

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Инженерная школа новых производственных технологий  
Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

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

**Профиль** Машины и аппараты химических производств

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Установка получения гексафторида урана

УДК 661.87.001.6.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Истомин Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.т.н.		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Краснокутская Е.А.	д.т.н., профессор		

## Планируемые результаты обучения

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

---

**Институт электронного обучения**

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

**Кафедра общей химии и химической технологии**

**УТВЕРЖДАЮ:**

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера  
\_\_\_\_\_ Краснокутская Е.А.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К31	Истомин Александр Александрович

Тема работы:

Установка получения гексафторида урана

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**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.).*

Проектируемый десублиматор, предназначен для перевода вещества из газообразного состояния в твёрдое, минуя жидкое. Температура поступающей парогазовой смеси  $t_T = 100^\circ\text{C}$  и температура выходящей парогазовой смеси при десубликации  $t_{X.56,4} = 56,4^\circ\text{C}$ ; температура хладагента на входе  $t_{X.ВХ} = 13^\circ\text{C}$ , а на выходе  $t_{X.ВЫХ} = 30^\circ\text{C}$ ; давление парогазовой смеси хладагента  $P_X = 0,3$  Мпа; объёмный расход поступающей парогазовой смеси  $V = 50$  м<sup>3</sup>/час

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Технологический расчет. 2. Механический расчет. 3. Анализ эффективности действующего производства. 4. Социальная ответственность.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 технологическая схема А1 Лист 2,3 общий вид и выносные элементы Лист 4 технико-экономические показания А1</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Анализ эффективности действующего производства	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность.	Ларионова Е.В.

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Истомин Александр Александрович		

## Реферат

Тема диплома: установка получения гексафторида урана.

Дипломный проект состоит из графической части, представленной на 4 листах формата А1, и пояснительной записки. Пояснительная записка содержит 126 листов формата А4, 8 рисунков, 18 таблиц. Пояснительная записка выполнена в среде Microsoft office Word 2013, с использованием PTC MathCAD 15.0. Графический материал выполнен с использованием программного обеспечения КОМПАС 3D V15 и Microsoft office Visio

Ключевые слова: гексафторид урана, установка, десублиматор, конструирование, расчеты.

Цель проекта: Расчет установки получения гексафторида урана, т.к. 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.

В дипломном проекте подобрано и рассчитано основное оборудование, применяемое для производства гексафторида урана, такое как десублиматор.

В разделе «Технологический расчет» описана система гексафторида урана и методы его получения с описанием технологического расчета.

В разделе «Расчет десублиматора» произведен технологический расчет, в ходе которого были определены основные геометрические размеры (диаметр и длина), рассчитаны диаметры основных технологических патрубков. Также выполнен механический расчет, в ходе которого произведены расчеты толщины стенок корпуса и крышек, расчет укреплений отверстий.

В разделе «социальная ответственность» рассмотрены вопросы обеспечения безопасной работы персонала, производственной санитарии и охраны окружающей среды.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» Проведена оценка конкурентоспособности технических решений, а также оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ, построена организационная структура проекта, составлен план-график проведения НИР, распределен бюджет проекта. Составлена матрица ответственности, рассмотрены и проанализированы потенциальные риски проекта.

## **Abstract**

Theme of the diploma: the installation of obtaining uranium hexafluoride.

The diploma project consists of a graphic part, presented on 4 sheets of A1 format, and an explanatory note. The explanatory memorandum contains 126 sheets of A4 format, 8 figures, 18 tables. The explanatory note is executed in the Microsoft Office Word 2013 environment, using PTC MathCAD 15.0. The graphic material is made using the software KOMPAS 3D V15 and Microsoft Office Visio

Key words: uranium hexafluoride, installation, desublimator, design, calculations.

Purpose of the project: Calculation of the uranium hexafluoride production unit; high chemical activity and toxicity of HFCs forces all processes of its processing (including condensation and purification) to be carried out in sealed equipment and from the gases emitted into the atmosphere to catch even traces of it.

In the degree project, the main equipment used for the production of uranium hexafluoride, such as a desublimator, was selected and calculated.

In the section "Technological calculation", a uranium hexafluoride system and methods for its production with description of technological calculation are described.

In the section "Calculation of desublimator", a technological calculation was performed, during which the main geometric dimensions (diameter and length) were determined, the diameters of the main process pipes were calculated. Also, a mechanical calculation was performed, during which calculations were made for the thickness of the walls of the shell and covers, and for calculating the holes.

In the section "social responsibility" the issues of ensuring safe work of personnel, industrial sanitation and environmental protection are considered.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving", an assessment of the competitiveness of technical solutions, as well as an assessment of the resource, financial and economic efficiency of the STI, built the organizational structure of the project, compiled a schedule of research, distributed the project budget. A matrix of responsibility was drawn up, potential risks of the project were reviewed and analyzed.

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ</b> .....	12
1.1 Система гексафторида урана.....	12
1.2 Свойства гексафторида урана.....	13
1.2.1 Физические свойства гексафторида урана.....	13
1.2.2 Химические свойства гексафторида урана.....	14
1.2.3 Методы получения гексафторида урана.....	16
1.3 Описание технологического расчета.....	18
1.4 Выбор контрольно – измерительной аппаратуры .....	23
1.5 Подбор стандартного оборудования .....	24
1.6 Расчет десублиматора.....	24
1.6.1 Исходные данные.....	24
1.6.2 Материальный расчет.....	26
1.6.3 Тепловой расчет.....	29
1.6.4 Расчет тепловой нагрузки аппарата.....	37
1.6.5 Определение поверхности теплоотдачи.....	41
1.6.6 Конструктивный расчет.....	44
<b>2. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ</b> .....	48
2.1. Прочностной расчет.....	48
2.1.1 Определение характеристик аппарата.....	48
2.1.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов.....	48
2.1.3 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления.....	49
2.1.4 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления.....	49
2.1.5 Определение толщины плоской крышки.....	51
2.1.6 Проверка необходимости укрепления отверстий.....	52
2.1.7 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов стыка цилиндра с кон.....	53
2.1.8 Подбор фланцев.....	55
2.1.9 Подбор опор.....	56
<b>3. МЕХАНИЧЕСКИЙ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ</b> .....	58
3.1 Определение типа производства .....	58
3.2 Выбор заготовки.....	58
3.3 Технологический маршрут.....	58
3.4 Расчет режимов резания.....	72
3.5 Техническое нормирование технологического процесса.....	84
3.6 Разработка зажимного приспособления.....	87
<b>4. ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА</b> .....	90
4.1 Расчет производственной мощности .....	90

4.2 Режим работы .....	91
4.3 Организация оплаты труда .....	99
4.4 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений .....	101
4.5 Расчет себестоимости .....	103
4.6 Расчет технико-экономических показателей .....	105
4.7 Расчет точки безубыточности.....	108
<b>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>109</b>
5.1 Характеристика помещения .....	111
5.1.1 Микроклимат.....	112
5.1.2 Система вентиляции.....	112
5.1.3 Освещение.....	113
5.2 Производственная безопасность. Анализ вредных и опасных факторов. Мероприятия по защите .....	114
5.3 Электробезопасность .....	120
5.4. Безопасность в ЧС.. .....	122
5.5. Экологическая безопасность .....	123
<b>ВЫВОД.....</b>	<b>125</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>126</b>

## 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 соединение урана, которое применяется в промышленности для разделения изотопов урана  $U^{235}_{92}$  и  $U^{238}_{92}$  либо методом газовой диффузии через пористую перегородку, либо методом центрифугирования. На разделения изотопа урана важное влияние оказывает газообразный гексафторид урана. При газодиффузионном методе разделения урана средний коэффициент обогащения урана составляет  $\sim 1,003$ , а при центробежном методе  $\sim 1,026$ . Кроме того гексафторид урана является важнейшим промежуточным соединением на пути переработки высокообогащённого оружейного урана в энергетическое ядерное горючее на основе диоксида урана  $UO_2$  по технологической схеме.

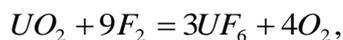
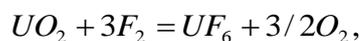
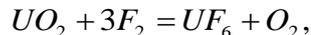
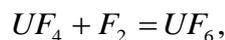
Гексафторид урана в перспективе будет играть исключительную роль при переработки сухим фторидным методом отработанного ядерного топлива атомных реакторов на быстрых нейтронах.

В этом случае высокоактивное отработанное ядерное топливо, содержащее 100кг и более продуктов деления на 1 тонну отработанного ядерного топлива, подвергается на первой стадии гидрофторированию фтороводородом  $HF$  с образованием фторидов элементов продуктов деления, тетрафторида урана  $UF_4$ , тетрафторида плутония  $PuF_4$ . На второй стадии при обработке фторидов металлов трифторидом хлора  $ClF_3$  или трифторидом брома  $BrF_3$  получается газообразный гексафторид урана, выделяемый из газовой фазы десублимацией. На третьей стадии обработкой расплава фтором при температуре более  $62,3^{\circ}C$  получается газообразный гексафторид плутония. Таким образом можно разделить высокоактивное отработанное ядерное топливо ре-

акторов на быстрых нейтронах на основные составляющие: уран, плутоний и продукты деления в виде фторидов без образования жидких радиоактивных отходов.

Кроме того в технологии урана рассматривается экзотический процесс одностороннего извлечения урана из руд в виде гексафторида урана прямым фторированием урановых руд. При этом все элементы примесей остаются в твёрдой фазе, а гексафторид урана удаляется в газовую фазу. За одну стадию проходит извлечение урана из руд, но при этом происходит и значительный расход дорогого по стоимости фтора на фторирование сопутствующих элементов примесей.

Получение гексафторида урана в технологии ядерного топлива основывается на реакциях фторирования тетрафторида оксидов урана:



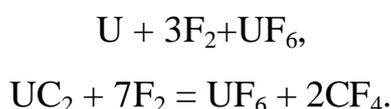
# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

## 1.1 Система гексафторида урана

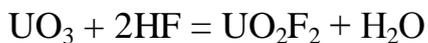
Первые сведения о гексафториде урана относятся к 1900 г. Когда Муасан заметил, что металлический уран энергично реагирует с фтором, образуя летучее соединение. Тогда это соединение не было изучено, и лишь десять лет спустя, в 1909 г. Руфф и Хайнцельман, получив гексафториды молибдена и вольфрама, высказали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

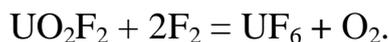
Для получения гексафторида с помощью фтора используют разные урансодержащие материалы. Фторированию подвергались металлический уран или его карбид:



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 гексафторида урана

### 1.2.1 Физические свойства гексафторида урана

Гексафторид урана, в обычных условиях, представляет собой белое кристаллическое вещество, возгоняющееся без плавления. Гексафториды актинидов  $NpF_6$  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/см<sup>3</sup>

Плотность твердого гексафторида урана составляет 5,09 г/см<sup>3</sup>, жидкого - 3,63 г/см<sup>3</sup>.

Теплота образования гексафторида урана из элементов



составляет  $505 \pm 3$  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  $UF_6$  таковы: при  $5^\circ$  - 1,42; при  $105^\circ$  - 1,94. Теплопроводность жидкого  $UF_6$  известна для одной температуры ( $72^\circ$ ) и равна  $3,83 \pm 3\% 10^{-4}$  кал·см<sup>-1</sup>·сек<sup>-1</sup>·град<sup>-1</sup>. 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  $UF_6$  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.

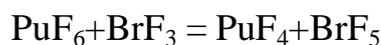
### **1.2.2 Химические свойства гексафторида урана**

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

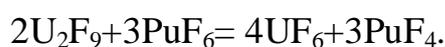
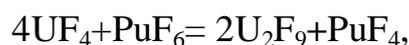
По устойчивости к диссоциации на фтор и низшие фториды, рассматриваемые гексафториды можно расположить в ряд:



Трифторид брома фторирует соединение урана, молибдена и вольфрама, образуя гексафториды, в то время как гексафторид плутония является фторирующим агентом для по  $\text{BrF}_3$  реакции:



Гексафторид плутония обладает способностью фторировать низшие фториды тех элементов, которые стоят в рассмотренном ряду правее  $\text{PuF}_6$ , до высших. Например, тетрофторид урана фторируется гексафторидом плутония до  $\text{UF}_6$



На воздухе гексафторид дымит, что обусловлено его взаимодействием с влагой воздуха, и только лишь при температуре  $-40^\circ$  (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 углеводе 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.

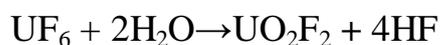
Гексафторид урана образует также устойчивые растворы и в некоторых неорганических растворителях, например жидком фтористом водороде, галогенфторидах. К сухим газообразным кислороду, азоту, а также углекисло-

му газу, хлору и бромю 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.).

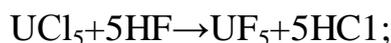
### **1.2.3 Методы получения гексафторида урана**

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.

### **1.3 Описание технологического расчета**

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 450-500<sup>0</sup>С; 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 направляются 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 непосредственно 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-9<sub>1-3</sub> (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 подается 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 теплоно-

сителя – 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-10<sub>1-3</sub>, 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.

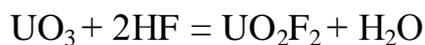
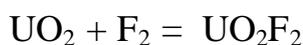
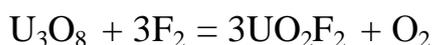
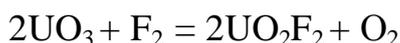
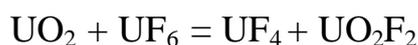
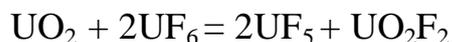
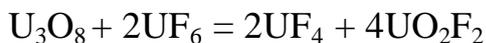
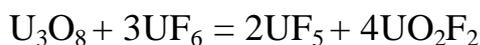
Технологический газ после третьей стадии конденсации, пройдя через два обратных клапана, поступает в аппарат комбинированного типа А-11 (АКТ) для улавливания гексафторида урана, фтора и фтористого водорода на оксидах урана. Обратные клапаны предназначены для исключения попадания сырья из АКТ в конденсаторы.

Корпуса всех конденсаторов снабжены паровыми змеевиками и обогреваются паром. Образовавшийся паровой конденсат сливается в конденсатороборники.

В состав технологической линии входит аппарат комбинированного типа. На АКТ смонтированы бункер загрузки и бункер подмешивания полупродукта. 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 оксидах урана. Установлено, что при недостатке фтора и избытке окислов урана, наиболее вероятно превращение окислов урана в уранилфторид.

Реакции взаимодействия гексафторида урана, фтора и фтористого водорода с окислами урана выражаются 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, сыпается в горизонтальный узел выгрузки и шнеком выгружается из АКТ в контейнер А-16 или камерные питатели установки пневмотранспорта 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 подается в вентсистему комплекса газоочистных сооружений для дополнительной очистки перед выбросом в атмосферу. Эжектор А-15 выполнен из металлической трубки в виде сопла.

Пневмотранспортировка полупродукта осуществляется из АКТ в бункер загрузки пламенного реактора методом импульсного пневмотранспорта. Прием 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, подается в бункер загрузки пламенного реактора, а отработанная пылегазовая смесь, пройдя фильтрацию через пылесадитель, металлотканевый фильтр и фильтр тонкой очистки, подается 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 демонта-

жа 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 электрофилтра в электрообогреваемом контейнере передается на дальнейшую переработку;

- охлаждающие воды (нормативно-чистые) после конденсаторов и аппаратов комбинированного типа сбрасываются в промышленную канализацию;

- "хвостовой" газ после АКГ проходит очистку на электрофилтре, циклонном обеспыливателе, абсорбционной колонне, попадает в каплеотбойник и подается в вентсистему комплекса газоочистных сооружений для дополнительной очистки перед выбросом в атмосферу.

#### **1.4 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 1.1

Таблица 1.1 – Выбор контрольно – измерительной аппаратуры

Обозначение прибора	Наименование прибора
FI	Прибор для измерения расхода регулирующей: установленный на щите техконтроля: KROHNE 0 – 200 м <sup>3</sup> /ч (0 - 250) м <sup>3</sup> /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 <sup>0</sup> С)
LI	Прибор для измерения уровня (сигнализация и блокировка): ультразвуковой (0,1 – 0,5м <sup>3</sup> )
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

### 1.5 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 4А100L2У3(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).

