

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

Институт электронного обучения

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

Кафедра ОХХТ

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка реактора с пневматическим перемешиванием

УДК 621.039.5:621.929-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Зубарев Виктор Васильевич		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина А.А.	к.х.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чулков Н.А.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	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)
<b><i>Общекультурные компетенции</i></b>		
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 (специальность) Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии  
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Тихонов В.В.

(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-2К11	Зубареву Виктору Васильевичу

Тема работы:

Разработка реактора с пневматическим перемешиванием	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<u>25.04.2016г. № 3106/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Аппаратурно-технологическая схема установки переработки природного урана для растворения концентратов урана, обогащенных нуклидом урана <sup>235</sup> до 1,0 % масс.</p> <p>Концентраты урана – оксиды урана (диоксид урана, октооксид триурана, трехоксид урана). Производительность по урану 1000 кг/ч.</p> <p>Установка не является ядерно-опасной, так как перерабатывается уран с содержанием изотопа уран <sup>235</sup> менее 1,0 % мас.</p> <p>Режим работы установки растворения – комбинированный.</p> <p>Конечный продукт – раствор уранилнитрата. Концентрация урана в растворе 300 г/л, избыток свободной азотной кислоты – 80 г/л.</p>
<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>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Введение: значения технологии производства переработки природного урана для промышленности и населения, объём рынка.</li><li>2) Краткие физико-химические основы технологии переработки природного урана.</li><li>3) Физико-химические основы технологии приготовления раствора уранилнитрата, классификация добавок, его концентраты и назначение.</li><li>4) Аппаратурно-технологическая схема производства раствора уранилнитрата.</li><li>5) Расчет реактора и выносных элементов оборудования.</li><li>6) Вопросы социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов.</li><li>7) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li><li>8) Заключение (выводы).</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1)Аппаратурно-технологическая схема установки переработки природного урана (1-2 листа А1) 2)Чертежи общего вида реактора с пневматическим перемешиванием и выносных элементов (1-2 листов А1)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат химических наук Сечина А. А.
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ, кандидат технических наук Чулков Н.А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Реферат</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Зубарев Виктор Васильевич		

## АНОТАЦИЯ

Данная бакалаврская работа посвящена разработке технологического процесса реактора с пневматическим перемешиванием.

Проведен аналитический обзор литературы по данной тематике. Дан анализ физико-механических характеристик веществ, участвующих в технологическом процессе.

Разработана аппаратурно-технологическая схема установки растворения оксидов урана.

В достаточном объеме выполнены расчеты реактора растворения с пневматическим перемешиванием.

Рассмотрены вопросы социальной ответственности и экологического аспекта данной бакалаврской работы.

Произведен расчет производственной мощности и сформулирован вывод степени загрузки производственной мощности.

Сделаны выводы по проделанной работе.

## **Anmerkung**

Diese Bachelorarbeit ist auf die Entwicklung des technologischen Prozesses des Reaktors mit Luftbewegung gewidmet.

Eine analytische Überprüfung der Literatur zu diesem Thema. Die Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften der am Prozess beteiligten Stoffe.

Ein Hardware-technologische Schema der Installation der Auflösung von Uranoxid.

In ausreichenden Mengen, Berechnungen Auflösung Reaktor mit pneumatischen Mischen.

Die Fragen der sozialen Verantwortung und Umweltaspekte dieser Bachelorarbeit.

Die Berechnung der Produktionskapazität und eine Schlussfolgerung Kapazitätsauslastung zu formulieren.

Die Schlussfolgerungen über die Arbeit getan.

