nгод (4 x $M_{\text{пр}}$)
			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	$\text{Т} \cdot \text{м}^3$	0,228	2,8	168000	0,6384	38304
2.4	Газ природный	$\text{Т} \cdot \text{м}^3$	0,46	1,15	69000	0,5290	31740
2.5	Арт. вода	$\text{Т} \cdot \text{м}^3$	0,18	0,95	57000	0,1710	10260
2.6	Сжатый воздух	$\text{Т} \cdot \text{м}^3$	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

Итого

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	%.	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	$138751,4 \cdot 10^3$
12	Условно постоянные издержки	тыс. руб.				3,04	182400,8

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объема производства. Из таблицы 6.5.1. 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:

$$Ц = C * (1 + R / 100),$$

где C – 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 $M_{\text{пр}} = 60000 \text{ т.} + (60000 \text{ т.} * 15 \%) = 69000 \text{ т.}$ приведен в таблице 6.5.2

Таблица 6.5.2 - Себестоимость продукции товарного газа при годовом выпуске 69000 т.

№	Статьи затрат	Едини- ца из- мере- ния	Цена, тыс. руб	Расход		Затраты, тыс. руб.	
				Норма рас- хода, на т	на Нгод (2 х М _{пр})	на т (стол- бец 1 х 2 или 5/ М _{пр})	на Нгод (4 х М _{пр})
			1	2	3	4	5
1	Сырьё, материалы и катализаторы						
1.1.	тетрафторид урана	тн	1050	0,27	18630	283,5	19561,5*10 ³
1.2	окись урана	тн	600	0,97	66930	582,0	40158*10 ³
1.3	фтор	тн	836	1,57	108330	1312,5	90562,5*10 ³
Итого сырья, материалов							150282*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 ра- бочих	тыс. руб.				0,250	17220
3.1	Отчисления на соци- альные нужды основ- ных рабочих	%	30			0,074	5166
Итого зарплата основных рабочих с отчислениями							22386
4	Общепроизводственные расходы						
4.1	Зарплата вспомога- тельных рабочих	тыс. руб.				0,406	28080
4.1.1	Отчисления на соци- альные нужды вспомо- гательных рабочих	%	30			0,122	8424
4.2	Зарплата ИТР	тыс. руб.				0,403	27840
4.2.1	Отчисления на соци- альные нужды ИТР	%	30			0,121	8352
4.3	ЗП младшего обслужи- вающего персонала	тыс. руб.				0,048	3360
4.3.1	Отчисления от ЗП МОП	%	30			0,014	1008
4.4	Амортизация зданий, сооружений и инвента- ря	тыс. руб.				0,225	15580
4.4.1	Текущий ремонт зда- ний, сооружений и ин- вентаря	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		тыс. руб.				2,294	158344
5	Прочие расходы	тыс. руб.				0,024	1670,8
6	I. Цеховая себестоимость	тыс. руб.				2183	$150631,8 \cdot 10^3$
7	Управленческие расходы (5 % от цеховой себестоимости)	тыс. руб.				109,15	$7531,6 \cdot 10^3$
8	II. Заводская себестоимость (строка 6 + строка 7)	тыс. руб.				2292,2	$158163,4 \cdot 10^3$
9	Коммерческие расходы (1 % от заводской себестоимости)	тыс. руб.				22,92	$1581,6 \cdot 10^3$
10	III. Полная себестоимость (строка 8 + строка 9)	тыс. руб.				2305,1	$159745 \cdot 10^3$
11	Условно переменные издержки	тыс. руб.				2312,5	$159562,6 \cdot 10^3$
12	Условно постоянные издержки	тыс. руб.				2,643	182400,8

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объема производства. Из таблицы 6.5.2. 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. – 2305,1 тыс. руб.

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

$$\Pi = C * (1 + R / 100),$$

где C – себестоимость полная, руб.;

R – рентабельность, 12 %.