### 1.6 Расчет десублиматора

#### 1.6.1 Исходные данные

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – исходные данные для расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
1. Температура: - поступающей парогазовой смеси - выходящей парогазовой смеси при десублимации - выходящих паров ГФУ при сублимации - хладагента на входе - хладагента на выходе - наружной стенки стенки аппарата при десублимации - внутренних трубок при десублимации	$T_{г. вх.} (t_{г. вх.})$	К (°С)	373 (100)
	$T_{г. вых.} (t_{г. вых.})$	К (°С)	329,4 (56,4)
	$T_{п.} (t_{п.})$	К (°С)	373(100)
	$T_{х. вх.} (t_{х. вх.})$	К (°С)	286(13)
	$T_{х. вых.} (t_{х. вых.})$	К (°С)	303 (30)
	$T_{ст. д.} (t_{ст. д.})$	К (°С)	363 (90)
	$T_{ст. с.} (t_{ст. с.})$	К (°С)	373 (-30)
2. Давление: - поступающей парогазовой смеси - хладагента	$P_{г}$	-	Атмосферное
	$P_{х}$	Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,3 (3)
3. Объемный расход поступающей парогазовой смеси	$V$	м <sup>3</sup> /час (м <sup>3</sup> /с)	50 (0,01388)
4. Состав парогазовой смеси на входе: - гексафторид урана - фтор - кислород -фтористый водород	$UF_6$	м <sup>3</sup> /час (м <sup>3</sup> /с)	25 (0,0069)
	F		8 (0,0022)
	O <sub>2</sub>		20 (0,0055)
	HF		7 (0,0019)
5. Состав парогазовой смеси на выходе: -гексафторид урана - фтор - кислород -фтористый водород	$UF_6$	м <sup>3</sup> /час (м <sup>3</sup> /с)	0 (0)
	F		8 (0,0022)
	O <sub>2</sub>		20 (0,0055)
	HF		7 (0,0019)

Конструктивные размеры десублиматора

Заданные геометрические размеры аппарата:

- наружный диаметр десублиматора,  $D = 1000$  мм;
- наружный диаметр теплообменных трубок,  $d = 40$  мм;
- количество теплообменных трубок для подачи хладагента,  $n = 91$ ;
- длина теплообменных трубок,  $l = 2000$  мм;
- внутренний объем аппарата,  $V = 2$  м<sup>3</sup>;
- площадь поверхности теплообменных трубок (поверхность теплообмена),  $S=34$  м<sup>2</sup>;
- высота десублимационной камеры,  $H = 3200$  мм;
- масса аппарата, 3000 кг.

### 1.6.2 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 1.3

Таблица 1.3 – Расчетный состав реакционных газов в процессе десублимации ГФУ

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

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

$$M_{ГФУ} = V_{ГФУ} \cdot \rho_{ГФУ}, \quad (1.1)$$

где  $\rho_{\Gamma\PhiУ}$  – плотность паров ГФУ при температуре поступающей парогазовой смеси, кг/м<sup>3</sup> [5].

$$\rho_{\Gamma\PhiУ} = 13,26 \cdot \frac{323,2}{T_2^{\text{ex}}} \cdot \frac{P_2}{760} \quad (1.2)$$

где  $P_{\Gamma}$  - давление паров ГФУ, мм.рт.ст.

$$P_{\Gamma} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$$

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

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

Определяем массовый расход каждой составляющей газовой смеси:

$$M_i^{\text{мас.}} = V_i \cdot \rho_i \quad (1.3)$$

где  $\rho_i$  – плотность составляющей смеси при заданной температуре  $T$  и давлении  $P$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_i = \frac{M_i}{22,4} \cdot \frac{273P}{T_2^{\text{ex}} \cdot P_0}, \quad (1.4)$$

здесь  $M_i$  – молярная 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 1.4

Таблица 1.4 – массовый расход компонентов в исходной парогазовой смеси

Компоненты парога- зовой смеси	Мольная мас- са $M_i$ , кг/кмоль	Плотность $\rho_i$ , кг/м <sup>3</sup>	Объемный расход $V_i$ , м <sup>3</sup> /ч	Массовый расход $M_i$ , кг/ч
Гексафторид урана (UF <sub>6</sub> )	349	11,49	15	172,34
Фтор (F <sub>2</sub> )	38	1,24	8	9,92
Кислород (O <sub>2</sub> )	32	1,05	20	21
Фтороводород (HF)	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:

$$\Sigma M_{\text{прих.}} = \Sigma M_{\text{расх.}}, \quad (1.5)$$

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

$$\Sigma M_{\text{прих.}} = M_{\text{UF}_6}^{\text{мас}} + M_{\text{F}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{O}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{HF}}^{\text{мас}} \quad (1.6)$$

$$\Sigma M_{\text{расх.}} = M_{\text{F}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{O}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{HF}}^{\text{мас}} \quad (1.7)$$

Подставляя численные значения в формулу (1.6) 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:

$$\Sigma M_{\Gamma.} = M_{\text{F}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{O}_2}^{\text{мас}} + M_{\text{HF}}^{\text{мас}} = \Sigma M_{\text{прих.}} - M_{\text{UF}_6}$$

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

Зная концентрации компонентов смеси после десублиматора (см. таблицу 1.6.3), массовый расход определяют по формуле:

$$M_i^{\text{мас}} = \frac{\Sigma M_{\Gamma.}^{\text{мас}} \cdot M_i^{\%}}{100} \quad (1.8)$$

Или

$$M_{\text{F}_2}^{\text{мас}} = \frac{35,41 \cdot 22,85}{100} = 8,09 \text{ кг/ч}$$

$$M_{\text{O}_2}^{\text{мас}} = \frac{35,41 \cdot 57,15}{100} = 20,24 \text{ кг/ч}$$

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

Результаты материального расчета по формулам приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – 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 <sub>6</sub> )	172,34	82,97
UF <sub>6</sub>	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 <sub>2</sub>	21	10,06	O <sub>2</sub>	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.

### 1.6.3 Тепловой расчет десублиматора

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

Общее уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\Sigma Q_{\text{прих.}} = \Sigma Q_{\text{расх.}}, \quad (1.9)$$

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

$$\Sigma Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{газа.}} + Q_{\text{десуб.}} + Q_{\text{пост.}} + Q_{\text{нагр.}} \quad (1.10)$$

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

$$\Sigma Q_{\text{расх.}} = Q_{\text{отв.}} + Q_{\text{гфу.}} + Q_{\text{хлад.}} + Q_{\text{потерь.}} \quad (1.11)$$

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.

$$Q_{\text{газа.}} = \sum Q_i, \quad (1.12)$$

$$Q_i = c_i \cdot G_i \cdot t_{Г.}^{\text{ex}}, \quad (1.13)$$

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;

$t_{Г.}^{\text{ex}}$  – температура парогазовой среды на входе в десублиматор, °С.

Значения удельной теплоемкости для каждого компонента парогазовой смеси приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Удельная теплоемкость компонентов смеси

Компонент парогазовой смеси	Удельная теплоемкость $C_{\text{моль}}$ , Дж/(моль·град)
Гексафторид урана ( $\text{UF}_6$ ) <sub>газ.</sub>	129,90
Фтор ( $\text{F}_2$ )	31,32
Кислород ( $\text{O}_2$ )	29,35
Фтороводород (Н F)	29,14

Исходя из вышесказанного, количество тепла, поступающего с компонентами парогазовой смеси, составляет по уравнениям (1.11) – (1.13):

$$Q_{\text{UF}_6} = \frac{129,90}{349} \cdot 1000 \cdot \frac{172,34}{3600} \cdot 100 = 1781,85 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{F}_2} = \frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{9,92}{3600} \cdot 100 = 227,11 \text{ Вт}$$

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

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

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

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

$$C_i = \frac{C_{\text{моль} \cdot i}}{MM_i} \cdot 1000 \quad (1.14)$$

где

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

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

$MM_i$  – молекулярная масса вещества.

Тепло, выделяющееся при десублимации ГФУ, определяется по формуле :

$$Q_{\text{десуб.}} = \frac{r \cdot m}{\tau_{\text{десуб.}}} \quad (1.15)$$

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  $V_{\text{ап.}}$  Десублиматора 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

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

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:

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

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:

$$Q_{\text{отв.}} = Q_{F_2} + Q_{O_2} + Q_{HF} \quad (1.16)$$

$$Q_i = c_i \cdot G_i \cdot t_{\Gamma}^{\text{вых}} \quad (1.17)$$

где

$t_{\Gamma}^{\text{вых}}$  - температура парогазовой смеси на выходе из десублиматора,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$t_{\Gamma}^{\text{вых}} = 13^{\circ}\text{C}$ .

Тогда по формуле (1.17):

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

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

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

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

Тепло, затрачиваемое на охлаждение твердого ГФУ, определяется по формуле (1.17) при теплоемкости твердого ГФУ

$$C_{\text{гфу}} = 459 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}:$$

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

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, удовлетворяющим 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:

$$\delta_{\text{из.1}} = \frac{\lambda_{\text{из.}} \cdot (t - t_{\text{к}})}{\lambda_{\text{н1}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})} \quad (1.18)$$

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/(м<sup>2</sup>·К),

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

$t_n$  – температура наружного воздуха, °С.

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

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

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

$$t_{cp.} = \frac{t + t_k}{2} \quad (1.19)$$

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:

$$\frac{d_k}{d_n} \ln \frac{d_k}{d_n} = \frac{2\lambda_{из.} (t - t_k)}{\alpha_{н1} \cdot d_n (t_k - t_n)} \quad (1.20)$$

где

$\alpha_{н2}$  – коэффициент теплоотдачи для цилиндрической поверхности изоляции в окружающий воздух от поверхности, находящейся в помещении, Вт/(м<sup>2</sup>·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:

$$\delta_{из.2} = \frac{d_n}{2} \cdot \left( \frac{d_k}{d_n} - 1 \right) \quad (1.21)$$

где

$d_n$  – наружный диаметр изолируемого объекта, м;

$d_k$  – наружный диаметр изоляционной конструкции, м.

Тогда

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

$$\frac{d_k}{d_n} \ln \frac{d_k}{d_n} = \frac{2 \cdot 0,0572 \cdot (90 - 50)}{11,49 \cdot 1 \cdot (50 - 25)} = 0,016$$

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

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

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

Определение потерь тепла в окружающую среду производится следующим образом.

Тепловые потери с единицы поверхности изоляции определяются по формулам:

- для однослойной плоской стенки

$$q = \frac{\lambda_{из.} \cdot (t - t_k)}{\delta_{из.}} \quad (1.22)$$

- для однослойной цилиндрической стенки на единицу длины цилиндра

$$q_1 = \frac{2 \cdot \lambda_{из.} \cdot (t - t_k)}{\ln \frac{d_k}{d_n}} \quad (1.23)$$

После подстановки численных значений величин получается:

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

$$q_1 = \frac{2 \cdot 11,14 \cdot 0,0572 \cdot (90 - 50)}{\ln \frac{1,04}{1,00}} = 368,7 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Площадь наружной поверхности изоляции для плоской крышки:

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

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:

$$G_{\text{воды}} = \frac{\Delta Q_{\text{газа}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{дес}} + Q_{\text{ГФУ}}}{c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \quad (1.24)$$

$$G_{\text{воды}} = \frac{2399,8 + 13813,9 + 6605,93 + 285,65}{4190 \cdot (30 - 13)} = 0,33 \text{ кг/с} = 1174 \text{ кг/ч}.$$

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

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

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

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

Определим расход воды

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пот}}}{c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \quad \text{идущей в корпусе аппарата:} \quad (1.25)$$

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

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

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

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

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

Результаты теплового расчета десублиматора, работающего в режиме десублимации, сведены в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – 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

#### 1.6.4 Расчет тепловой нагрузки аппарата

Процесс десублимации гексафторида урана проходит в несколько этапов, каждому из которых соответствуют свои определенные температурные и тепловые параметры.

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:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1.26)$$

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 :

$$Q_i = \Sigma Q_i, \quad (1.27)$$

$$Q_i = c_i \cdot M_i \cdot (t_n - t_{\text{конд.}}) \quad (1.28)$$

или

$$Q_i = M_i \cdot (i_n^i - i_{\text{конд.}}^i), \quad (1.29)$$

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 (1.6.21).

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

$$i_{\text{газа}} = 8460 + 32,43 T + 0,003968 T^2 + 320680 T^{-2}, \quad (1.30)$$

где

$T$  – температура ГФУ, К.

Для начальной температуры  $T = 373\text{К}$  ( $100\text{ }^\circ\text{C}$ ) парогазовой смеси удельная энтальпия ГФУ равна по формуле (1.30):

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

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

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

Следовательно, теплота охлаждения газообразного ГФУ до температуры конденсации по уравнению (1.29) 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 (1.6.20) 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 (1.6.19) 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:

$$Q_2 = M_{\text{ГФУ}} \cdot (i_{\text{конд.тв.}}^{UF_6} - i_{\text{к}}^{UF_6}), \quad (1.31)$$

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);

$i_{\text{к}}^{UF_6}$  - 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 (1.30) получаем:

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

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

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

Тепло, отводимое при охлаждении газовой смеси, выходящей из десублиматора, определяется по формуле (1.28):

$$Q_{F_2} = \frac{31,32}{38} \cdot 1000 \cdot \frac{8,09}{3600} \cdot (56,4 - 30) = 48,9 \text{ Вт}$$

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

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

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

Общая тепловая нагрузка десублиматора равна:

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

Необходимый расход воды определяется из уравнения (1.28):

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

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

### 1.6.5 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:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \quad (1.32)$$

где

$k$  – коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  – 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:

$$W = V / S_c, \quad (1.33)$$

где

$V$  – объемный расход парогазовой смеси, м<sup>3</sup>/с;

$S_c$  – площадь проходного сечения десублиматора, м<sup>2</sup>.

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

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 (1.32) рекомендуется принимать в пределах 4...12 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Принимаем  $k = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Средняя разность температур  $\Delta t_{cp}$ , входящая в уравнение теплопередачи (1.32), определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mu}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mu}}} \quad (1.34)$$

где  $\Delta t_{\delta}$ ,  $\Delta t_{\mu}$  – большая и меньшая разности температур на концах тепловых потоков, К.

Если отношение  $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} < 2$ , то с достаточной точностью вместо уравнения (1.34) можно применять уравнение:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} \quad (1.35)$$

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  $100^{\circ}\text{C}$  до начала десублимации при температуре  $56,4^{\circ}\text{C}$ , необходимо отвести количество тепла, определенное ранее  $Q_1 = 1283,17 \text{ Вт}$ .

Для расчета средней разности температур можно применить формулу (1.34). Тогда:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{70 - 28,4}{\ln \frac{70}{28,4}} = 46^{\circ},$$

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

$$F_1 = \frac{Q}{\kappa \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1283,17}{4 \cdot 46} = 2,32 \text{ м}^2$$

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

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

Тогда по формуле (1.35)

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

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:

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

$$\Delta t_{\delta} = 33,4^{\circ}, \Delta t_{\text{м}} = 17^{\circ}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} / \Delta t_{\text{м}} = 33,4/17 = 1,9, \quad 1,9 < 2.$$

Следовательно, средняя разность температур между теплоносителями определяется по формуле (1.35):

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

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:

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

$$F = 2,32 + 17,8 + 34,38 = 54,5 \text{ м}^2$$

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.

### 1.6.6 Конструктивный расчет десублиматора

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,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ ;

$w$  – 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 –  $G_1 = 0,01388 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- расход горячего рассола, идущего на обогрев наружной стенки аппарата,  $G_2 = 0,000833 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- расход рассола на охлаждение парогазовой смеси в режиме десублимации по внутренним теплообменным трубкам,  $G_3 = 0,000381 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- расход рассола на нагрев десублимата в режиме сублимации по внутренним теплообменным трубкам,  $G_4 = 0,00045 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Исходя из рекомендаций [  $\delta$  ] принимаем следующие скорости в трубопроводах:

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

Находим площади поперечного сечения трубопроводов и их диаметры по формулам:

$$F = G / w \quad (1.36)$$

$$F = \pi \cdot d^2 / 4 = 0,785 \cdot d^2 \quad (1.37)$$

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot w}} \quad (1.38)$$

Внутренний диаметр трубопровода подвода и отвода парогазовой смеси:

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

Принимаем  $d_1 = 150 \text{ мм}$

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

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

Принимаем  $d_2 = 25$  мм

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

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

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  $P = 0,2$  МПа ( $2 \text{ кг/см}^2$ ).

Основной материал корпуса аппарата – ВСт3.

Толщина стенки аппарата принята  $s = 9$  мм, исходя из наличия агрессивной среды в аппарате и срока службы аппарата.

Проверка толщины стенки корпуса производится при действии внутреннего давления  $P$ :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (1.39)$$

где:

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение. По для стали ВСт3 при температуре  $100^\circ\text{C}$   $[\sigma] = 134$  МПа;

$\varphi_p$  – коэффициент прочности сварных швов. Для стыковых сварных швов со 100 % контролем по [ 7]  $\varphi_p = 1$ ;

$s$  - толщина стенки аппарата,  $s = 0,008$  м;

$c$  – прибавка на коррозию и эрозию, принимаем  $c = 0,001$  м;

$D$  – внутренний диаметр аппарата,  $D = 1$  м.

Тогда:

$$[p] = \frac{2 \cdot 134 \cdot 1 \cdot (0.008 - 0.001)}{1 + (0.008 - 0.001)} = 1.86 \text{ МПа} .$$

1,86 МПа > 0,2 МПа, т.е.  $[p] > P$ ; условие соблюдается.

## 2. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### 2.1. Прочностной расчет

#### 2.1.1 Определение характеристик аппарата

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 *ВСтЗ*, имеющую скорость коррозии  $П = 0,1 \text{ мм/год}$ .