# Содержание

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1 Оксиды урана и их характеристики	11
1.2 Технологическая характеристика оксидов урана	12
1.3 Аффинаж природного урана	13
1.4 Стадия растворения оксидов урана при его аффинаже	15
1.5 Способы перемешивания	16
1.5.1 Механическое перемешивание	16
1.5.2 Пневматическое перемешивание	20
1.5.3 Пульсационное перемешивание	24
1.5.4 Струйное смешение	25
2. АППАРАТУРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО УРАНА	28
2.1 Общие сведения	28
2.2 Описание аппаратурно-технологической схемы	28
3. РАСЧЁТ ОБОРУДОВАНИЯ	31
3.1 Данные для расчета	31
3.1.2 Технологический режим растворения	31
3.1.3 Технологический расчет	33
3.1.3 Материальный расчет	33
3.1.4 Тепловой расчет аппарата	36
3.1.6 Конструктивный расчет	49
3.1.7 Прочностной расчет	52
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	73
4.1 Характеристика технологического процесса	73
4.2 Производственная безопасность	74
4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	74
4.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния	75
4.3.1. Состояние воздушной среды	75
4.4 Радиационная безопасность	76
4.5. Освещенность	78
4.6. Шумы	80
4.7. Электробезопасность	81
4.8. Экологическая безопасность	83
4.9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
4.9.1. Пожаровзрывобезопасность	86
4.9.2. Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях	87
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	90
5.1. Потенциальные потребители	90
5.2. SWOT-анализ	90
5.3. Анализ эффективности действующего производства	96
5.4. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству	96
5.5. Расчет годовой потребности в сырье и материалах	101
5.6. Расчет потребности электроэнергии	102
5.7. Расчет амортизационных отчислений	102
5.8. Расчет себестоимости готовой продукции	104
5.9. Определение технико-экономических показателей	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108

## ВВЕДЕНИЕ

Уран, в течение всего XIX и первой половины XX века почти не привлекавший к себе внимание ученых, в последнее время приобрел исключительно важное значение в связи с проблемой получения и использования атомной энергии. Использование урана в атомной энергетике основано на его специфических свойствах – радиоактивном распаде и способности расщепляться под действием нейтронов с выделением большого количества энергии.

Природный уран представляет собой смесь трех изотопов:  $U^{234}$ ,  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ . Относительное содержание этих изотопов в природном уране составляет:

$$U^{234} - 0,0057\%, U^{235} - 0,7204\%, U^{238} - 99,2739\%.$$

Из этих изотопов лишь  $U^{235}$  является ядерным топливом. В природной смеси, где много  $U^{238}$  и мало  $U^{235}$ , количество выделяемых нейтронов мало, и цепная реакция не всегда возможна. Увеличение мощности потока нейтронов достигают обогащением смеси легким изотопом  $U^{235}$ . Для этого разработано несколько эффективных способов.

В качестве ядерного горючего необходимы соединения урана ядерной чистоты, что достигается операцией аффинажа. В результате аффинажа уран получают в виде одного из таких соединений, как уранилнитрат, диуранат аммония, пероксид урана, уранилтрикарбонат аммония.

На АО «СХК» существует технология переработки природного урана в гексафторид урана энергетической кондиции. Одним из этапов этой переработки является экстракционный аффинаж раствора уранилнитрата, полученного путем растворения концентрата оксидов урана сложного состава, поступающего с горно-обогатительных фабрик, в азотной кислоте.

# 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Оксиды урана и их характеристики

Оксиды урана  $UO_3$ ,  $UO_2$  и  $U_3O_8$  – важнейшие промежуточные продукты уранового производства при получении фторидов урана и металлического урана.[1]

Система «уран – кислород» представляет собой одну из самых сложных двойных систем. Наиболее используемые в производстве – диоксид  $UO_2$ , октооксида триурана  $U_3O_8$ , эти оксиды известны уже более ста лет.

Диоксид урана не реагирует с водой и ее парами до  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , нерастворим в соляной кислоте, но растворим в азотной кислоте, царской водке и смеси  $HNO_3$  и  $HF$ . При растворении в азотной кислоте происходит образование уранил-ионов  $UO_2^{2+}$ . Известен один кристаллогидрат диоксида урана  $UO_2 \cdot 2H_2O$  – черный осадок, выпадающий при гидролизе растворов урана (IV). Диоксид урана входит в состав уранового минерала уранинита.