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

6.6 Расчет технико-экономических показателей

Рассчитаем выручку от реализации произведенной продукции по формуле:

$$B = \Pi * N_{\text{год}},$$

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

$$H = 0,20 * П.$$

$$H1 = 16667,8 * 10^3 * 0,20 = 3333,5 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда чистая прибыль с учетом вычета налогов составит:

$$Пч1 = 16667,8 * 10^3 - 3333,5 * 10^3 = 13334,3 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

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

$$B2 = 2593,36 * 69000 = 178941,8 * 10^3 \text{ тыс. руб.} = 178,9 * 10^3 \text{ млн. руб.}$$

$$П2 = 178941,8 * 10^3 - 159745 * 10^3 = 19196,8 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$H2 = 19196,8 * 10^3 * 0,20 = 3839,3 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

$$Пч2 = 19196,8 * 10^3 - 3839,3 * 10^3 = 15357,5 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

Рентабельность производства рассчитываем по формуле:

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

$$P1 = 13334,3 * 10^3 / 138933,8 * 10^3 * 100 = 9,59 \%$$

$$P2 = 15357,5 * 10^3 / 159745 * 10^3 * 100 = 9,61 \%$$

Рентабельность продаж рассчитываем по формуле:

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

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

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

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

Расчет фондоотдачи производства на год производим по формуле:

$$Фо = Ц * N / ОФ$$

Стоимость основных фондов, составляет 416000 тыс. руб.

$$Фо1 = 155601,6 * 10^3 / 416000 = 374 \text{ тыс. руб./тыс. руб.}$$

Расчет фондоемкости производства гексафторида урана производим по формуле:

$$Фе = ОФ / B = ОФ / Ц_{\text{опт.}} * N.$$

$$Фе1 = 416000 / 155601,6 * 10^3 = 0,00267 \text{ руб./руб}$$

Рассчитаем фондовооруженность.

$$\Phi_{в1} = \text{ОФ} / \text{Нсп} = 416000 / 41 = 10146,3 \text{ тыс. руб./чел.}$$

Производительность труда определяется по формуле:

$$\text{Пт} = \text{Нпр} / \text{Нсп},$$

где Нпр - объем производства за плановый период;

Нсп - среднесписочная численность работников.

$$\text{Пт1} = 60000 / 41 = 1463,41 \text{ т./чел.}$$

Аналогично рассчитываем показатели рентабельности, фондоотдачи, фондоемкости и производительности труда при годовом выпуске $719 \cdot 10^6 \text{ м3}$.

$$\Phi_{о2} = 178941,8 \cdot 10^3 / 416000 = 430,1 \text{ руб./руб.}$$

$$\Phi_{е2} = 416000 / 178941,8 \cdot 10^3 = 0,00232 \text{ руб./руб.}$$

$$\text{Пт2} = 69000 / 41 = 1682,9 \text{ т./чел.}$$

Безубыточный объем реализации:

$$\text{Qкр} = \text{К} \cdot \text{Н} / \text{Дм},$$

Где

К – количество проданной продукции, т;

Н – постоянные затраты, руб.;

Дм – маржинальный доход, руб.;

$$\text{Дм} = \text{В} - \text{Рп},$$

где В – выручка, руб.;

Рп – переменные затраты, руб.

Рассчитаем Qкр1 при годовом выпуске 60000 т.

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

$$\text{Qкр1} = 60000 \cdot 182400,8 / 16850,2 \cdot 10^3 = 649,49 \text{ т.}$$

В денежном измерении точка безубыточного объема продаж равна:

$$\text{Qден1} = \text{Qкр1} \cdot \text{Цпр},$$

где Цпр – цена продаж за 1 м^3 ;

$$\text{Qден1} = 649,49 \cdot 2593,36 = 1684,3 \cdot 10^3 \text{ тыс. руб.} = 1684,3 \text{ млн. руб.}$$

Рассчитаем Qкр2 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 6.6.1.