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

$$[\sigma] = 149 \text{ МПа}.$$

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

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

#### 2.1.2 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:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \tag{2.1}$$

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

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

### **2.1.3 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления**

Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s \geq s_p + C, \quad (2.2)$$

где

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p};$$
$$s_p = \frac{0,3 \cdot 1000}{2 \cdot 149 \cdot 0,9 - 0,3} = 1,12 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее давление следует рассчитывать по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}. \quad (2.3)$$

### **2.1.4 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия наружного давления**

Толщину стенки приближенно определяем по формулам:

$$s \geq s_{p,n} + C, \quad (2.4)$$

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

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

$$K_1 = \frac{n_y \cdot p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E}; \quad (2.5)$$

$$K_3 = \frac{l_p}{D}, \quad (2.6)$$

где  $l_p$  – длина корпуса аппарата.

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

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

$$K_2 = 0,8.$$

Толщина стенки корпуса

$$s_{p,n} = \max \left\{ 0,8 \cdot 1000 \cdot 10^{-2} = 8 \text{ мм}; \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 1000}{2 \cdot 149} = 1,12 \text{ мм} \right\} = 8 \text{ мм}.$$

Исполнительную толщину стенки корпуса определяем по формуле:

$$s = \max \{s_p; s_{p,n}\} + C; \quad (2.7)$$

$$s = \max \{1,12; 8\} + 1 = 9 \text{ мм}.$$

Принимаем  $s = 9 \text{ мм}$ .

$$[p] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 0,9 \cdot (9-1)}{1000 + (9-1)} = 2,13 \text{ МПа};$$

$$p \leq [p] (0,3 < 2,13).$$

Допускаемое наружное давление следует определять по формуле:

$$[p]_n = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}}, \quad (2.8)$$

где допускаемое давление из условия прочности определяем по формуле:

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

$$[p]_n = \frac{2 \cdot 149 \cdot (9-1)}{1000 + (9-1)} = 2,37 \text{ МПа}.$$

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

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

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - C)}} \right\}; \quad (2.9)$$

где

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{1000}{3200} \cdot \sqrt{\frac{1000}{100 \cdot (9-1)}} = 3,31 \right\} = 1,0;$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1000}{2,4 \cdot 1 \cdot 3200} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (9-1)}{1000} \right]^{2,5} = 0,31 \text{ МПа};$$

$$[p]_н = \frac{2,37}{\sqrt{1 + \left( \frac{2,37}{0,31} \right)^2}} = 0,31 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_н, \quad (0,3 < 0,31).$$

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру

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

$$\frac{9-1}{1000} = 0,008 < 0,1.$$

### 2.1.5 Определение толщины плоской крышки

Толщину плоской круглой крышки рассчитываем по формуле:

$$s_K \geq s_{K.p} + C, \quad (2.10)$$

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

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

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p}\right)^3}{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p}\right)}}; \quad (2.11)$$

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

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

$$s_K = 8,9 + 1 = 9,9 \text{ мм}.$$

Принимаем  $s_K = 10 \text{ мм}$ .

Допускаемое давление на плоскую крышку определяют по формуле:

$$[p] = \left( \frac{s_K - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi; \quad (2.12)$$

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

Проверяем условие:

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

Проверяем условия закрепления крышки:

$$D_p = D_3 = 1100 \text{ мм}.$$

### **2.1.6 Проверка необходимости укрепления отверстий**

Расчетный диаметр одиночного отверстия в крышке корпуса вычисляем по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s_K - C}{s_{K.p}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_K - C)}; \quad (2.13)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{10 - 1}{8,9} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1000 \cdot (10 - 1)} = 41,2 \text{ мм}.$$

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.

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

Допускаемые напряжения на краю элемента определяются по следующей формуле:

$$[\sigma]_{кр.} = 1,3 \cdot [\sigma]; \quad (2.14)$$

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

Уравнения совместности деформаций для места стыка цилиндра с конусом

имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u &= \Delta_p^s + \Delta_{Q_0}^s + \Delta_{M_0}^s, \\ \theta_p^u - \theta_{Q_0}^u + \theta_{M_0}^u &= -\theta_p^s - \theta_{Q_0}^s - \theta_{M_0}^s, \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

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

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

Подставляя в уравнения совместности деформаций значения деформаций, получим:

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

$$-\frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{(s-C) \cdot E} \cdot M_0 = -\frac{2 \cdot \beta_0^2 \cdot a^2}{(s_0-C) \cdot E} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta_0^3 \cdot a^2}{(s_0-C) \cdot E} \cdot M_0;$$

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{R \cdot (s-C)}}; \quad \beta_0 = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{a \cdot (s_0-C)}};$$

$$a = R = \frac{D}{2}; \quad b = \frac{D}{4};$$

$$a = R = 500 \text{ мм}; \quad b = 250 \text{ мм};$$

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

$$\beta_0 = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{500 \cdot (9-1) \cdot 10^{-6}}} = 20,48 \text{ м}^{-1}.$$

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

$$\begin{aligned} \sigma_{m\delta} &= \sigma_{m\delta}^p + \sigma_{m\delta}^{Q_0} + \sigma_{m\delta}^{M_0} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot (s_0 - C)} + 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s_0 - C)^2} = \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,009 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = (-7,5 \pm 0,086) = 7,586 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

кольцевое

$$\begin{aligned} \sigma_{i\delta} &= \sigma_{i\delta}^p + \sigma_{i\delta}^{Q_0} + \sigma_{i\delta}^{M_0} = \frac{p \cdot a \cdot \left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_0 - C)} + \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta_0 \cdot a}{(s_0 - C)} + \frac{2 \cdot M_0 \cdot \beta_0^2 \cdot a}{(s_0 - C)} \pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s_0 - C)^2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 0,4 \cdot \left(2 - \frac{0,5^2}{0,25^2}\right)}{2 \cdot (0,009 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-23,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} + \frac{2 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7}) \cdot 20,48^2 \cdot 0,4}{(0,009 - 0,001)} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot (-0,92 \cdot 10^{-7})}{(0,009 - 0,001)^2} = (15,0087 \pm 0,0025) = 15,0011 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

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

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

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

цилиндра

$$\sigma_{\max} = \max \{ \sigma_{m0}; \sigma_{t0} \} = \max \{ 7,586; 15,0011 \} = 15,0011 \text{ МПа};$$

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

Таким образом, условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется.

### 2.1.8 Подбор фланцев

Для корпуса и рубашки аппарата принимаем стандартный плоский приварной фланец с соединительным выступом по ОСТ 26-426 – 79. Конструкция фланца приведена на рисунке 2.1.

Таблица 2.1 – Фланец для аппарата стальной плоский приварной

$D$	1000	$d$	23
$p, \text{МПа}$	0,3	$h$	30
$D_\phi$	1130	$s$	8
$D_B$	1090	$d_B$	M20
$D_1$	1052	$z$	36

Фланец корпуса и рубашки аппарата представлен на рисунке 2.1.

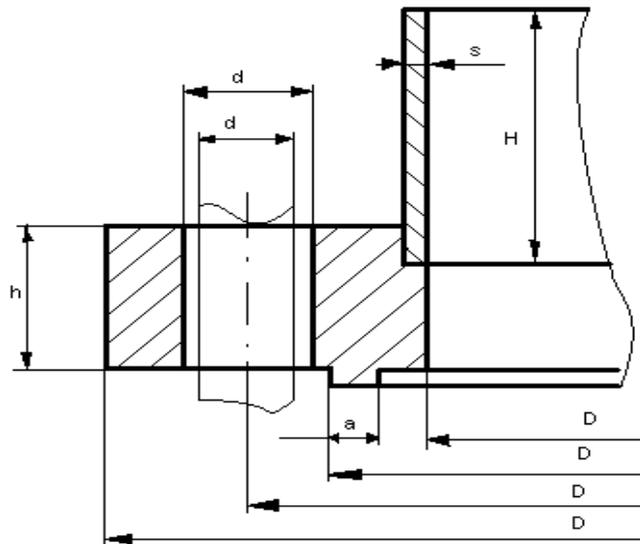


Рисунок 2.1 – Фланец корпуса и крышки аппарата

### 2.1.9 Подбор опор

Нагрузка, действующая на опоры, рассчитывается по формуле:

$$P = (m_{\text{обечайки}} + m_{\text{фланца}} + m_{\text{крышки}} + m_{\text{трубчатки}} + m_{\text{смеси}}) \cdot g; \quad (2.16)$$

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

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

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

Таблица 2.2 – Основные геометрические характеристики опоры аппарата

$Q, \text{кН}$	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
$f_{\text{max}}, \text{мм}$	25	$K_1, \text{мм}$	25

Размеры накладных листов (рисунок 2.2) под опоры вертикальных аппаратов принимаем по ОСТ 26-665 – 79:

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

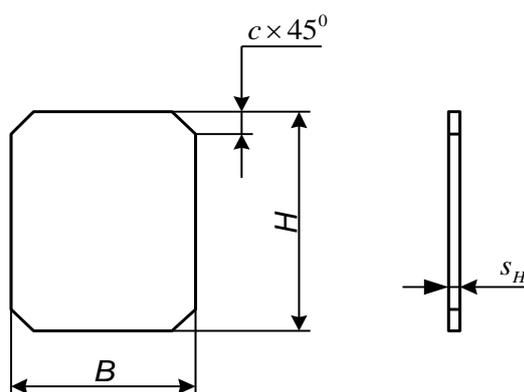


Рисунок 2.2 – Накладной лист

На рисунке 2.3 изображена подобранная опора

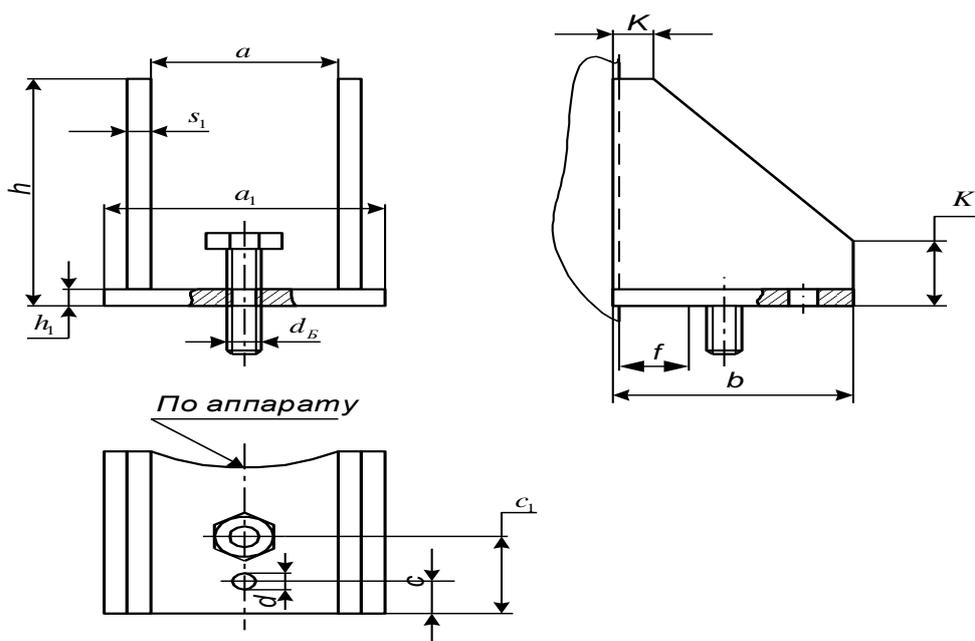


Рисунок 2.3 – Опора

### 3.МЕХАНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

#### 3.1 Определение типа производства

В машиностроении условно различают три основных типа производства: массовое, серийное и единичное.

Исходные данные: данными для расчета является чертеж вала УПГУ 240801.19.00.00 с техническими требованиями, а также программа выпуска: 10000шт/год. Данный вал предназначен для работы в насосе, который в свою очередь служит для вакуумирования оборудования и трубопроводов.

При серийном производстве изготавливают серию изделий, регулярно повторяющихся через определенные промежутки времени. Характерным признаком серийного производства является выполнение на рабочих местах нескольких повторяющихся операций.

#### 3.2 Выбор заготовки

В качестве заготовки используем прокат из стали 65Г по ГОСТ 5632 – 72. Химический состав данной стали приведен в таблице 3.1. Механические характеристики стали 65Г приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1– Химический состав стали 65Г

Обозначение элемента			
<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>
Содержание элемента в стали			
35	0,1	0.03	0,02

Таблица 3.2 – Механические характеристики стали 65Г

$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta$	<i>HВ</i>
<i>МПа</i>			
285	528	38	300...350

#### 3.3 Технологический маршрут.

Индивидуальный технологический маршрут выбран на основе типа технологического процесса.

**Аналитический расчет припуска на обработку цилиндрической поверхности  $\varnothing 100_{-0,87}$  мм:**

Заготовка: из горячекатаного проката .

Заготовку устанавливаем в самоцентрирующем трехкулачковом патроне.

Минимальный припуск на обработку наружных или внутренних поверхностей вращения определяется по следующей формуле:

$$2z_{\min} = 2 \cdot (R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (3.1)$$

где  $R_{Z_{i-1}}$ - высота микронеровностей поверхности на предшествующем переходе, мкм;

$T_{i-1}$ - глубина дефектного поверхностного слоя, мкм;

$\rho_{i-1}$ - суммарное значение пространственных отклонений, мкм;

$\varepsilon_i$ - погрешность установки заготовки на выполненном переходе, мкм.

Для заготовки имеем :

$$R_{Z_1} = 150 \text{ мкм}; \quad T_1 = 250 \text{ мкм}.$$

Суммарное значение пространственных отклонений заготовки определяем по формуле:

$$\rho_1 = \Delta_k \cdot l, \quad (3.2)$$

где  $\Delta_k$  - удельная кривизна заготовки, мкм/мм;

$l$ - длина консоли, мм;

$$\rho_1 = 1,3 \cdot 287 = 373,1 \text{ мкм}.$$

Величина остаточного пространственного отклонения после чернового обтачивания определяется по формуле:

$$\rho_2 = \rho_{\text{ост}} = k_y \cdot \rho_{\text{заг}}, \quad (3.3)$$

где  $k_y$  - коэффициент уточнения формы.

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 373,1 = 22,4 \text{ мкм},$$

после чистового обтачивания

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 373,1 = 14,9 \text{ мкм}.$$

Погрешность установки будет равна нулю.

Минимальный припуск:

под черновое обтачивание

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot \left( 150 + 250 + \sqrt{373,1^2 + 0^2} \right) = 2 \cdot 773,1 \text{ мкм}.$$

под чистовое обтачивание

$$R_z = T = 50 \text{ мкм},$$

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot \left( 50 + 50 + \sqrt{22,4^2 + 0^2} \right) = 2 \cdot 122,4 \text{ мкм}.$$

под шлифование

$$R_z = T = 30 \text{ мкм},$$

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot \left( 30 + 30 + \sqrt{14,9^2 + 0^2} \right) = 2 \cdot 74,9 \text{ мкм}.$$

Результаты расчетов приведем в таблице 3.2

Определяем расчетный размер для каждого перехода:

$$d_{p3} = 99,86 + 0,15 \cong 100,01 \text{ мм},$$

$$d_{p2} = 100,01 + 0,2 \cong 100,21 \text{ мм}.$$

$$d_{p1} = 100,21 + 1,55 \cong 101,76 \text{ мм}.$$

Определяем значение наименьшего предельного размера для каждого перехода, округляя расчетные значения до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Значение наименьшего предельного размера приведем в таблице 3.2

Определяем значение наибольшего предельного размера для каждого перехода:

$$d_{\max 3} = 99,86 + 0,019 \cong 99,879 \text{ мм},$$

$$d_{\max 2} = 100,01 + 0,046 \cong 100,056 \text{ мм},$$

$$d_{\max 1} = 100,21 + 0,12 \cong 100,33 \text{ мм},$$

$$d_{\max 3} = 101,76 + 0,3 \cong 102,06 \text{ мм.}$$

Определяем предельные значения припусков  $z_{\min}^{np}$  и  $z_{\max}^{np}$  :

$$2z_{\max 3}^{np} = 100,056 - 99,879 = 0,177 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} = 100,33 - 100,056 = 0,274 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 102,06 - 100,33 = 1,73 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 3}^{np} = 101,01 - 99,86 = 0,15 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 100,21 - 101,01 = 0,2 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 101,76 - 100,21 = 1,55 \text{ мм.}$$

Общие припуски  $z_{0 \min}$  и  $z_{0 \max}$  определяем, суммируя промежуточные припуски:

$$2z_{0 \min} = 1550 + 200 + 150 = 1900 \text{ мкм};$$

$$2z_{0 \max} = 1730 + 274 + 177 = 2181 \text{ мкм.}$$

Производим проверку правильности расчетов:

$$2z_{\max 3}^{np} - 2z_{\min 3}^{np} = 177 - 150 = 27 \text{ мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 46 - 19 = 27 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} - 2z_{\min 2}^{np} = 274 - 200 = 74 \text{ мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 120 - 46 = 74 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = 1730 - 1550 = 180 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 300 - 120 = 180 \text{ мкм.}$$

Таблица 3.3 – Результаты расчета припусков и размеров

Технологические переходы обработки поверхности $\varnothing 100_{-0,87}$	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2z_{\min}$ , мкм	Расчетный размер $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мм	Предельный размер, мм		Предельный припуск, мкм	
	R	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготовка	1	250	373,1	-	-	101,7	300	101,7	102,6	-	-
	5					6		6			
	0										

Обтачивание:												
1	Черновое	50	50	22,4	-	2·773,1	100,21	120	100,21	100,33	1550	1730
2	Чистовое	30	30	14,9	-	2·122,4	100,01	46	100,01	100,056	200	274
Шлифование		5	15			2·74,9	99,86	19	99,86	99,879	150	177
Итого:											1900	2181

Определяем общий номинальный припуск :

$$2z_{0_{\text{ю.м}}} = 2z_{0_{\text{мин}}} + HD_3 - HD_D = 1900 + 300 - 50 = 2150 \text{ мкм};$$

На основании данных расчета строим схему графического расположения припусков и допусков по обработке поверхности  $\varnothing 100_{-0,87}$  (рисунок 3.1).