Октооксид триурана образуется при окислении на воздухе диоксида урана и при прокаливании на воздухе до красного каления ( $650\text{--}900^\circ\text{C}$ ) любого оксида урана, гидрата оксида или соли урана и летучего основания или кислоты.

Оксид  $U_3O_8$  рассматривают иногда как  $UO_2 \cdot 2UO_3$  на основании того, что при растворении его в растворе присутствуют  $U^{4+}$  и  $2UO_2^{2+}$ . Однако доказано, что все атомы урана в  $U_3O_8$  структурно эквивалентны и несут равный средний положительный заряд  $2\frac{2}{3}$ .

Октооксид триурана не растворим в воде и разбавленных кислотах, но медленно растворяется в концентрированных минеральных кислотах с образованием смеси солей урана и уранила. В  $HCl$  и  $H_2SO_4$  образуется смесь урана в степенях окисления четыре и шесть, а в  $HNO_3$  – только уранил-ион. При неполном растворении  $U_3O_8$  в серной кислоте образуется  $U_2O_5$ , который не получается при восстановлении оксидов урана водородом при нагревании. Закись-окись имеет гидрат  $U_3O_8 \cdot x H_2O$ , который не кристаллизуется и очень

легко окисляется до гидрата триоксида урана. Значение триоксида велико и потому, что он входит в состав смоляной руды – настурана.

## **1.2 Технологическая характеристика оксидов урана**

Оксиды урана имеют весьма важное значение в технологии производства ядерного горючего. В некоторых типах гетерогенных ядерных реакторов основой тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) является диоксид урана, который обладает высокой коррозионной и радиационной устойчивостью. Его огнеупорность дает возможность получать в ядерных реакторах очень высокие температуры и увеличивать тем самым коэффициент полезного действия. Кроме того, совместимость диоксида урана с различными материалами оболочки ТВЭЛа и его высокая плотность также характеризуют этот вид ядерного горючего с положительной стороны.

Еще большее значение оксиды урана имеют как промежуточные [5] продукты при производстве других соединений урана и главным образом фторидов. Кроме того, оксиды урана и его другие устойчивые соединения могут быть использованы для целей хранения урана и послужить промежуточным звеном между урановорудным, аффинажно-металлургическим и фторидными производствами.

В связи с указанными выше областями применения оксидов урана к ним предъявляются совершенно определенные требования. Необходимо, чтобы оксиды урана были кондиционными по содержанию примесей. В том случае, если имеется в виду самостоятельное применение оксидов урана в гомогенных или гетерогенных ядерных реакторах, содержание примесей в них должно быть весьма малым, соответствующим требованию ядерной чистоты продуктов.

Если же оксиды урана являются промежуточными продуктами в производстве, например, фторидов урана, содержание примесей в них определяется целым рядом различных факторов.

Если же оксиды урана служат промежуточным звеном от уранового производства к аффинажно-металлургическому, по содержанию примесей

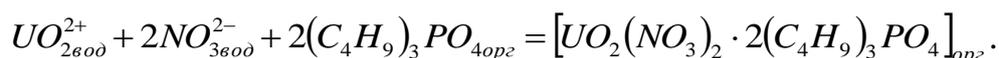
они должны удовлетворять условиям на технические продукты.

### 1.3 Аффинаж природного урана

В урановой технологии наиболее эффективным методом получения ядерночистых соединений урана является экстракционный аффинаж, аппаратурно-технологическая схема которого приведена на рис.1.1[3]. Технологический процесс начинается с растворения оксидов природного урана  $U_3O_8$  в азотной кислоте концентрацией 40 – 60% при температуре 60 – 80 °С в каскаде из двух аппаратов – агитаторов при непрерывном процессе или в одном аппарате при периодическом:



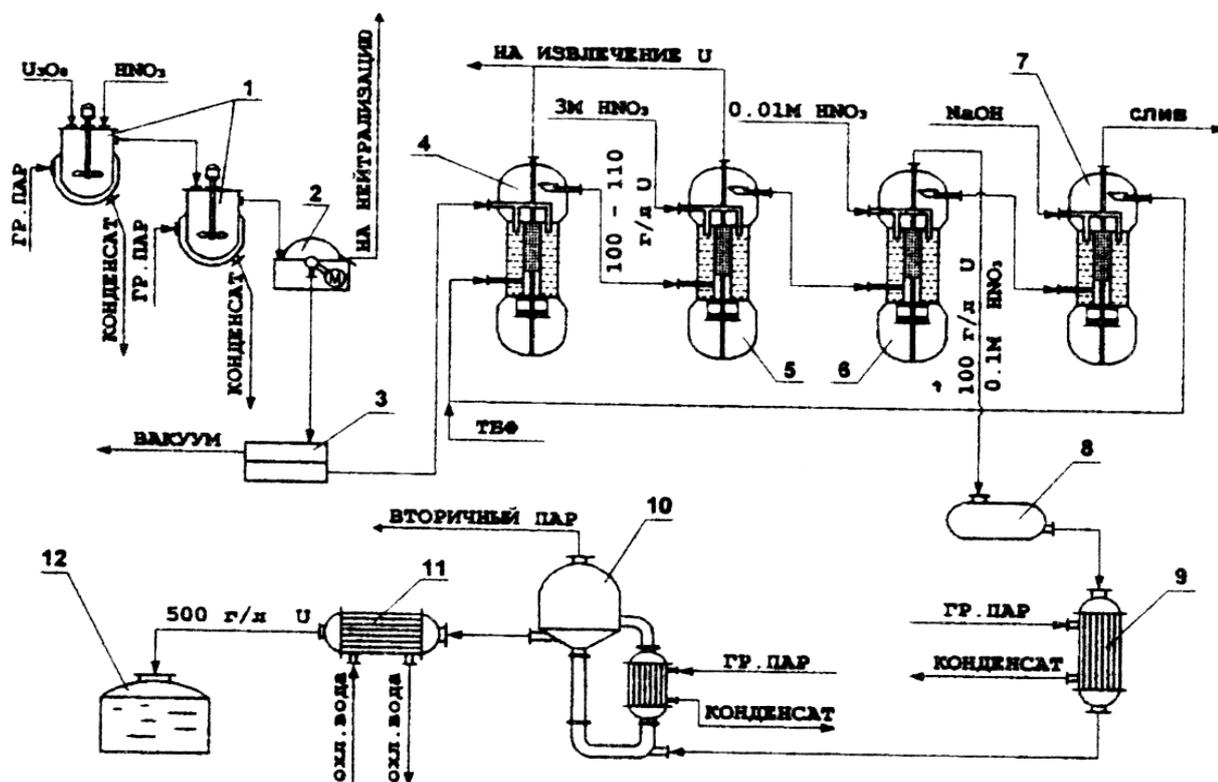
Полученный раствор  $UO_2(NO_3)_2$  после отделения нерастворившейся твёрдой фазы на барабанном вакуум – фильтре или центрифуге, поступает на экстракционный аффинаж. В качестве экстрагента применяется раствор трибутилфосфата в керосине или других углеводородных растворителях. Экстрагирование происходит по уравнению:



После экстрагирования урансодержащий органический раствор поступает в нижнюю часть промывной колонны. В верхнюю часть колонны подается слабокислый раствор  $HNO_3$ . Органический раствор, выходящий из промывной колонны направляется в нижнюю часть реэкстракционной колонны. В верхнюю часть этой колонны подается слабокислый раствор  $HNO_3$ , возможно применение деминерализованной воды. Поскольку повышение температуры благоприятствует реэкстракции, водный раствор предварительно нагревается до 60 – 70°С. Органическая фаза после реэкстракции промывается водным раствором соды для удаления

бутилфосфорных кислот и после промывки водой возвращается на экстракцию.