Таблица 6.6.1 Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	1год	2год
1. Объем производства	т.	60000	69000
2. Объем продаж	т.	60000	69000
3. Цена 1 т.	тыс. руб.	2593,36	2593,36
4. Выручка от продаж (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	2305,1
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.	0,00267	0,00232
15. Производительность труда (5/11)	т./чел.	1463,41	1682,9
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	9	10
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	8	9
18. Критический объем продаж (Qкр.)	Т.	649,49	649,44
19. Критический объем продаж (Qкр.)	млн. руб.	1684,3	1684,2

6.7 Расчет точки безубыточности

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

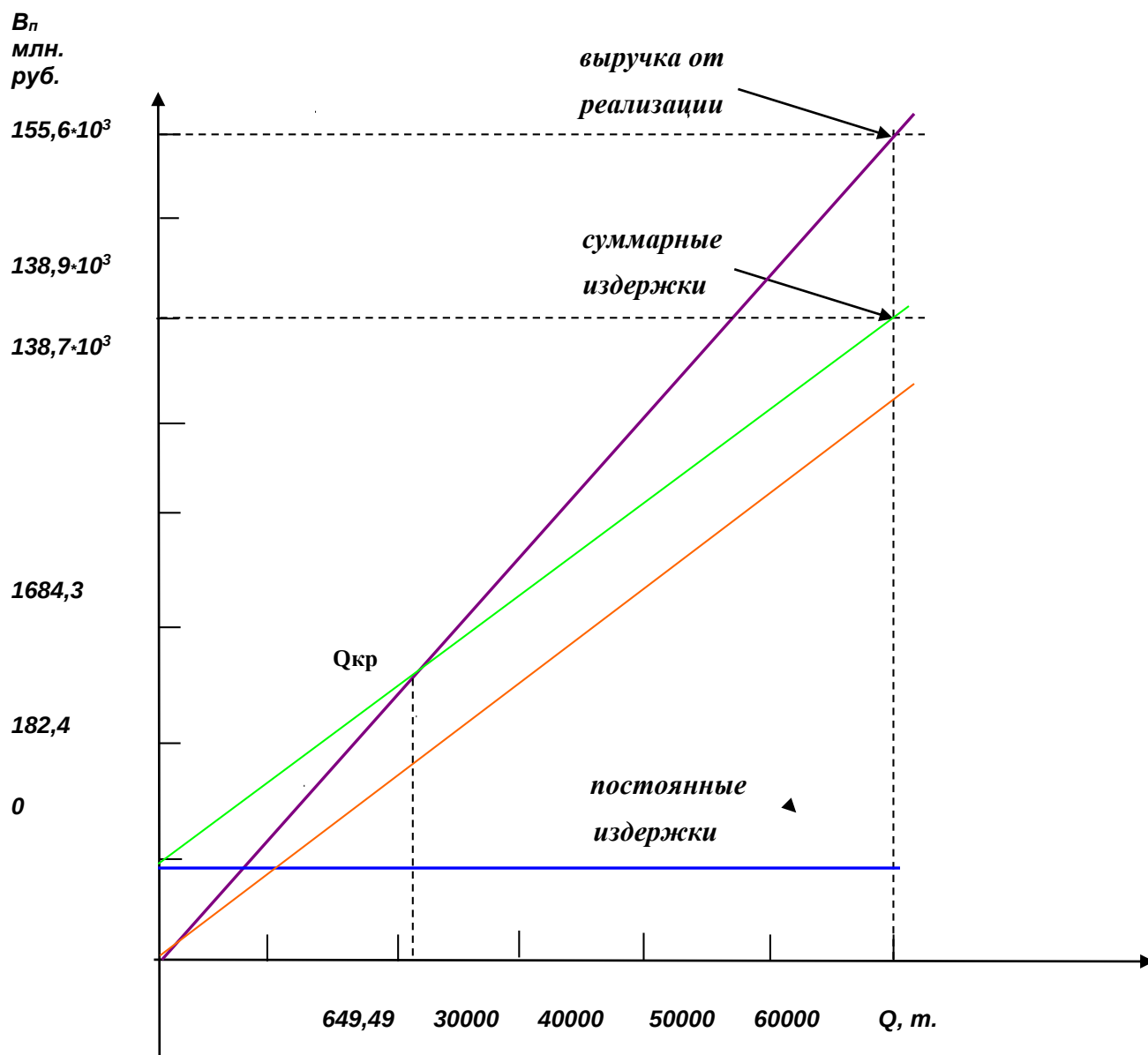


Рисунок 6.7.1 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 60000 т. гексафторида урана