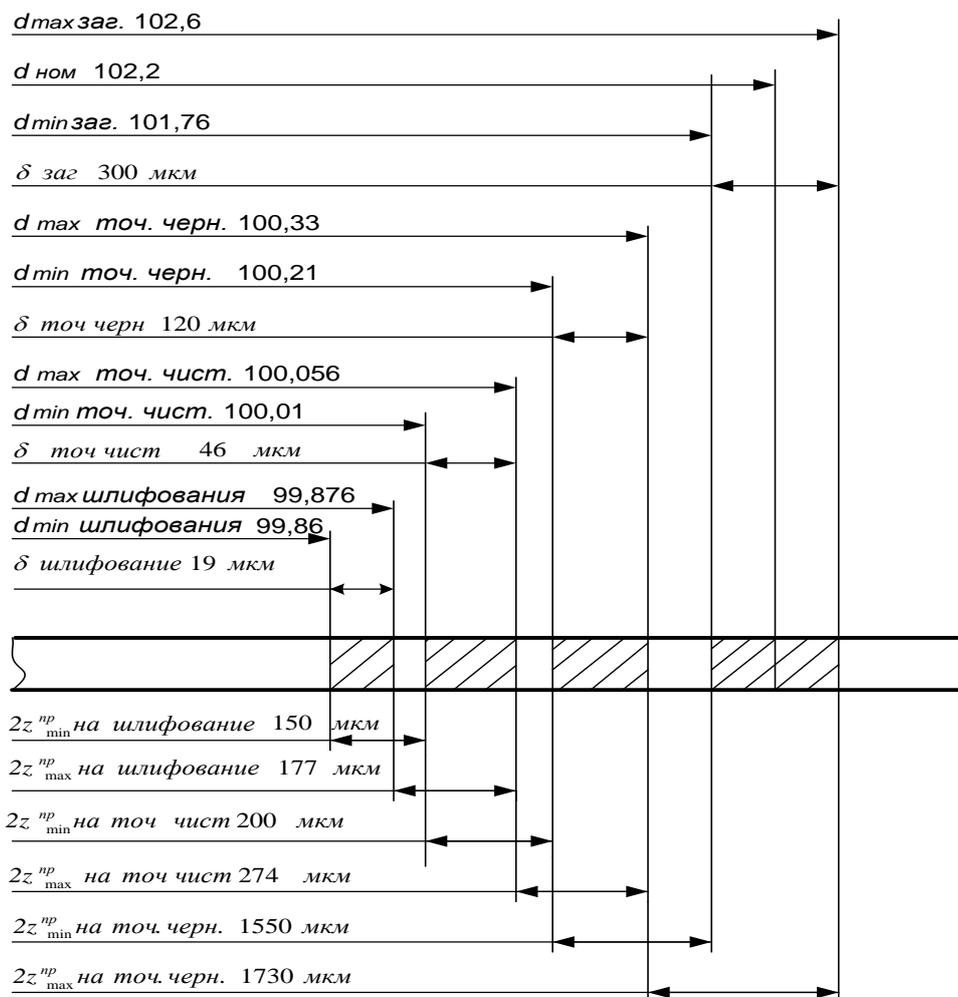


Рисунок 3.1 – Схема графического расположения припусков и допусков на обработку поверхности  $\varnothing 100_{-0,87}$ .

**Аналитический расчет припуска на обработку цилиндрической поверхности  $\varnothing 90_{-0,04}^{-0,075}$  мм:**

Заготовка: из горячекатаного проката .

Заготовку устанавливаем в самоцентрирующем трехкулачковом патроне.

Минимальный припуск на обработку наружных или внутренних поверхностей вращения определяется по следующей формуле:

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left( R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right),$$

где  $R_{Z_{i-1}}$ - высота микронеровностей поверхности на предшествующем переходе, мкм;

$T_{i-1}$ - глубина дефектного поверхностного слоя, мкм;

$\rho_{i-1}$ - суммарное значение пространственных отклонений, мкм;

$\varepsilon_i$ - погрешность установки заготовки на выполненном переходе, мкм.

Для заготовки имеем:

$$R_{Z_1} = 150 \text{ мкм}; \quad T_1 = 250 \text{ мкм}.$$

Суммарное значение пространственных отклонений заготовки определяем по формуле:

$$\rho_1 = \Delta_k \cdot l,$$

где  $\Delta_k$  - удельная кривизна заготовки, мкм/мм;

$l$ - длина консоли, мм;

Определяем предельные значения припусков  $z_{\min}^{np}$  и  $z_{\max}^{np}$  :

$$2z_{\max 3}^{np} = 0,177 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} = 0,274 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 1,73 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 3}^{np} = 0,15 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 0,2 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 1,55 \text{ мм}.$$

Общие припуски  $z_{0 \min}$  и  $z_{0 \max}$  определяем, суммируя промежуточные припуски:

$$2z_{0 \min} = 1900 \text{ мкм};$$

$$2z_{0 \max} = 2181 \text{ мкм}.$$

Производим проверку правильности расчетов:

$$2z_{\max 3}^{np} - 2z_{\min 3}^{np} = 27 \text{ мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 27 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} - 2z_{\min 2}^{np} = 74 \text{ мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 74 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = 180 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 180 \text{ мкм}.$$

Таблица 3.4 – Результаты расчета припусков и размеров

Технологические переходы обработки поверхности $\varnothing 90_{-0,04}^{-0,075}$		Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2z_{\min}$ , мкм	Расчетный размер $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мм	Предельный размер, мм		Предельный припуск, мкм	
		$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготовка		150	250	373,1	-	-	91,825	300	91,825	92,125	-	-
Обтачивание:												
1	Черновое	50	50	22,4	-	2·773,1	90,275	120	91,275	90,395	1550	1730
2	Чистовое	30	30	14,9	-	2·122,4	90,075	46	90,075	90,121	200	274
Шлифование		5	15			2·74,9	89,925	19	89,925	89,944	150	177
Итого:											1900	2181

Определяем общий номинальный припуск :

$$2z_{0_{\text{ном}}} = 2z_{0 \min} + HD_3 - HD_D = 1900 + 300 - 20 = 2150 \text{ мкм};$$

На основании данных расчета строим схему графического расположения припусков и допусков по обработке поверхности  $\varnothing 90_{-0,075}^{-0,04}$  (рисунок 3.2).

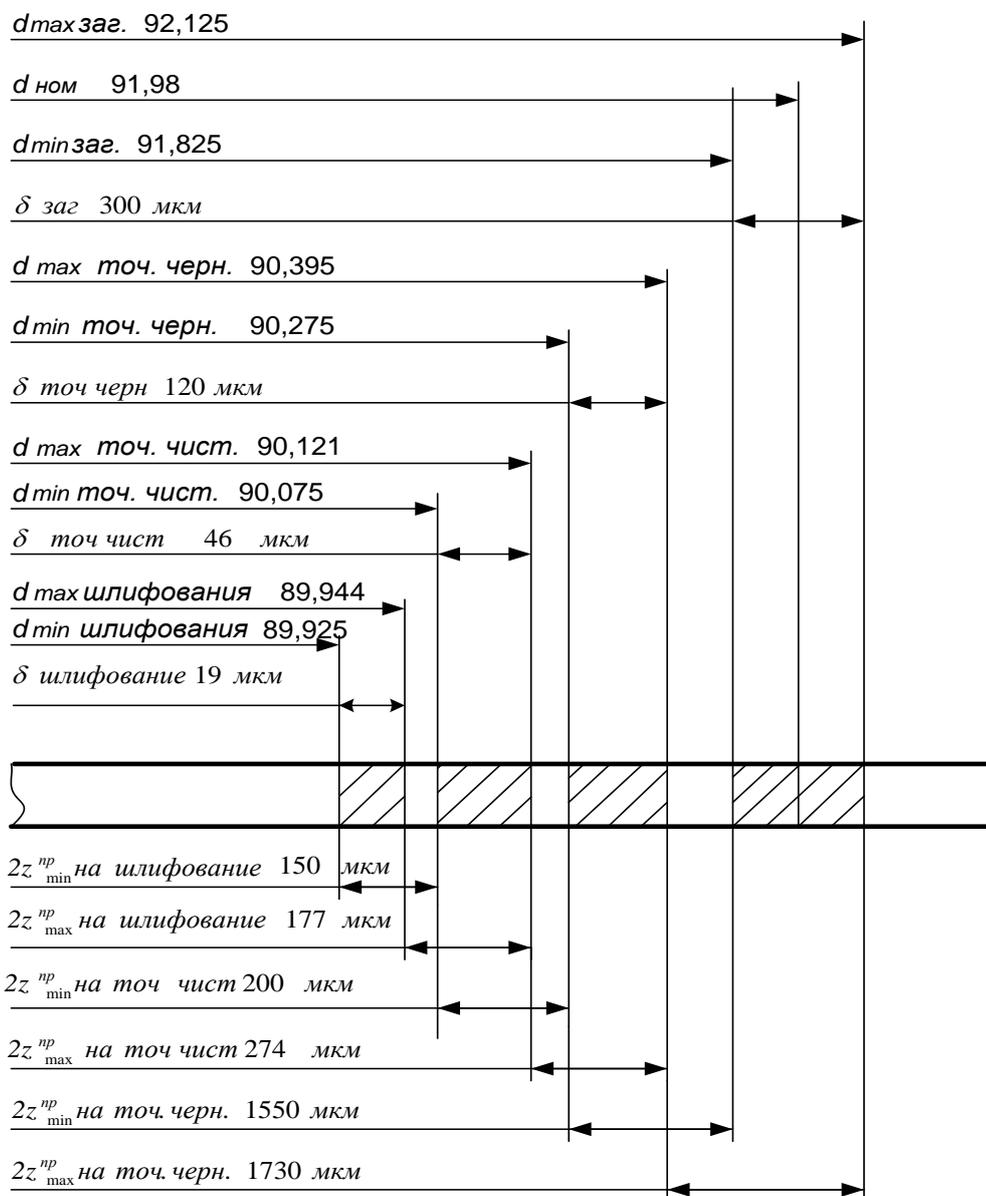


Рисунок 3.2 – Схема графического расположения припусков и допусков на обработку поверхности  $\varnothing 90_{-0,075}^{-0,04}$ .

**Аналитический расчет припуска на обработку цилиндрической поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$  мм:**

Заготовка: из горячекатаного проката .

Заготовку устанавливаем в самоцентрирующем трехкулачковом патроне.

Минимальный припуск на обработку наружных или внутренних поверхностей вращения определяется по следующей формуле:

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left( R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (3.4)$$

где  $R_{Z_{i-1}}$ - высота микронеровностей поверхности на предшествующем переходе, мкм;

$T_{i-1}$ - глубина дефектного поверхностного слоя, мкм;

$\rho_{i-1}$ - суммарное значение пространственных отклонений, мкм;

$\varepsilon_i$ - погрешность установки заготовки на выполненном переходе, мкм.

Для заготовки имеем:

$$R_{Z_1} = 150 \text{ мкм}; \quad T_1 = 250 \text{ мкм}.$$

Суммарное значение пространственных отклонений заготовки определяем по формуле:

$$\rho_1 = \Delta_k \cdot l,$$

где  $\Delta_k$  - удельная кривизна заготовки, мкм/мм;

$l$ - длина консоли, мм;

Определяем предельные значения припусков  $z_{\min}^{np}$  и  $z_{\max}^{np}$  :

$$2z_{\max 3}^{np} = 0,177 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} = 0,274 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 1,73 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 3}^{np} = 0,15 \text{ мм};$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 0,2 \text{ мм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 1,55 \text{ мм}.$$

Общие припуски  $z_{0 \min}$  и  $z_{0 \max}$  определяем, суммируя промежуточные припуски:

$$2z_{0 \min} = 1900 \text{ мкм};$$

$$2z_{0 \max} = 2181 \text{ мкм}.$$

Производим проверку правильности расчетов:

$$2z_{\max 3}^{np} - 2z_{\min 3}^{np} = 27 \text{ мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 27 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} - 2z_{\min 2}^{np} = 74 \text{ мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 74 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = 180 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 180 \text{ мкм}.$$

Таблица 3.5 – Результаты расчета припусков и размеров

Технологические переходы обработки поверхности $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$		Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2z_{\min}$ , мкм	Расчетный размер $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мм	Предельный размер, мм		Предельный припуск, мкм	
		$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготовка		150	250	1001	-	-	71,6	300	71,6	71,9	-	-
Обтачивание:												
1	Черновое	50	50	60	-	$2 \cdot 773,1$	70,05	120	70,05	70,17	1730	1550
2	Чистовое	30	30	40	-	$2 \cdot 122,4$	69,85	46	69,85	69,896	200	274
Шлифование		5	15			$2 \cdot 74,9$	69,7	19	69,7	69,719	150	177
Итого:											2181	1900

Определяем общий номинальный припуск :

$$2z_{0_{\text{ном}}} = 2z_{0_{\min}} + HD_3 - HD_D = 1900 + 300 - 20 = 2150 \text{ мкм};$$

На основании данных расчета строим схему графического расположения припусков и допусков по обработке поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$  (рисунок 3.3).

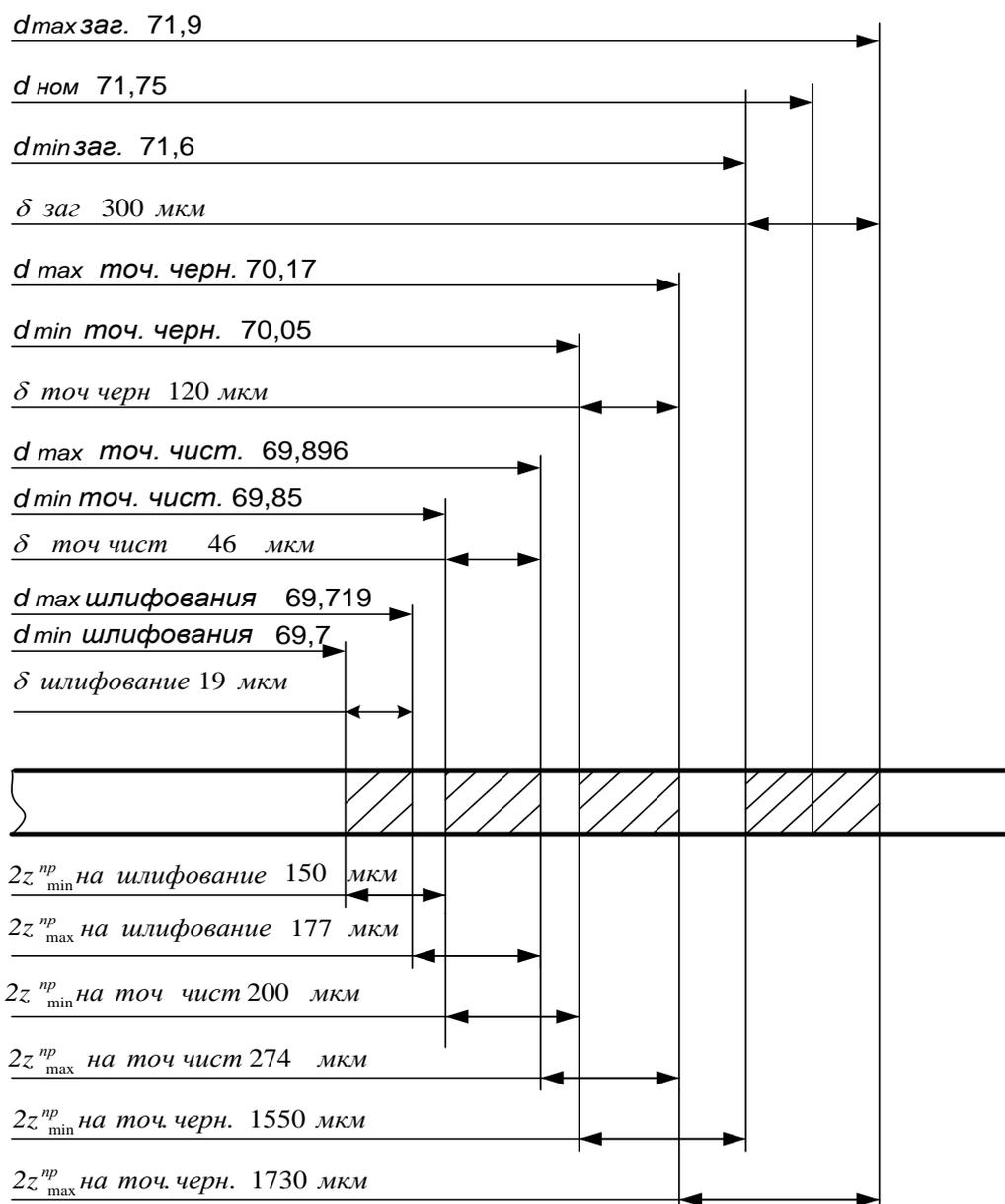


Рисунок 3.3 – Схема графического расположения припусков и допусков на обработку поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$ .