Рис. 1.1 – Аппаратурно-технологическая схема аффинажа природного урана



1-агитатор; 2-барабанный вакуум-фильтр; 3-делитель фаз; 4-экстракционная колонна; 5-промывная колонна; 6-реэкстракционная колонна; 7-регенерационная колонна; 8-накопитель; 9-теплообменник; 10-выпарной аппарат; 11-холодильник; 12-сборник

Водная фаза, выходящая из нижней части реэкстракционной колонны, пропускается через вспомогательную емкость-накопитель, где окончательно отделяются небольшие количества захваченного экстрагента. После этого готовый раствор поступает на выпаривание и получение триоксида урана путем термического разложения. Полученный триоксид уран перерабатывают в гексафторид через диоксид и тетрафторид урана. Конечный продукт должен удовлетворять требованиям ядерной чистоты.

Рассмотрим более подробно осуществление растворения концентрата природного урана и разделение неоднородных сред, а также применяемое оборудование.

#### **1.4 Стадия растворения оксидов урана при его аффинаже**

Первой стадией химической переработки урансодержащего сырья является процесс, который состоит в переводе одного или нескольких компонентов из массы твёрдого рудного материала, находящегося в виде тонкоразмолотых частиц, в жидкий растворитель, в качестве которого в урановой технологии используются водные растворы минеральных кислот или соды. Извлечение растворимой составной части твёрдого материала водными растворами называют выщелачиванием [ 5 ].

Выщелачивание складывается из двух последовательных операций: химического действия растворителя на соединения компонентов (уран и ряд примесей) в твёрдом материале с образованием растворимых соединений и последующего растворения образовавшихся соединений в растворителе. Если руда содержит легко растворимые минералы, выщелачивание является процессом непосредственного перехода этих соединений в раствор. Эти процессы происходят с образованием пульпы - смеси твёрдого материала и растворителя.

Различные условия и способы выщелачивания по-разному влияют на скорость и степень выщелачивания.

Выщелачивание урансодержащих материалов проводят при интенсивном перемешивании твёрдого материала с растворителем. Различают два способа проведения процесса – периодический и непрерывный. В первом случае в реакторы периодически закачивают пульпу измельченного твёрдого материала и растворитель. После определенного времени контакта в условиях интенсивного перемешивания содержимое реактора откачивают в сборник, а в реактор подают новые порции пульпы и растворителя, и весь процесс повторяется. Из сборника пульпу направляют на дальнейшую обработку. При непрерывном выщелачивании пульпа

твёрдого материала и растворитель прямотоком проходят через ряд реакторов, соединённых последовательно, перемешиваясь в каждом из них. При этом пульпа обычно движется по каскаду от верхнего реактора к нижнему, имея определённое среднее время пребывания в каждом из них. Каскады, как правило, состоят из 2 – 8 аппаратов, и, кроме того, для обеспечения бесперебойной работы всего каскада имеется несколько резервных реакторов. Удобно устанавливать аппараты в два ряда по три реактора в ряд. Каждый реактор соединяют переливными патрубками с тремя соседними, что позволяет отключить любой из аппаратов, не нарушая работы всего каскада в целом.

При непрерывном проведении процесса растворения оборудование используется более эффективно, так как отсутствуют промежуточные операции заполнения и опорожнения реакторов, и, кроме того, снижаются эксплуатационные расходы и облегчается возможность автоматизации процесса.

Стоимость процесса выщелачивания во многом зависит от расхода энергии на перемешивание, который в свою очередь определяется выбранным способом перемешивания, а также плотностью и вязкостью пульпы.

## **1.5 Способы перемешивания**

### **1.5.1 Механическое перемешивание**

Перемешивание используется в технологии урана для ускорения процесса увеличения поверхности контакта фаз, а также выравниванием концентраций или температур.

Изучение перемешивания представляет собой одну из наиболее трудных гидродинамических задач, которая осложняется многообразием токов жидкости, возникающих при этом в аппарате (рис.1.2) [3].