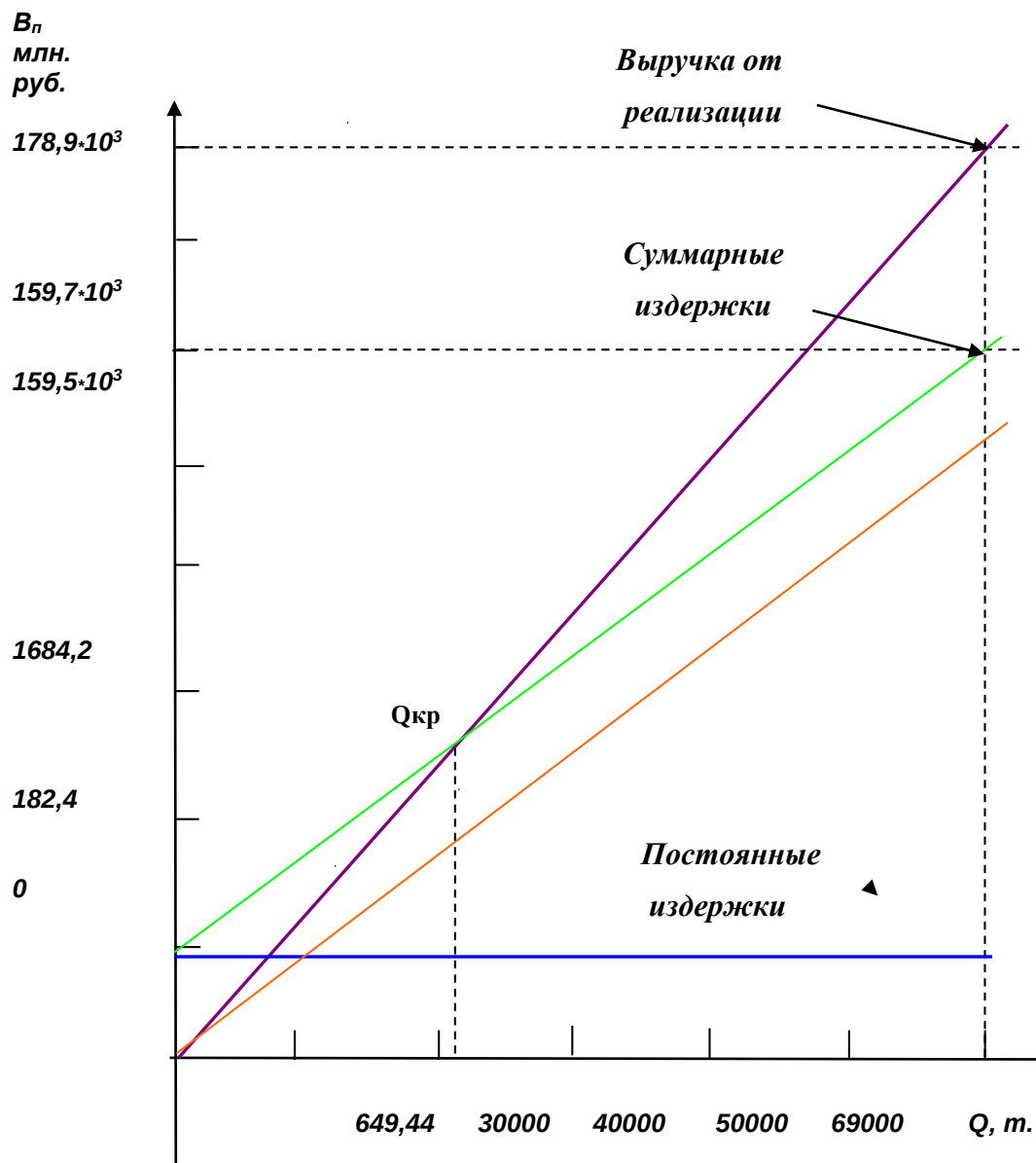


Рисунок 6.7.1 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 69000 т. гексафторида урана

6.8 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.