### Аналитический расчет припуска на обработку линейного размера $347_{-1}$ мм:

Минимальный припуск на обработку наружных или внутренних поверхностей вращения определяется по следующей формуле:

$$z_{\min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (3.5)$$

Для заготовки имеем:

$$R_{Z_1} = 150 \text{ мкм}, \quad T_1 = 250 \text{ мкм}.$$

Для черновой обработки имеем:

$$R_z = T = 50 \text{ мкм.}$$

Суммарное значение пространственных отклонений при обработке торцевых поверхностей будет равно:

слева

$$\rho_L = 0.$$

справа

$$\rho_{R1} = 0,8 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки будет равна нулю.

Определяем значение наибольшего предельного размера для каждого перехода:

слева

$$L_{\max L2} = 347,12 \text{ мм};$$

$$L_{\max L1} = 347,7 \text{ мм.}$$

справа

$$L_{\max R2} = 347,12 \text{ мм};$$

$$L_{\max R1} = 348,5 \text{ мм};$$

Определяем предельные значения припусков  $z_{\min}^{np}$  и  $z_{\max}^{np}$  :

слева

$$2z_{\max L}^{np} = 0,58 \text{ мм};$$

$$2z_{\min L}^{np} = 0,4 \text{ мм.}$$

справа

$$2z_{\max R}^{np} = 1,38 \text{ мм};$$

$$2z_{\min R}^{np} = 1,2 \text{ мм.}$$

Производим проверку правильности расчетов:

слева

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = 180 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 180 \text{ мкм.}$$

справа

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = 180 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 180 \text{ мкм}.$$

Таблица 3.6 – Результаты расчета припусков и размеров

Технологические переходы обработки линейного размера 347 <sub>-1</sub>	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск 2Z <sub>min</sub> , мкм		Расчетный размер L <sub>p</sub> , мм		Допуск δ, мм	Предельный размер, мм				Предельный припуск, мкм			
	R <sub>Z</sub>	T	ρ <sub>L</sub>	ρ <sub>R</sub>	2Z <sub>minL</sub>	2Z <sub>minR</sub>	L <sub>pL</sub>	L <sub>pR</sub>		I <sub>minL</sub>	I <sub>minR</sub>	I <sub>maxL</sub>	I <sub>maxR</sub>	2z <sub>minL</sub> <sup>np</sup>	2z <sub>minR</sub> <sup>np</sup>	2z <sub>maxL</sub> <sup>np</sup>	2z <sub>maxR</sub> <sup>np</sup>
Заготовка	150	250	-	800	-	-	347,4	348,2	300	347,4	348,2	347,7	348,5	-	-	-	-
Обработка	50	50	-	-	400	1200	347	347	120	347	347	347,12	347,12	0,4	0,58	1,2	1,38

Определяем общий номинальный припуск :

слева

$$2z_{0_{\text{юм}}} = 2z_{0_{\text{мин}}} + HD_3 - HD_D = 400 + 1000 - 900 = 300 \text{ мкм}.$$

справа

$$2z_{0_{\text{юм}}} = 2z_{0_{\text{мин}}} + HD_3 - HD_D = 1380 + 1000 - 900 = 1280 \text{ мкм}.$$

На основании данных расчета строим схему графического расположения припусков и допусков по обработке поверхности 347<sub>-1</sub> слева (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Схема графического расположения припусков и допусков на обработку линейного размера 347<sub>-1</sub> слева

На основании данных расчета строим схему графического расположения припусков и допусков по обработке поверхности  $347_{-1}$  справа (рисунок 3.4).

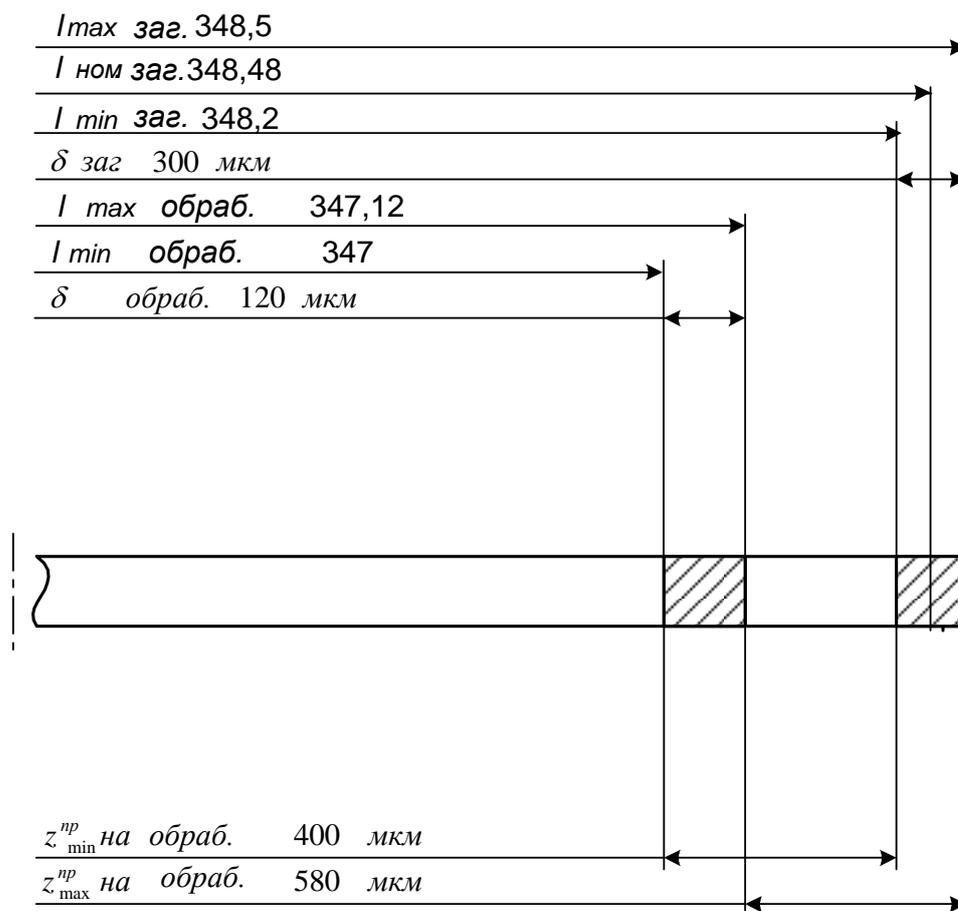


Рисунок 3.4 – Схема графического расположения припусков и допусков на обработку линейного размера  $347_{-1}$  справа

Таблица 3.7 – Допуски и припуски на обработку поверхностей основания

№ п/п	Размер, мм	Припуск, мкм		Допуск, мм
		Табличный	Расчетный	
1	$\varnothing 100$	2×1600	2×1840	+0,1 -0,2
2	$\varnothing 90$	2×1600	2×1840	+0,1 -0,2
3	$\varnothing 70$	2×1600	2×1810	+0,1 -0,2
4	347	1600	1280	+0,7 -0,8
5	347	1600	300	+0,7 -0,8

### 3.4 Расчет режимов резания

Расчет режимов резания проводится для назначения режимов обработки на станках, определения норм времени (технического нормирования) обработки, уточнения выбора типоразмера станка (по мощности и нагрузкам), а также для подбора и разработки приспособлений.

В качестве станка для обработки выбранных поверхностей применяем токарно-винторезный станок 1К62.

**Расчет режимов резания для черногого обтачивания поверхности  $\varnothing 100_{-0,87}$  мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 2,2 \text{ мм.}$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 2 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания рассчитывают по формуле:

$$V_{расч} = \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n}, \quad (3.6)$$

где  $C_v$ - постоянная для данных условий резания;

$T$ - период стойкости инструмента, мин;

$m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $n$ - показатели степени;

$k_v$ - общий поправочный коэффициент;

$$k_v = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9,$$

здесь  $K_1$ - коэффициент, определяющий качество обрабатываемого материала;

$K_2$ - коэффициент, определяющий состояние поверхности заготовки;

$K_3$ - коэффициент, определяющий материал режущей части;

$K_4$ - коэффициент, определяющий главный угол в плане;

$K_5$ - коэффициент, определяющий вспомогательный угол в плане;

$K_6$ - коэффициент, определяющий радиус при вершине;

$K_7$ - коэффициент, определяющий поперечное сечение державки;

$K_8$ - коэффициент, определяющий вид обработки.

$$k_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,54.$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{расч1} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 2,2^{0,18} \cdot 2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 31,2 \text{ м / мин.}$$

По найденной скорости резания определяют расчетное число оборотов шпинделя по формуле:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot V_{расч}}{\pi \cdot d}. \quad (3.7)$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 31,2}{3,14 \cdot 100,21} = 100 \text{ об / мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{расч} \geq n_d.$$

Принимаем  $n_{д1}=100$  об/мин.

Действительная скорость вращения шпинделя определяется по формуле:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n_d}{1000}. \quad (3.8)$$

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{d1} = \frac{3,14 \cdot 100,21 \cdot 100}{1000} = 31,5 \text{ м / мин.}$$

По найденному значению  $V_{д1}$  определяем эффективную мощность резания по формуле:

$$N_{\text{э}} = \frac{P_Z \cdot V_d}{102 \cdot 60}, \quad (3.9)$$

где  $P_Z$ - вертикальная составляющая сил резания, кг.

$$P_Z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot s^{y_p} \cdot k_p \cdot HB^n,$$

где  $C_p$ - постоянная для данных условий резания;

$x_p, y_p, n$ - показатели степени;

$t$ - длина лезвия резца, мм;

$k_p$ - поправочный коэффициент.

$$k_p = K_{15} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot K_{18} \cdot K_{19},$$

где  $K_{15}, K_{16}, K_{17}, K_{18}, K_{19}$ - коэффициенты, учитывающие изменение против табличных условий резания.

Поправочный коэффициент при черновом растачивании

$$k_{p1} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9.$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z1} = 3,57 \cdot 2,2 \cdot 2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 813,7 \text{ кг}.$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{Э1} = \frac{813,7 \cdot 31,5}{102 \cdot 60} = 4,2 \text{ кВт}.$$

Полученная эффективная мощность резания сопоставляется с паспортными данными выбранного станка:

$$N_{np} \cdot \eta \geq N_{Э},$$

где  $N_{np}$ - мощность привода станка (паспортная);

$\eta$ - к. п. д. станка по паспорту;  $\eta=0,7...0,8$ .

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 4,2$$

**Расчет режимов резания для чистового обтачивания поверхности**

**Ø100<sub>-0,87</sub> мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 0,4 \text{ мм}.$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 3,2 \text{ мм/об}.$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{расч1} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 0,4^{0,18} \cdot 3,2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 34,2 \text{ м/мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{расч1} = \frac{1000 \cdot 34,2}{3,14 \cdot 100,01} = 109 \text{ об/мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{расч} \geq n_0.$$

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{d2} = \frac{3,14 \cdot 100,01 \cdot 109}{1000} = 34,2 \text{ м/мин.}$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z1} = 3,57 \cdot 0,4 \cdot 3,2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 444 \text{ кг.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{э1} = \frac{444 \cdot 34,2}{102 \cdot 60} = 2,3 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 2,3$$

**Расчет режимов резания для шлифования поверхности  $\varnothing 100_{-0,87}$  мм:**

При шлифовании периферией круга задаемся скоростью шлифовального круга, продольной подачей и глубиной шлифования.

$$v_{ш} = 1800 \text{ м/мин}, s_{ш} = 0,6 \text{ мм/об}, t = 0,1 \text{ мм.}$$

Определяем скорость вращения обрабатываемой детали по формуле:

$$V_d = \frac{C_v \cdot d^p}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v}},$$

где  $C_v$ - постоянная для данных условий шлифования;

$T$ - период стойкости инструмента, мин;

$m, x_v, y_v, p$ - показатели степени;

$d^p$  - диаметр шлифуемой детали

Определяем скорость вращения обрабатываемой детали по формуле:

$$V_d = \frac{0,24 \cdot 99,86^{0,3}}{15^{0,5} \cdot 0,1^1 \cdot 0,6^1} = 4,2 \text{ м / мин},$$

Эффективную мощность на шлифование находим по следующей формуле:

$$N_{\text{э}} = C_N \cdot V_d^x \cdot s^y \cdot t^z \cdot d^p, \quad (3.10)$$

где  $C_N$ - постоянная для данных условий шлифования;

$T$ - период стойкости инструмента, мин;

$m, x_v, y_v, p$ - показатели степени;

Эффективную мощность на шлифование находим по следующей формуле:

$$N_{\text{э}} = 1,2 \cdot 4,2^{0,75} \cdot 0,6^{0,7} \cdot 0,1^{0,85} \cdot 99,86^{0,2} = 0,77 \text{ кВт}.$$

По заданной скорости шлифования определяют расчетное число оборотов шпинделя по формуле:

$$n_{\text{расч}} = \frac{1000 \cdot 1800}{3,14 \cdot 99,86} = 5740 \text{ об / мин}.$$

В качестве станка для обработки выбранных поверхностей применяем круглошлифовальный станок 3Б12.

Проверяем условие:

$$3 \cdot 0,8 = 2,4 \geq 0,77$$

Снятие припуска на шлифование осуществляем за два прохода. Глубина резания и подача аналогичны значениям в расчетах приведенных выше.

**Расчет режимов резания для черногого обтачивания поверхности  $\varnothing 90_{-0,04}^{-0,075}$  мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 3 \text{ мм}.$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 2 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{расч_1} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 3^{0,18} \cdot 2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 29,4 \text{ м/мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 29,4}{3,14 \cdot 90,275} = 104 \text{ об/мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{расч} \geq n_d.$$

Принимаем  $n_{d1} = 104$  об/мин.

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 90,275 \cdot 104}{1000} = 29,5 \text{ м/мин.}$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z_1} = 3,57 \cdot 3 \cdot 2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 1110 \text{ кг.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{э_1} = \frac{813,7 \cdot 31,5}{102 \cdot 60} = 4,2 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 4,2$$

**Расчет режимов резания для чистового обтачивания поверхности**

**$\varnothing 90_{-0,075}^{-0,04}$  мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 0,4 \text{ мм.}$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 3,2 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{расч1} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 0,4^{0,18} \cdot 3,2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 34,2 \text{ м / мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 34,2}{3,14 \cdot 90,075} = 120,9 \text{ об / мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{расч} \geq n_d.$$

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{\phi_2} = \frac{3,14 \cdot 100,01 \cdot 120,9}{1000} = 34,2 \text{ м / мин.}$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z_1} = 3,57 \cdot 0,4 \cdot 3,2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 444 \text{ кг.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{\phi_1} = \frac{444 \cdot 34,2}{102 \cdot 60} = 2,5 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 2,5$$

**Расчет режимов резания для шлифования поверхности  $\varnothing 90$   $^{-0,4}_{-0,075}$  мм:**

При шлифовании периферией круга задаемся скоростью шлифовального круга, продольной подачей и глубиной шлифования.

$$v_{ш} = 1800 \text{ м / мин, } s_{ш} = 0,6 \text{ мм / об, } t = 0,1 \text{ мм.}$$

Определяем скорость вращения обрабатываемой детали по формуле:

$$V_d = \frac{0,24 \cdot 89,925^{0,3}}{15^{0,5} \cdot 0,1^1 \cdot 0,6^1} = 3,5 \text{ м / мин,}$$

Эффективную мощность на шлифование находим по следующей формуле:

$$N_{\phi} = 1,2 \cdot 3,5^{0,75} \cdot 0,6^{0,7} \cdot 0,1^{0,85} \cdot 89,925^{0,2} = 0,75 \text{ кВт.}$$

По заданной скорости шлифования определяют расчетное число оборотов шпинделя по формуле:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 1800}{3,14 \cdot 89,925} = 6374 \text{ об / мин.}$$

В качестве станка для обработки выбранных поверхностей применяем круглошлифовальный станок 3Б12.

Проверяем условие:

$$3 \cdot 0,8 = 2,4 \geq 0,75$$

Снятие припуска на шлифование осуществляем за два прохода. Глубина резания и подача аналогичны значениям в расчетах приведенных выше.

**Расчет режимов резания для черногого обтачивания поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$  мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 3,2 \text{ мм.}$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 2 \text{ мм / об.}$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{расч1} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 3,2^{0,18} \cdot 2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 29 \text{ м / мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{расч1} = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 70,05} = 126 \text{ об / мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{расч} \geq n_d.$$

Принимаем  $n_{д1} = 126$  об/мин.