Анализ работы перемещающих устройств, применительно к задачам технологии урана осложняется наличием дополнительных процессов, происходящих при перемешивании: растворением вещества, изменение

фазового состава системы, теплообменом и т. д. В связи с этим решение вопроса об эффективности перемешивания должно быть непосредственно связано с анализом конкретных процессов, при осуществлении которых оно применяется.

В настоящее время в технологии урана чаще всего используют два основных способа перемешивания – механический и пневматический (воздушный). Однако в ряде случаев высокой эффективности перемешивания добиваются также использованием энергии свободной струи жидкости (струйное смешение) или ультразвука.

Основными факторами, характеризующими работу механических перемешивающих устройств, являются потребляемая мощность, эффективность и скорость перемешивания.

Процесс движения жидкости при перемешивании механическими мешалками очень сложен, поэтому он пока ещё недостаточно изучен. Лишь в последнее время удалось перейти от эмпирического метода расчёта мешалок к общим закономерностям и уравнениям, достаточно правильно характеризующим их работу.

Из всего многообразия механических мешалок наиболее распространены лопастные, пропеллерные, якорные и турбинные. Для перемешивания жидкостей в урановой технологии чаще всего используют пропеллерные или турбинные мешалки. Если возникает необходимость в обеспечении непрерывного удаления осадка со стенок аппарата, то используют якорные мешалки.

Наиболее интенсивное перемешивание обеспечивают пропеллерные мешалки, лопасти которых представляют собой геометрический элемент винта.

В урановой промышленности широкое распространение получили турбинные мешалки, так как они обеспечивают эффективное перемешивание вязких жидкостей и пульп, содержащих значительное количество твердой фракции.

Турбинная мешалка имеет вид центробежного колеса с лопатками, укрепленного на вертикальном валу. Жидкость засасывается при вращении мешалки в ее центральное отверстие, проталкивается центробежной силой от центра колеса к периферии и выбрасывается из нее в различных направлениях. При этом происходит интенсивное перемешивание всего объема жидкости.

Основной недостаток механических мешалок заключается в том, что механизм находится внутри аппарата, подвергается коррозионному воздействию реагентов и для проведения профилактических осмотров и ремонтов, приходится останавливать реактор, то есть прерывать процесс. Для обеспечения непрерывного процесса устанавливают дублирующие аппараты, что приводит к дополнительным затратам и усложняет автоматизацию процесса.

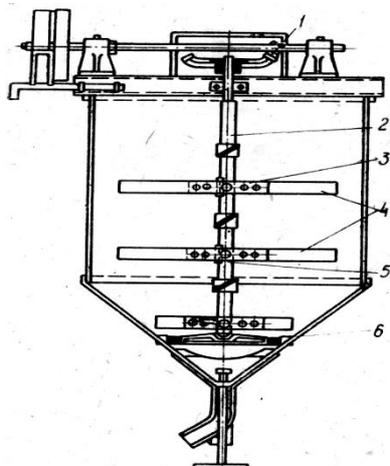
Кроме того, механическое устройство вводится внутрь реактора через сальники, не герметичность которых приводит к утечкам реагентов и продуктов.

В последнее время получили распространение магнитные муфты, с помощью которых достигается полная герметичность зоны растворения реактора. Применение этих муфт позволяет значительно расширить область использования аппаратов с механическим перемешиванием.

В аппаратах для растворения с механическим перемешиванием в урановой промышленности чаще всего используются пропеллерные или турбинные мешалки из устойчивого против коррозии материала.

Материал аппарата и перемешивающего устройства выбирают в зависимости от коррозионных свойств жидкости и абразивности твердых частиц пульпы. Корпус реактора обычно имеет цилиндрическую форму, а днище – коническую.