Литература

- 1 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
- 2 Белозеров Б. П., Курсовое проектирование по технологии химического машиностроения. Руководство для студентов: - Северск: СТИ ТПУ, 1998. –104с.
- 3 Беляев В. М., Миронов В. М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. 1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. Пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2003. – 168 с.
- 4 “Вредные химические вещества: неорганические соединения элементов 1-4 групп. Справочник” под ред. Филова В. А. Ленинград 1987 г.
- 5 Волчкевич Л.И. “Автоматизация производственных процессов”: Машиностроение, 2005. – 380с.
- 6 Лазарчук В.В., Смолкин П.А., Софронов В.Л. Процессы десублимации в химической технологии: Учебное пособие. - Северск: СГТИ, 2005. - 90 с.
- 7 Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 8 Касаткин А. Г. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
- 9 Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Изд. 3-е, стер. - Москва: Альянс, 2011. – 381 с.
- 10 Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
- 11 Михалев М. Ф., Третьяков Н. П., Мильченко А. И., Зобнин В. В. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. – М.: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. – 312 с.
- 12 Мищенко К. П., Равделья А. А. “Краткий справочник физико-химических величин” - М.: Химия, 1965. – 160 с.

- 13 Семакина О. К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли. - Электронный ресурс ТПУ.
- 14 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.
- 15 Пищулин В. П. Машины и аппараты химических производств. Руководство по дипломному проектированию. – Северск: СТИ ТПУ, 1997. – 99 с.
- 16 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.
- 17 Чернобыльский И. И., Бондарь А. Г., Гаевский Б. А. и др. Машины и аппараты химических производств. Под ред. И. И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 456 с.
- 18 ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.
- 19 ГОСТ Р 52857.2-2007 Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 20 ГОСТ Р 52857.3-2007 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 21 ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 22 ГОСТ 12.0.003-74 “ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
- 23 СН 245-71 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
- 24 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

- 25 ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
- 26 ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
- 27 СН 305-77 Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений.
- 28 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 29 НРБ-99/2009 Нормы радиационной безопасности.
- 30 ОСПОРБ-99/2010 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
- 31 РБ-Р-60-07-001 Регламент радиационного контроля на Сублиматном заводе ОАО «СХК».
- 32 И-ПБ-60-17-002 О мерах пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ на Сублиматном заводе ОАО «СХК».
- 33 И-ПБ-17-01 О мерах пожарной безопасности на Сублиматном заводе ОАО «СХК».
- 34 № 60-07/723-ДСП Решение об установлении рабочих норм выбросов суммы альфа-активных нуклидов по источникам.
- 35 Разрешение № 0057-12 На выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (за исключением радиоактивных веществ).
- 36 РИ-60-02-021 Рабочая инструкция по организации контроля за сбросами завода.
- 37 № 60-02/618-ДСП Нормы образования РАО СЗ.
- 38 И-60-02-018 Инструкция по учету и контролю РАО на СЗ СХК.
- 39 ПЛА 60-62-003-2008 План ликвидации аварии при разгерметизации емкости с «ГФУ».
- 40 И-60-02-001 Рабочая инструкция по порядку обращения с опасными отходами производства и потребления.

- 41 ПЛА 60-62-003 2008 План ликвидации аварии при разгерметизации емкости с гексафторидом урана.
- 42 ПЛА 60-62-006-2010 План ликвидации радиоактивного загрязнения участков территории завода.
- 43 ПЛА 60-62-002-2013 План ликвидации аварии. Пожар на экстракционном стенде в корпусе № 2 № 51.
- 44 ПЛА 60-62-005-2009 План ликвидации аварии при разгерметизации технологической системы, емкостей с гексафторидом урана.
- 45 ПМЗП-60-07-001-2008 План мероприятий по защите персонала в случае аварии на СЗ.
- 46 ПМЗПК (ВВ) 07-001-2009 План мероприятий по защите персонала в случае возникновения аварии с выбросом вредных веществ на ОАО СХК.
- 47 РБИ-60-07-010-2007 Радиационная безопасность. Аварийный дозиметрический контроль и действия персонала при возникновении СЦР.
- 48 ПОТ-07-019-2008 Положение по оказанию доврачебной помощи пострадавшему от несчастных случаев.
- 49 http://redmetsplav.ru/store/10089052/zarubezhnye_materialy/1008923

3/