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 70,05 \cdot 126}{1000} = 27,7 \text{ м / мин.}$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z_1} = 3,57 \cdot 3,2 \cdot 2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 1184 \text{ кг.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{\text{э1}} = \frac{1184 \cdot 27,7}{102 \cdot 60} = 5,4 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 5,4$$

**Расчет режимов резания для чистового обтачивания поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$  мм:**

Глубина резания определяется припуском на обработку:

$$t = 0,4 \text{ мм.}$$

Величина подачи при черновом растачивании поверхности составляет:

$$s_1 = 3,2 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания при черновом растачивании:

$$V_{\text{расч1}} = \frac{259 \cdot 0,54}{40^{0,125} \cdot 0,4^{0,18} \cdot 3,2^{0,45} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 34,2 \text{ м/мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$n_{\text{расч1}} = \frac{1000 \cdot 34,2}{3,14 \cdot 69,85} = 160 \text{ об/мин.}$$

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$ :

$$n_{\text{расч}} \geq n_d.$$

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна:

$$V_{\text{д2}} = \frac{3,14 \cdot 100,01 \cdot 159}{1000} = 34,8 \text{ м/мин.}$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна:

$$P_{Z_1} = 3,57 \cdot 0,4 \cdot 3,2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 444 \text{ кз.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна:

$$N_{э_1} = \frac{444 \cdot 34,8}{102 \cdot 60} = 2,5 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 2,5$$

**Расчет режимов резания для шлифования поверхности  $\varnothing 70_{-0,3}^{-0,1}$  мм:**

При шлифовании периферией круга задаемся скоростью шлифовального круга, продольной подачей и глубиной шлифования.

$$v_{ш} = 1800 \text{ м/мин}, s_{ш} = 0,6 \text{ мм/об}, t = 0,1 \text{ мм.}$$

Определяем скорость вращения обрабатываемой детали по формуле:

$$V_d = \frac{0,24 \cdot 69,7^{0,3}}{15^{0,5} \cdot 0,1^1 \cdot 0,6^1} = 3,34 \text{ м/мин.}$$

Эффективную мощность на шлифование находим по следующей формуле:

$$N_{э} = 1,2 \cdot 3,34^{0,75} \cdot 0,6^{0,7} \cdot 0,1^{0,85} \cdot 69,7^{0,2} = 0,71 \text{ кВт.}$$

По заданной скорости шлифования определяют расчетное число оборотов шпинделя по формуле:

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 1800}{3,14 \cdot 69,7} = 8223 \text{ об/мин.}$$

В качестве станка для обработки выбранных поверхностей применяем круглошлифовальный станок 3Б12.

Проверяем условие:

$$3 \cdot 0,8 = 2,4 \geq 0,71$$

Снятие припуска на шлифование осуществляем за два прохода. Глубина резания и подача аналогичны значениям в расчетах приведенных выше.

**Расчет режимов резания для черного точения линейного размера  $347_{-0,1}$  мм:**

Скорость резания рассчитываем по формуле:

$$V_{расч} = \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n}, \quad (3.11)$$

где

$k_v$ - общий поправочный коэффициент;

$$k_v = K_1 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{10} \cdot K_{11} \cdot K_{12},$$

здесь  $K_{10}$ - коэффициент, учитывающий влияние отношения разности между наружным диаметром и диаметром до которого производится прорезка;

$K_{11}$ - коэффициент, учитывает влияние глубины паза;

$K_{12}$ - коэффициент, учитывает влияние типа станка.

Общий поправочный коэффициент рассчитываем по формуле:

$$k_v = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,476.$$

Скорость резания при черновом растачивании рассчитывают по формуле:

$$V_{расч1} = \frac{54,2 \cdot 0,476}{25^{0,15} \cdot 2^{0,35} \cdot \left(\frac{280}{200}\right)^{1,75}} = 6,932 \text{ м / мин.}$$

Расчетная частота вращения шпинделя при черновом растачивании равна по формуле:

$$n_{расч1} = \frac{1000 \cdot 6,932}{3,14 \cdot 100,21} = 22 \text{ об / мин.}$$

В качестве станка для обработки выбранных поверхностей применяем токарно-винторезный станок 1К62.

По расчетному числу оборотов выбирают меньшее ближайшее паспортное (действительное) значение  $n_d$  :

$$n_{расч} \geq n_d.$$

Принимаем  $n_{д1}=20$  об/мин.

Действительная скорость вращения шпинделя при черновом растачивании равна по формуле:

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 100,21 \cdot 20}{1000} = 6,29 \text{ м / мин.}$$

Поправочный коэффициент при черновом растачивании рассчитываем по формуле:

$$k_{p_1} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9.$$

Вертикальная составляющая сил резания при черновом растачивании равна по формуле:

$$P_{Z_1} = 4,42 \cdot 5^{1,2} \cdot 2^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 280^{0,75} = 744,9 \text{ кг.}$$

Эффективная мощность резания при черновом растачивании равна по формуле:

$$N_{э_1} = \frac{744,9 \cdot 6,29}{102 \cdot 60} = 0,77 \text{ кВт.}$$

Проверяем условие:

$$10 \cdot 0,8 = 8 \geq 0,77$$

Данные режимы резания применяем для обработки правого и левого торца

Результаты расчёта режимов резания приведены в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Режимы резания

Наименование операции	t, мм	s, мм/об	V, мм
1 Точить отверстие Ø100			
начерно	2,2	2	31,5
начисто	0,4	3,2	34,2
Шлифовать поверхность Ø100	0,1	0,6	4,2
2 Точить поверхность Ø90			
начерно	3	3,2	29,5
начисто	0,4	0,25	34,2
Шлифовать поверхность Ø90	0,1	0,6	3,5
3 Сверлить отверстие Ø70			
начерно	3,2	2	27,7
начисто	0,4	3,2	34,8
Шлифовать поверхность Ø70	0,1	0,6	3,34
4 Точить поверхность Ø347			
начерно	5	2	6,29
5 Фрезеровать			
начерно паз 1		0,12	
начерно паз 2		0,12	

6 Сверлить отверстия Ø14,2		0,15	
7 Нарезать резьбу М16		5	

### 3.5 Техническое нормирование технологического процесса

Норма штучного времени определяется по следующей формуле:

$$T_{шт} = T_O + T_B + T_{Обсл} + T_{Отд}, \quad (3.12)$$

где  $T_O$ - основное время, мин;

$T_B$ - вспомогательное время, мин;

$T_{Обсл}$ - время на обслуживание, мин;

$T_{Отд}$ - время на отдых и личные надобности, мин.

Основное технологическое время при точении определяется по формуле:

$$T_O = \frac{l + l_1 + l_2}{n \cdot s} \cdot i, \quad (3.13)$$

где  $l$ - длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_1$ - величина врезания и перебега резца, мм;

$l_2$ - дополнительная длина на взятие пробной стружки, мм;

$n$ - частота вращения шпинделя, об/мин;

$s$ - подача на один оборот шпинделя, мм/об;

$i$ - число проходов.

Основное технологическое время для фрезерования определяется по формуле:

$$T_O = \frac{l + l_1 + l_2}{s_M} \cdot i, \quad (3.14)$$

где  $s_M$ - минутная подача фрезы, мм/мин.

Основное технологическое время для шлифования определяется по формуле:

$$T_O = \frac{l \cdot z}{s_M t}, \quad (3.15)$$

где  $s_M$ - минутная подача круга, мм/мин;

$z$ -припуск на сторону;

$t$ -глубина шлифования.

$$T_{отд} = 6\%T_o; T_{обсл} = 1,5\%T_o$$

$$T_B = \frac{T_o \cdot t_{см}}{T}$$

где  $t_{см}$  – время смены инструмента;

$T$  - период стойкости инструмента.

Таблица 3.9 – Расчет штучного времени по операциям технологического процесса (время в минутах)

№ п/п	Наименование операции	Основное время	Вспомогательное время			Оперативное время	Время на обслуживание	Время на отдых	Штучное время
			Установка и снятие	Управление станком	Измерение деталей				
1	Подрезать торец справа	0,25	0,37	0,62	0,26	1,5	0,004	0,015	1,519
2	Подрезать торец слева	0,25	0,37	0,62	0,26	1,13	0,004	0,015	1,149
3	Точить пов.Ø100	2,43	0,37	0,53	0,22	3,55	0,018	0,074	3,642
4	Точить пов.Ø90	0,13	0,37	0,55	0,21	1,26	0,005	0,021	1,286
5	Точить пов.Ø70	0,33	0,37	0,57	0,23	1,5	0,035	0,138	1,673
6	Точить пов.Ø68	0,19	0,37	0,6	0,24	1,4	0,040	0,159	1,599
7	Сверлить Ø14,2	0,42	0,37	0,53	0,2	1,52	0,004	0,015	1,539
8	Нарезать резьбу М16	0,1	0,37	0,3		0,77	0,002	0,006	0,778
9	Снятие фаски	0,05	0,37	0,25	0,23	0,9	0,001	0,005	0,906
10	Фрезерование паза 1	1,15	0,37	0,18	1,85	2,7	0,030	0,120	2,85
11	Фрезерование паза 2	1,05	0,37	0,18	0,15	1,75	0,045	0,180	1,975
12	Шлифование Ø100	10	0,37	0,4	0,25	11,02	0,027	0,108	11,16
13	Шлифование Ø90	0,5	0,37	0,4	0,25	1,52	0,015	0,060	1,73
14	Шлифование Ø70	1,7	0,37	0,4	0,25	2,72	0,065	0,258	3,043
Итого:									35

Подготовительно-заключительное время на партию деталей составляет:

$$T_{ПЗ} = 112 \text{ мин.}$$

Штучно-калькуляционное время при серийном производстве рассчитывается по формуле:

$$T_{ШК} = T_{шт} + \frac{T_{ПЗ}}{n}, \quad (3.16)$$

где  $n$ - число деталей в партии, штук:  $T_{ШК} = 35 + \frac{112}{10000} = 35,01 \text{ мин.}$

### 3.6 Разработка зажимного приспособления

### Технические решения

В качестве приспособления выбираем поводковый трёхкулачковый патрон. Патрон с помощью тяги соединяется со шпинделем, который в свою очередь соединен с цилиндром двухстороннего действия. Цилиндр состоит из двух частей, одна из которых неподвижно соединена со шпинделем и вращается с ним, а другая часть цилиндра соединена с двумя трубками, которые подают сжатый воздух.

Расчет усилия зажима:

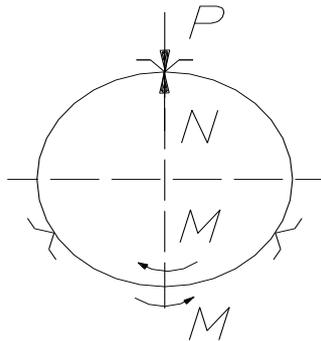


Рисунок 3.5 – Схема расположения сил

Расчет усилия зажима нужен для того, чтобы предотвратить проворачивание заготовки в патроне.

$$\sigma = \frac{N}{A};$$
$$N = \sigma \cdot A.$$

Тогда

$$N = 210 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 6,69 \text{ Н};$$

$$P_3 = N.$$

Проверим, достаточно ли оно. Находим момент кручения:

$$M_K = P_3 \cdot R = 6,69 \cdot 0,1 = 0,67 \text{ Н},$$

Для того, чтобы знать будет ли деталь проворачиваться, нужно определить момент трения:

$$M_{тр} = 3 \cdot P_3 \cdot f;$$

$$M_{тр} = 3 \cdot 6,69 \cdot 0,2 = 4,01 Н / м.$$

$$M_K < M_{тр};$$

$$0,67 < 4,01.$$

Условие соблюдается, следовательно, усилия зажима достаточно, чтобы деталь не проворачивалась.

*Расчет тяги M20 на срез от крутящего момента:*

Для материала тяги выбираем материал Сталь 3:  $[\sigma] = 210 МПа$ ;  
 $[\tau] = 130 МПа$ .

$$P = \frac{M_{кр}}{R_{внеш.детали}} = \frac{20,67}{0,2} = 6,89 Н;$$

$$\tau = \frac{P}{z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{6,89}{1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4}} = 15 МПа;$$

$$15 < 130$$

Видим, что возникающие касательные напряжения не превышают допустимых.

*Расчет минимальной прижимной силы болтов M10:*

Минимальный необходимый момент трения от действия прижимной силы болтов определяется по формуле:

$$M_{тр} = P \cdot H = 3 \cdot Q_{болта} \cdot f, \tag{3.17}$$

где  $f$  – коэффициент трения кронштейна о корпус;

$H$  – расстояние от точки приложения силы до центра болтов;

$Q_{болта}$  – прижимная сила одного болта.

Из этой формулы можно определить минимальную силу затяжки одного болта:

$$Q_{\text{болта}} = \frac{P \cdot H}{2 \cdot f} = \frac{111,7 \cdot 0,048}{3 \cdot 0,2} = 8,93H$$

Проверим условие:

$$\sigma = \frac{P \cdot H}{3 \cdot f \cdot S_{\text{болта}}} = \frac{111,7 \cdot 0,048}{3 \cdot 0,2 \cdot 0,000314} = 28,46 \text{ МПа}$$

$$0,028 \text{ МПа} < 210 \text{ МПа}$$

Видим, что возникающие нормальные напряжения, не превышают допустимых.

На основании результатов данного расчёта можно заключить, что данное приспособление полностью подходит для выполнения заданной операции.

## 4. ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

### 4.1 Расчет производственной мощности

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле:

$$M = P_{\text{ТЕХН}} * T_{\text{эфф.г}} * n \quad (4.1)$$

Где  $P_{\text{ТЕХН}}$  – техническая норма производительности, 0,64 т/ч;

$n$  – количество единиц оборудования, 20 шт.

В общем виде величина эффективного времени выразится следующим образом:

$$T_{\text{эфф.г}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{ППР}}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Таблица 4.1 – Годовой график ППР и ТО оборудования

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

По формуле (4.2) находим эффективное время работы оборудования, принимая во внимание, что  $T_{\text{ППР}} = 2350$  ч.:

$$T_{\text{эфф.г}} = 8760 - 2350 = 6410 \text{ (ч)}$$

$$M = 0,64 * 6410 * 20 = 82000 \text{ (т/Год)}.$$

Коэффициент экстенсивности характеризуется использованием основного оборудования по времени:

$$K_{\text{экт}} = T_{\text{эфф.г}} * T_{\text{кал}} \quad (4.3)$$

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 (4.3) находим коэффициент экстенсивности:

$$K_{\text{экт}} = 6410 / 8760 = 0.73.$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности.

$$K_{\text{инт}} = \Pi_{\text{факт}} : \Pi_{\text{техн}} \quad (4.4)$$

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

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

$$K_{\text{инт}} = 640 / 640 = 1$$

Коэффициент Парка рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{Парка}} = N_{\text{раб}} / N_{\text{уст}}, \quad (4.5)$$

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

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

$$K_{\text{Парка}} = 20 / 20 = 1$$

Коэффициент мощности:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{инт}} * K_{\text{Парка}} * K_{\text{экт}}, \quad (4.6)$$

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

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

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

$$K_{\text{м}} = 0.73 * 1 * 1 = 0.73$$

Годовая программа выпуска с учетом коэффициента мощности:

$$N_{\text{год}} = K_{\text{м}} * M, \quad (4.7)$$

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

$M$  – производственная мощность, т/год.

$$N_{\text{год}} = 0,73 * 82000 = 59860 = 60000 (\text{т/год}).$$

## 4.2 Режим работы

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

График двухсменного четырехбригадного режима работы на май 2018 года приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – График режима работы смен на май 2018 г.

<b>Смена</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
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											
	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
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

Штатное расписание представлено в таблице 4.3

Таблица 4.3 – Штатное расписание

Наименование должности, профессии	Категория	Разряд	Кол. штат. ед.	ставка	МФЗП
1	2	3	4	5	6
<b>РУКОВОДСТВО</b>					
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
<b>ГРУППА ОТ, ПБ и ЭКОЛОГИИ</b>					
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
<b>ГАЗОСПАСАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ</b>					
9. Начальник ГСС	ИТР	14	1	2025	5148
10. Командир отделения	ИТР	12	4	18055	21660
Итого по ГСС			5		26808
<b>ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА</b>					
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

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6
<b>УЧАСТОК ПОДГОТОВКИ ГАЗА</b>					
16. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
17. Инженер технолог 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
18. Инженер – механик 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
19. Оператор технологических установок	ОР	5	10	9.8	56349
Итого по участку подготовки газа			15		79499
<b>УЧАСТОК КОМПРИМИРОВАНИЯ ГАЗА</b>					
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
<b>ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ</b>					
26. Нач. лабораторией	ИТР	12	2	1731	4500
27. Лаборант химического анализа	ВСП	4	8	7.24	39148
Итого по центральной лаборатории			10		43648
<b>ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКАЯ СЛУЖБА</b>					
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

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6
<b>УЧАСТОК ЭНЕРГОСРЕДСТВ</b>					
31. Инженер–энергетик	ИТР	10	2	1648	10830
Итого по участку энергосредств			2		10830
<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УЧАСТОК</b>					
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
<b>УЧАСТОК КИП и А, СВЯЗИ</b>					
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
<b>БАЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b>					
41. Начальник БПО	ИТР	14	1	2025	5148
<b>УЧАСТОК ПО РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ</b>					
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
<b>БАЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b>					
47. Мастер по ремонту ТУ	ВСП	11	2	1731	9001
48. Мастер по ремонту электрооборудования	ВСП	5	4	9.08	25543

Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6
<b>ТРАНСПОРТНЫЙ УЧАСТОК</b>					
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 произ- водственных помеще- ний	МОП	1	4	2.59	9146
57. Уборщик служеб- ных помещений	МОП	1	2	2.59	4573
Итого по БПО			45		216914
<b>УЧАСТОК ПАРОВОДОСНАБЖЕНИЯ</b>					
58. Оператор ТУ	ОР	6	2	12.08	11348
59. Слесарь – сантех- ник	ВСР	5	4	9.08	24155
60. Машинист насос- ных установок	ОР	5	4	9.80	24155
Итого по участку па- роводоснабжению			10		59658
<b>ГАЗОСПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА</b>					
61. Газоспасатель-во- дитель	ВСР	5	8	9.8	51143
62. Газоспасатель 2 класса	ВСР	4	8	7.24	29374
63. Газоспасатель 1 класса	ВСР	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:

$$T_{\text{эфф.раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пл.пот}}, \quad (4.8)$$

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

$$T_{\text{см.об}} = a * b, \quad (4.9)$$

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:

$$T_{\text{вых}} = T_{\text{кал}} / T_{\text{см.об}} * n, \quad (4.10)$$

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:

$$T_{\text{раб.см}} = t_{\text{см}} - t_{\text{вых}} \quad (4.11)$$

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.

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} * T_{\text{раб.см}} / t_{\text{см}}, \quad (4.12)$$

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

Находим количество персонала (производственного) работающего по-сменно:

$$\text{Няв} = \text{Ншт} * S, \quad (4.13)$$

где Няв – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек;

Ншт– штатное количество человек, работающих в смену, человек;

S– число смен,  $S = 4$ .

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

Списочная численность:

$$\text{Нсп} = \text{Няв} * K_{\text{пер}}, \quad (4.14)$$

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

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

где  $T_{\text{эфф.об.}} = 6900$

(см. таблицу 4.4);

Таблица 4.4 – 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:

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

### 4.3 Организация оплаты труда

В нефтегазодобывающем управлении 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 месторождении выплачивается надбавка в размере 75% взамен суточных.

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

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки.

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

Зарботная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{р.к.}} + D_{\text{сут}} + D_{\text{усл.тр}} \quad (4.15)$$

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

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

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

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

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

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

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

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} * T_{\text{фак}} * N, \quad (4.16)$$

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

$T_{\text{ст}} = 7,24$  руб.

$T_{\text{фак}} = 194$  ч. за смену;

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

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

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 * T_{\text{ст}} * T_{\text{ноч}} * N, \quad (4.17)$$

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

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

Доплата в праздничные дни:

$$D_{\text{празд}} = T_{\text{празд}} * T_{\text{ст}} * 2 * N; \quad (4.18)$$

Где  $T_{\text{празд}}$  – количество часов, отработанное в праздники, ч;

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

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

Премияльная ЗП:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} * \text{Прем} / 100 \% \quad (4.19)$$

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

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

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

Районный коэффициент:

$$D_{\text{р.к.}} = 0,5 (Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}}) \quad (4.20)$$

$$D_{\text{р.к.}} = 0,5 (14045,6 + 5618,24 + 3476,2 + 2809,12) = 12974,58 \text{ (руб.)}$$

Доплата взамен суточных:

$$D_{\text{сут}} = Z_{\text{тар}} * 75 : 100 \quad (4.21)$$

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

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$$D_{\text{усл.тр}} = Z_{\text{тар}} * 10 : 100, \quad (4.22)$$

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

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

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

$$\text{ЗП} = \text{Зосн} + \text{Здоп}, \quad (4.23)$$

Где Зосн – основная ЗП, руб.;

Здоп – дополнительная ЗП, руб.;

$$\text{Здоп} = \text{Зосн} * \text{К} / \text{Ткал}, \quad (4.24)$$

Где К – число законных невыходов, дней;

Ткал – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

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

Заработная плата 10 операторов технологических установок за 1 месяц составит:

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

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 4.5

Таблица 4.5 – Фонд заработной платы

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

#### 4.4 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений

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

В таблице 4.6 приведена структура основных фондов

Таблица 4.6 – 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 2018 года на примере производственного оборудования:

$$Ar = N_a * \Phi_{восст} / 100 \quad (4.25)$$

Где  $N_a$  – норма амортизационных отчислений, %.

Для производственного оборудования годовая  $N_a = 12$  %;

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

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

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

Сумма месячных амортизационных отчислений производственного оборудования составляет:

$$Ar_m = Ar : 12 \quad (4.26)$$

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

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

#### 4.5 Расчет себестоимости

Расчет себестоимости гексафторида урана при годовом производственном выпуске  $M_{пр} = 60000$  т приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – 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 Нгод (2 x $M_{пр}$ )	на т (столбец 1 x 2 или 5/ $M_{пр}$ )	на Нгод (4 x $M_{пр}$ )
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сырьё, материалы и катализаторы						
1.1.	тетрафторид урана	тн	1050	0,27	16200	283,5	$17010 \cdot 10^3$
1.2	окись урана	тн	600	0,97	58200	582,0	$34920 \cdot 10^3$
1.3	фтор	тн	836	1,57	94200	1312,5	$78750 \cdot 10^3$
Итого сырья, материалов							$130680 \cdot 10^3$
2	Энергоресурсы						
2.1	Электроэнергия	ткВтчас	0,540	1,60	96000	0,864	51840
2.2	Пар собственный	гКал	0,250	0,76	45600	0,1900	11400
2.3	фтор	$T \cdot m^3$	0,228	2,8	168000	0,6384	38304
2.4	Газ природный	$T \cdot m^3$	0,46	1,15	69000	0,5290	31740
2.5	Арт. вода	$T m^3$	0,18	0,95	57000	0,1710	10260
2.6	Сжатый воздух	$T m^3$	0,17	0,20	12000	0,034	2040
Итого энергоресурсов							145584
3	Зарплата основных рабочих	тыс. руб.				0,287	17220
3.1	Отчисления на социальные нужды основных рабочих	%	30			0,086	5166
Итого зарплата основных рабочих с отчислениями							22386
4	Общепроизводственные расходы						
4.1	Зарплата вспомогательных рабочих	тыс. руб.				0,468	28080
4.1.1	Отчисления на социальные	%	30			0,140	8424

	ные нужды вспомога- тельных рабочих						
4.2	Зарплата ИТР	тыс. руб.				0,464	27840
4.2.1	Отчисления на социаль- ные нужды ИТР	%	30			0,139	8352
4.3	ЗП младшего обслужи- вающего персонала	тыс. руб.				0,056	3360
4.3.1	Отчисления от ЗП МОП	тыс. руб.	30			0,016	1008
.4	Амортизация зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,259	15580
4.4.1	Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,139	8384
4.4.2	Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря	тыс. руб.				0,275	16506
4.5	Амортизационные от- числения от производ- ственного оборудования	тыс. руб.				0,308	18480
4.5.1	Текущий ремонт обору- дования	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 себестои- мость	тыс. руб.				2183,4	131007,9*10 <sup>3</sup>
7	Управленческие расхо- ды (5 % от цеховой се- бестоимости)	тыс. руб.				109,17	6550,4*10 <sup>3</sup>
8	II. Заводская себестои- мость(строка 6 + строка 7)	тыс. руб.				2292,6	137558,3*10 <sup>3</sup>
9	Коммерческие расходы (1 % от заводской себе- стоимости)	тыс. руб.				22,92	1375,5*10 <sup>3</sup>
10	III. Полная себестои- мость (строка 8 + строка 9)	тыс. руб.				2315,5	138933,8*10 <sup>3</sup>
11	Условно переменные издержки	тыс. руб.				2312,5	138751,4*10 <sup>3</sup>
12	Условно постоянные из- держки	тыс. руб.				3,04	182400,8

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объема производства. Из таблицы 4.7 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:

$$Ц = C * (1 + R / 100), \quad (4.27)$$

где  $C$  – себестоимость полная, руб.;

$R$  – рентабельность, 12 %.

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

#### 4.6 Расчет технико-экономических показателей

Рассчитаем выручку от реализации произведенной продукции по формуле:

$$В = Ц * N_{\text{год}} \quad (4.28)$$

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

$$В_1 = 2593,36 * 60000 = 155601,6 \cdot 10^3 \text{ тыс. руб.} = 155,6 \cdot 10^3 \text{ млн. руб.}$$

Расчет прибыли  $\Pi$  производим по формуле:

$$\Pi = В - И, \quad (4.29)$$

Где И – затраты (издержки = полной себестоимости).

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

Н – налоги:

Налог на прибыль 20%, тогда

$$Н = 0,20 * \Pi \quad (4.30)$$

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

Тогда чистая прибыль с учетом вычета налогов составит:

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

Рентабельность производства рассчитываем по формуле:

$$R_{\text{про-ва}} = (\Pi_{\text{чистая}} / \text{Себестоимость}) * 100 \% \quad (4.31)$$

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

Рентабельность продаж рассчитываем по формуле:

$$R_{\text{продаж}} = (\Pi_{\text{чистая}} / V_{\text{реализации}}) * 100 \% \quad (4.32)$$

$$V_{\text{реализации}} = N_{\text{год}} * \Pi_{\text{лм}}^3 \quad (4.33)$$

$$R_1 = 13334,3 * 10^3 / 155601,6 * 10^3 * 100 = 8,56 \%$$

Расчет фондоотдачи производства на год производим по формуле:

$$\Phi_0 = \Pi * N / \text{ОФ} \quad (4.34)$$

Стоимость основных фондов, составляет 416000 тыс. руб.

$$\Phi_{01} = 155601,6 * 10^3 / 416000 = 374 \text{ тыс. руб./тыс. руб.}$$

Расчет фондоемкости производства гексафторида урана производим по формуле:

$$\Phi_e = \text{ОФ} / V = \text{ОФ} / \Pi_{\text{опт.}} * N \quad (4.35)$$

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

Рассчитаем фондовооруженность.

$$\Phi_{в1} = \text{ОФ} / N_{\text{сп}} \quad (4.36)$$

$$\Phi_{в1} = 416000 / 41 = 10146,3 \text{ тыс. руб./чел.}$$

Производительность труда определяется по формуле:

$$\Pi_{\text{т}} = N_{\text{пр}} / N_{\text{сп}} \quad (4.37)$$

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

Нсп - среднесписочная численность работников.

$$\text{Пт}_1 = 60000 / 41 = 1463,41 \text{ т./чел.}$$

Безубыточный объем реализации:

$$Q_{кр} = K * Н / Дм \quad (4.38)$$

Где К – количество проданной продукции, т;

Н – постоянные затраты, руб.;

Дм – маржинальный доход, руб.;

$$Дм = В - Рп \quad (4.39)$$

где В – выручка, руб.;

Рп – переменные затраты, руб.

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

$$Дм_1 = 155601,6 * 10^3 - 138751,4 * 10^3 = 16850,2 * 10^3 \text{ тыс. руб.}$$

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

В денежном измерении точка безубыточного объема продаж равна:

$$Q_{ден1} = Q_{кр1} * Цпр \quad (4.40)$$

где Цпр – цена продаж за 1 м<sup>3</sup>;

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

Полученные показатели эффективности производства гексафторида урана сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	1 год	2 год
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 продажи (2*3)	тыс. руб.	$155601,6 * 10^3$	$178941,8 * 10^3$
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	$138933,8 * 10^3$	$159745 * 10^3$
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	$138751,4 * 10^3$	$159562,6 * 10^3$
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	182400,8	182400,8
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	$16667,8 * 10^3$	$19196,8 * 10^3$
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	$3333,5 * 10^3$	$3839,3 * 10^3$
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	$13334,3 * 10^3$	$15357,5 * 10^3$
9. Себестоимость 1 т.	тыс. руб.	2315,5	2315,0
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	416000	416000

11. Численность основных рабочих	чел.	41	41
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	10146,3	10146,3
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	374	430,1
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	2,67	2,32
15. Производительность труда (5/11)	т./чел.	1463,41	1682,9
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	9,0	10,8
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	8,0	9,2

#### 4.7 Расчет точки безубыточности

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

$$Q_{кр} = \frac{182400,8}{2593,36 - 2180,8} = 442,119 \text{ т}$$

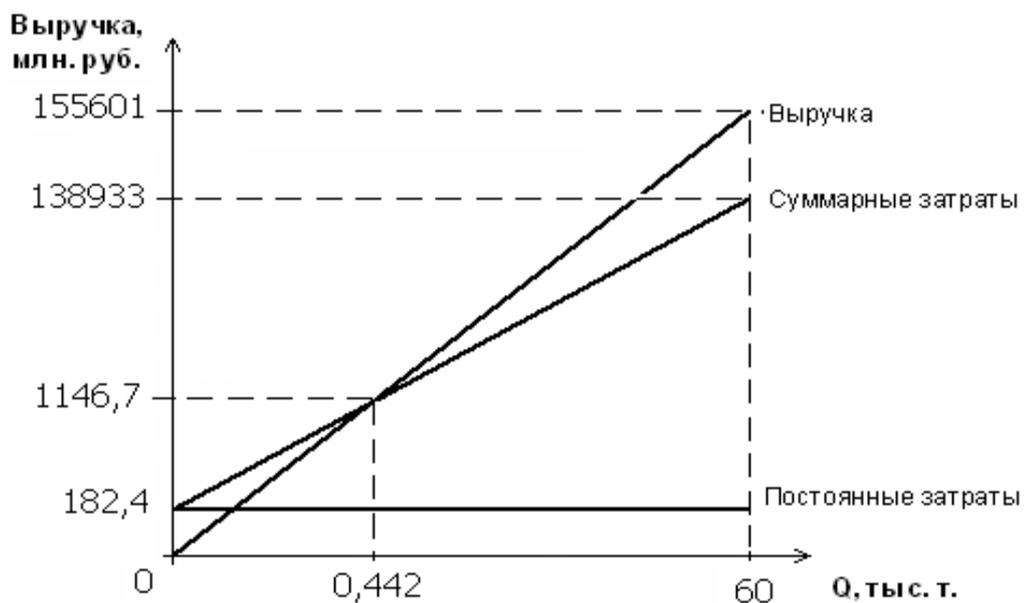


Рисунок 4.1 – Построение точки безубыточности

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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.

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Данная дипломная работа посвящена разработке установки получения гексафторида урана.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой 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:	Опасными факторами являются: -электрический ток (электрофильтры, пламенный реактор); - движущиеся части оборудования (шнек пламенного реактора, шнек аппарата комбинированного типа); -нагретые поверхности (пламенный реактор, АКТ, теплообменник). Острое отравление. Хроническое отравление. Вредными факторами являются: - ионизирующее излучение (установка в целом); - инфракрасное излучение (пламенный реактор); - микроклимат, отличающийся от норм (установка в целом); - химические вещества (установка в целом); - недостаточная освещенность (установка в целом). Токсическое действие фтора.

<ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>Действие на организм урана и его соединений. Токсическое действие фтороводорода.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Выделяющиеся газы, содержащие фтороводород, фтор и ГФУ. Решение по обеспечению экологической безопасности: - система газоочистки, состоящая из местной (цеховая) и общей (объектовая).</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Аварии и нарушения технологического режима; самовоспламенение горючих веществ при высоких температурах их нагрева внутренними и наружными источниками тепла, в результате химической реакции и т.д.; воспламенение; разрядов статического электричества. Меры по предотвращению ЧС: - правильная эксплуатация аппаратов и внутрицехового транспорта; - противопожарный инструктаж рабочих и служащих; соблюдение противопожарных правил, норм при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования. -запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ без оформления специального допуска;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования;</li> <li>- на случаи пожара предусматриваются пути эвакуации людей и материальных ценностей;</li> <li>- все сварочные работы проводятся с разрешения представителя пожарной охраны</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- защита от <math>\alpha</math>-излучения: защитная одежда (хлопчатобумажные комбинезоны, перчатки, шапочка и респиратор);</li> <li>- рабочий персонал обязан носить при себе индивидуальные дозиметры и проходить дозиметрический контроль в отделении санпропускника;</li> <li>- работы, связанные со вскрытием оборудования, проводятся с использованием местных вытяжных отсосов;</li> <li>- индивидуальная защита: изолирующие шланговые противогазы с подачей чистого воздуха, кислородные приборы;</li> <li>- места забора приточного воздуха должны находиться на достаточном расстоянии от мест производственных и вентиляционных выбросов;</li> <li>- вытяжка осуществляется из технологической зоны;</li> </ul>

### 5.1 Характеристика помещения

Согласно санитарным нормам СП 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий, минимальный допустимый объем производственных помещений на одного работающего человека должен быть не менее  $15 \text{ м}^3$ , при этом высота

производственных помещений должна быть не менее 3,2 м, а площадь не менее 4,5 м<sup>3</sup>.

Так как рассматриваемое производство сопровождается минимальным количеством выделения пыли, то его располагаем в двухэтажном здании. Профиль кровли, ширину и высоту этого здания следует выбрать таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективное и экономичное удаление вредных веществ естественным путем. Стены и потолки помещений должны иметь покрытия, которые легко поддаются мойке и чистке (нержавеющая сталь, пластикат, лакокрасочные материалы и др.). Используемое помещение соответствует всем вышеперечисленным требованиям.

### 5.1.1 Микроклимат

Микроклимат в производственных помещениях предприятия согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" должны соответствовать данным, приведенным в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах в помещениях предприятия для категорий работ Па

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19...21	18...22	40...60	0,2
Теплый	20...22	19...23	40...60	0,2

### 5.1.2 Система вентиляции

Задачей вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях.

Для эффективной работы вентиляции нужно, чтобы:

- 1) количество приточного воздуха соответствовало количеству удаляемого;

- 2) приточные и вытяжные системы в помещении были правильно размещены, т. е. свежий воздух необходимо подавать в те части помещений, где количество вредных веществ превышает допустимый предел;
- 3) система вентиляции не создавала шум на рабочих местах больше чем допустимый уровень звука (75 дБ А) согласно СанПиН 2.2.4.3359-16;
- 4) система вентиляции не вызывала переохлаждения или перегрева рабочего персонала;
- 5) система вентиляции была электро-, пожаро- и взрывобезопасной;

Для борьбы с загазованностью и запыленностью производственных помещений используют различные виды вентиляции. В большинстве случаев, для ответственных производств используется приточно-вытяжная вентиляция с кратностью воздухообмена не менее  $8 \text{ ч}^{-1}$ .

Независимо от фактической концентрации вредных веществ и наличия вентиляционных устройств, в каждом производственном помещении предусматривают специальные открывающиеся устройства в окнах.

Система вентиляции, используемая в помещении для извлечения фтороводорода, соответствует всем выше перечисленным требованиям.

Вентиляционная система выбирается по кратности воздухообмена. Кратность воздухообмена зависит от количества выделяющихся паров, газов, тепла, а также от предельно допустимой концентрации данного вещества в объеме помещения.

### **5.1.3 Освещение**

Рациональное производственное освещение должно обеспечивать психологический комфорт, предупреждать зрительную и общую утомляемость и профессиональные заболевания глаз человека.

В производственных помещениях в зависимости от источника света применяют следующие виды освещения: естественное, искусственное и совмещенное. Для данного помещения применяется совмещенное освещение, которое

должно создавать минимальную освещенность 200 лк согласно СНиП 23-05-95 для V-го разряда длительных работ (минимальный размер объекта различения от 1 до 5 мм).

Естественное освещение более благоприятно для зрения и более экономично, оно осуществляется через окна или световые фонари в кровле. Для искусственного освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы. Коэффициент естественного освещения – 06%.

Для общего освещения рабочих мест применяют люминесцентные лампы.

В производственных помещениях данного комплекса устраивается аварийное освещение на тот случай, если внезапно прекратится действие рабочего освещения. По своему назначению аварийное освещение разделяется на два вида: для эвакуации людей из помещения и для временного продолжения работ.

Аварийное освещение для эвакуации людей должно обеспечивать освещенность на полу по линии основных проходов не менее 0,5 лк.

Аварийное освещение для продолжения работы делается для того, чтобы из-за наступившей темноты, не произошли ошибочные действия обслуживающего персонала, вызывающие нарушение технологического процесса, возможность взрывов, пожаров, несчастных случаев. Аварийное освещение должно обеспечивать на рабочих поверхностях освещенность не менее 5 % от рабочего.

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

Установка получения и улавливания ГФУ является источником опасных и вредных факторов.

Опасными факторами являются:

- электрический ток (электрофильтры, пламенный реактор);
- движущиеся части оборудования (шнек пламенного реактора, шнек аппарата комбинированного типа);

- нагретые поверхности (пламенный реактор, АКТ, теплообменник).

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.

Движущиеся и вращающиеся части оборудования несут опасность физического контакта с организмом человека, поэтому они снабжены защитными кожухами.

Вредными факторами являются:

- ионизирующее излучение (установка в целом);
- инфракрасное излучение (пламенный реактор);
- микроклимат, отличающийся от норм (установка в целом);
- химические вещества (установка в целом);
- недостаточная освещенность (установка в целом).

В установке получения гексафторида урана используется природный уран, который является источником  $\alpha$  – 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 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

В качестве мероприятий по защите от  $\alpha$ -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.

*Токсическое действие фтора.* Раздражающие свойства фтора в несколько раз сильнее, чем у фтороводорода. Резорбтивное действие объясняют возможностью фтора вступать в свободно радикальные реакции с тканями организма. Длительное воздействие опаснее, чем увеличение концентрации.

Предельно допустимая концентрация, при 8-и часовом воздействии 0,15-0,2 мг/м<sup>3</sup>, второй класс опасности (высокоопасные вещества). При воздействии в течение 60 мин допускается 1,55 мг/м<sup>3</sup> и вдвое более высокая при эксплуатации 30 мин.

Действие на кожу и глаза. Соприкосновение кожи с газами фтора вызывает термический ожог 2 степени; воздействие 0,15-0,30 мг/л приводит к раздражению открытых участков кожи.

Накопление в организме и выделение. При внутреннем введении фтора его не находили в почках, печени и щитовидной железе. В хронических опытах отложение фтора в зубах и костях увеличивается с увеличением длительности отравления. Выделение фтора с мочой спорно.

Индивидуальная защита. Изолирующие шланговые противогазы с подачей чистого воздуха. Кислородные приборы. Спецдежда 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.

*Токсическое действие фтороводорода.* Наибольшей токсичностью обладает фтороводород при попадании в пищеварительный тракт, так как он имеет очень высокую растворимость.

При отравлении фтороводородом пострадавшего необходимо немедленно вывести на свежий воздух, освободить от стесняющей дыхание одежды, при затрудненном дыхании применить ингаляцию кислородом и доставить в медицинский пункт. Промывание глаз, носа и полоскание рта рекомендуется 2 % -ным раствором бикарбоната натрия.

Производство фтороводорода из флюоритового концентрата по степени вредности относится к первому классу санитарной классификации по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. При работе с фтороводородом в производственных условиях необходимо стремиться к максимальной механизации и автоматизации технологического процесса, устройству эффективной общеобменной и вытяжной вентиляции. При проектировании цехов по производству фтороводорода обычно предусматривается трехзональная планировка производственных помещений, при которой основной объем приточного воздуха поступает в наиболее

чистую третью зону, где расположена операторская служба, и далее в ремонтную зону. Места забора приточного воздуха должны находиться на достаточном расстоянии от мест производственных и вентиляционных выбросов. Вытяжка осуществляется из технологической зоны, где находится основное оборудование.

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 использую тпротивопыльный 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 возможного выброса. Особое внимание следует обращать на выбор конструкционных материалов и средств контроля технологического процесса. После работы в данном производственном помещении необходимо принять душ.

Для обеспечения безопасности работы при извлечении фтороводорода должны соблюдаться следующие требования:

- процесс извлечения необходимо вести так, чтобы обеспечивалось минимальное содержание паров фтороводорода и пыли соединений фтороводорода в воздухе;
- при запыленности и загазованности помещений, превышающих санитарные нормы, вся находящиеся в цехе обязаны пользоваться респираторами или противогазами;
- работы внутри аппаратов рабочие должны проводить в очках, резиновых сапогах, резиновом костюме, перчатках и в шланговом противогазе при обязательном соблюдении правил, установленных для производства работ внутри емкостей и аппаратов;

- рабочие всех специальностей, занятых в производстве, должны работать в исправной чистой спецодежде, стирка которой производится в соответствии с установленным графиком.

*Действие на организм урана и его соединений.* Уран и его соединения имеют 1 класс опасности (чрезвычайно опасные вещества). ПДК для растворимых соединений урана 0,015 мг/м<sup>3</sup>; для нерастворимых – 0,075 мг/м<sup>3</sup>.

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 дисперсностью, а также от путей поступления их в организм. Основные патологические явления связаны с поражением почек.

*Острое отравление.* При воздействии UF<sub>6</sub> отмечаются поражения дыхательных путей и почек. В острых случаях отек легких, ожоги кожи, альбуминурия, 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 – кишечный 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 выведение урана из организма применяют пентацин, пентафацин и фосфицин.

### 5.3 Электробезопасность

Для предотвращения случайного поражения персонала электрическим током необходимо применение заземления токоприемников, а также основных защитных средств: диэлектрических перчаток, указателей напряжения, изолирующих штанг; дополнительных защитных средств: диэлектрических галош, ковриков и изолирующих подставок.

Выполнение всех пунктов правил техники безопасности обеспечивает безаварийную работу всего персонал

#### *Расчет защитного заземления:*

На практике были получены хорошие результаты при применении трубчатого заземлителя  $l=2,5$  м,  $d=6 \cdot 10^{-2}$  м, глубина заложения  $t=0,8$  м для меньшего влияния температурного колебания верхних слоев Земли на сопротивление. Расстояние между электродами 2,5м.

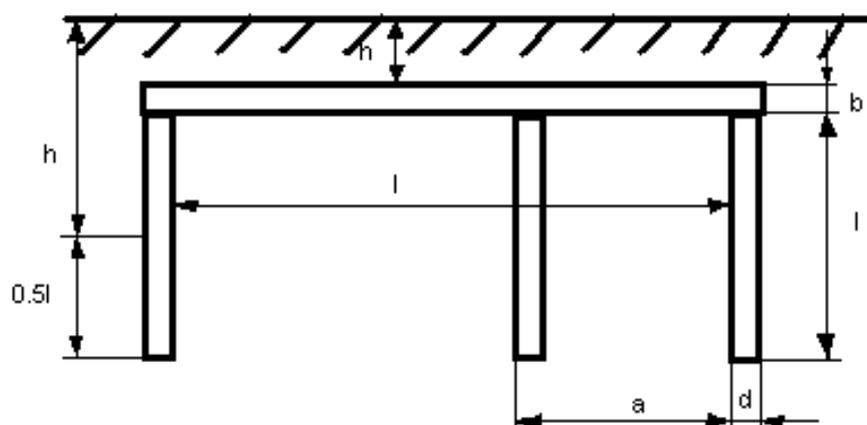


Рисунок 5.1 – Схема заземления

Согласно методике сопротивление одиночного трубчатого заземлителя, вертикально установленного в землю, определяется по формуле

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366}{l} \rho \cdot \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом • м;

$l$  – длина заземлителя, м;

$d$  – диаметр трубы, м;

$t$  – глубин заложения трубы от поверхности Земли до середины трубы, м.

Получим

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366 \cdot 4 \cdot 10^3}{250} \left( \lg \frac{2 \cdot 250}{6} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 80 + 250}{4 \cdot 80 - 250} \right);$$

$$r_{\text{тр}} = 13,8 \text{ Ом.}$$

Если сопротивление одиночного заземлителя будет превышать нормируемое значение, вместо одиночного, применяют группу из нескольких параллельно соединенных заземлителей, расположенных на расстоянии 2 – 5 м друг от друга.

Количество заземлителей определяют по формуле  $n = \frac{r_{\text{мп}}}{r_3 \eta_{\text{мп}}}$ ,

где  $r_3 = 4$  Ом – сопротивление заземляющего устройства по нормам, так как данная сеть с глухозаземленной нейтралью источника питания при фазном напряжении 220 В;

$n_{\text{тр}} = 0,65$  – коэффициент использования трубчатых заземлителей.

$$n = \frac{13,8}{4 \cdot 0,65} = 5,3,$$

Окончательно принимаем  $n = 6$ .

Параллельное соединение заземлителей осуществляется стальными полосами прямоугольного сечения, которые, находясь в земле, в тоже время сами являются заземлителями. Сопротивление соединительных полос определяется по следующей эмпирической формуле

$$r_n = \frac{\rho}{2\pi l_0} \cdot \ln \frac{2l_0^2}{t \cdot b} ,$$

где  $l_0 = a \cdot (n - 1) = 2,5 \cdot 5 = 12,5\text{ м}$  – суммарная длина полос,

$b = 40 \cdot 10^{-3}$  м – ширина полосы.

$$r_n = \frac{4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000} \cdot \ln \frac{2 \cdot 1250^2}{80 \cdot 4} = 60\text{ м}.$$

Тогда сопротивление прямоугольного контурного заземления состоящего из труб и соединительных полос определяется по формуле

$$r_k = \frac{r_{mp} \cdot r_n}{r_{mp} \cdot \eta_n + r_n \cdot \eta_{mp} \cdot n} ;$$

$\eta_n$  - коэффициент использования полосы.

$$r_k = \frac{12,1 \cdot 6}{12,1 \cdot 0,48 + 6 \cdot 6 \cdot 0,65} = 2,50\text{ м}.$$

Так как  $r_k < r_3$ , то требования электробезопасности выполняются.

## 5.4 Безопасность в ЧС

Производственное помещение установки получения ГФУ относится в соответствии с НПБ 105 – 03 к категории В (пожароопасное), так как присутствуют в обращении горючие и трудно горючие вещества и материалы. По ПУЭ помещение относится к классу П-Па –пожароопасное .

Причинами загорания в помещении категории В могут быть: аварии и нарушения технологического режима; самовоспламенение горючих веществ при высоких температурах их нагрева внутренними и наружными источниками тепла, в результате химической реакции и т.д.; воспламенение – в результате действия открытого огня, разрядов статического электричества.

Мероприятия по предупреждению пожаров взрывов классифицируется на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию аппаратов и внутрицехового транспорта, противопожарный инструктаж рабочих и служащих.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные предприятия – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ без оформления специального допуска.

Эксплуатационные мероприятия - это своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

На предприятиях химической промышленности организованы пожарные части. На эти части возлагается проведение мероприятий по предупреждению пожаров, а также тушению возникающих пожаров и загораний.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители типа ОП – 5, ОП – 10 и углекислотные типа ОУ – 8. Дополнительно предусмотрен пожарный кран с расходом воды  $Q = 20$  л/с. Краны устанавливаются во всех помещениях независимо от их категории и группы.

На случаи пожара предусматриваются пути эвакуации людей и материальных ценностей.

Все сварочные работы проводятся с разрешения представителя пожарной охраны.

Все перечисленные мероприятия обеспечивают необходимую безопасность обслуживающего персонала и сохранность оборудования и материалов.

## **5.5 Экологическая безопасность**

В технологии получения ГФУ основную опасность для атмосферы несут выделяющиеся газы, содержащие фтороводород, фтор и ГФУ, находящийся в ничтожно малом количестве.

Газы выходящие в атмосферу не наносят вреда окружающей среде, так как уровень содержания вредных веществ в выбросах ниже уровня ПДВ.

Для избежания попадания в атмосферу этих веществ на предприятии имеется система газоочистки, состоящая из местной (цеховая) и общей (объектовая). В системе газоочистки применяется следующее оборудование: электрофильтры, циклоны, абсорберы, фильтры ФПП и скрубберы.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 предприятие, на котором производят гексафторид урана, относится к первому классу санитарной классификации производств (санитарно-защитная зона – 1000м). Предприятие разделено на функциональные зоны: предзаводская, производственная, подсобная, складская, сырьевая, товарных емкостей, что повышает безопасность как производственную, так и экологическую.

## ВЫВОД

- 1 Проведен обзор по свойствам и методам получения гексафторида урана.
- 2 Разработана аппаратурно-технологическая схема процесса получения природного гексафторида урана.
- 3 Проведен подбор вспомогательного оборудования и контрольно-измерительных приборов.
- 4 Проведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчеты десублиматора. В результате этих расчетов десублиматор имеет поверхность теплопередачи процесса десублимации  $55\text{м}^2$ , внутренний объем аппарата  $2\text{м}^3$ .
- 5 Разработана технология изготовления вала насоса для вакуумирования оборудования и трубопроводов.
- 6 Разработаны мероприятия по охране труда и технике безопасности.
- 7 Проведены экономические расчеты по организации планового предупредительного ремонта. Из расчетов видно, что для обеспечения нормального графика ППР установки получения природного гексафторида урана необходима бригада ремонтных рабочих в количестве 30 человек, из них: 27 слесарей, 2 станочника и 1 прочий

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. . Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1981. - 560с,
2. ГОСТ 52857.1 - 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
3. ГОСТ 52857. 4 - 2007. Расчет фланцевых соединений.
4. ГОСТ 52857.2 - 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
5. Беляев В.М., Миронов В.М - Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли Часть 1 – 2.
5. Касаткин АХ. Основные процессы и аппараты химической технологии Изд. «Химия», М., 1971
6. Лашинский А.А. - Конструирование сварных химических аппаратов. - Л.: Машиностроение, 1981 г. -380с.
7. Михалёв М. Ф. Расчёт и конструирование машин и аппаратов химических производств. - Л.: Машиностроение, 1984 г. - 301с.
8. Пищулин В.П.. Расчет кожухотрубчатого теплообменника / Руководство для студентов. - Томск: Отделение № 1 ТПУ, 1992. - 64с,
9. Плановский А.И., Николаев П.И.. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1972. - 492с.
- 10.ГОСТ 12.1.019 – 79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 11.ГОСТ 12.1.003 – 83. Шум. Общие требования безопасности.
- 12.ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.