Рис.1.2 – Реактор с лопастной мешалкой



1-привод; 2-вал; 3 – накладка; 4 – лопасть; 5 – шпонка; 6 – подпятник

На урановых заводах часто применяют аппараты, построенные по типу контактного чана. Подобные аппараты выполняются с двумя сливными отверстиями: одно в верхнем, а другое в нижней части. Вал с насаженной на его нижнем конце импеллерной мешалкой помещается внутри приёмной трубы, имеющей ряд расположенных по винтовой линии рециркуляционных патрубков. Через одно из отверстий приёмной трубы осуществляется питание аппарата, а остальные обеспечивают внутреннюю рециркуляцию потоков.

Пульпа засасывается через отверстия приёмной трубы благодаря созданию разрежения в вертикальном столбе жидкости внутри трубы, а затем разбрасывается мешалкой по всему сечению аппарата. При этом твёрдые частицы пульпы постоянно удерживаются во взвешенном состоянии, а всё содержимое аппарата интенсивно перемешивается.

На нижнем конце приёмной трубы обычно имеется кольцевой щиток, который во время остановки мешалки защищает её от оседающих твёрдых частиц пульпы.

Привод вала мешалки осуществляется от электродвигателя, укрепленного на ферме или двух швеллерах, перекрывающих реактор.

Для нагревания перемешиваемой пульпы внутрь аппарата обычно вводят острый пар.

### **1.5.2 Пневматическое перемешивание**

При пневматическом выщелачивании перемешивание в жидкой среде часто осуществляют, пропуская через жидкость поток газа (воздуха) или пара. В последнем случае перемешивание и нагревание жидкости совмещаются, так как пар, конденсируясь, отдает свое тепло жидкости выделяющейся при конденсации пара. Это дает возможность вести процесс просто, экономично, при отсутствии движущихся частей и с минимальными эксплуатационными затратами. Работа при воздушном перемешивании производится за счет энергии сжатого воздуха.

Для интенсификации воздушного перемешивания в аппаратах часто устанавливают аэрлифтные трубы (циркуляторы), создающие многократную циркуляцию жидкости в аппарате (рис.1.3) [3].

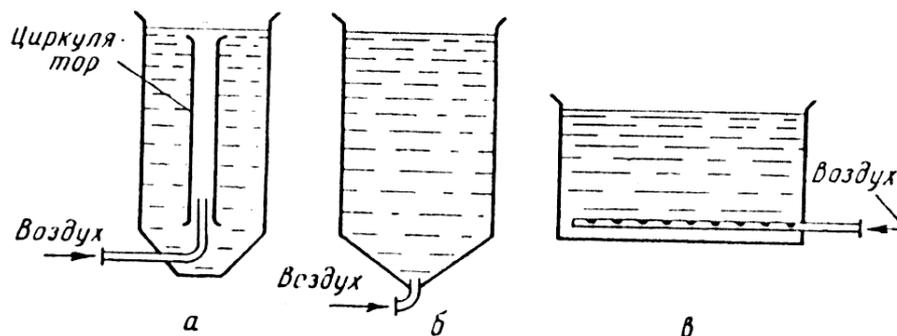
Циркулятор представляет собой открытую с обоих концов трубу, которую устанавливают в центре аппарата. В циркулятор подают воздух, энергия которого в этом случае затрачивается на втягивание жидкости, в нижнее отверстие циркулятора и на создание скоростного напора жидкости, поднимающейся по трубе циркулятора. Чем больше величина создаваемого восходящего потока, тем лучше перемешивание, так как действие восходящего потока вызывает замкнутую циркуляцию пульпы в аппарате.

Однако эффективность этого способа значительно меньше, чем механического перемешивания и, что самое главное, при прохождении через реагенты барботажный воздух захватывает большое количество жидкости, образуя аэрозоли, для очистки от которых приходится строить объемные и дорогостоящие установки.

Пневматическое перемешивание в некоторых случаях более рентабельно, так как перемешивающее устройство не содержит движущихся частей, за счет чего отпадает потребность в уплотнениях. Но очень часто технологический процесс исключает возможность пневмо-перемешивания

из-за возможной химической реакции, разбавления или образования аэрозолей.

Рис.1.3 – Основные типы пневматических перемешивающих устройств

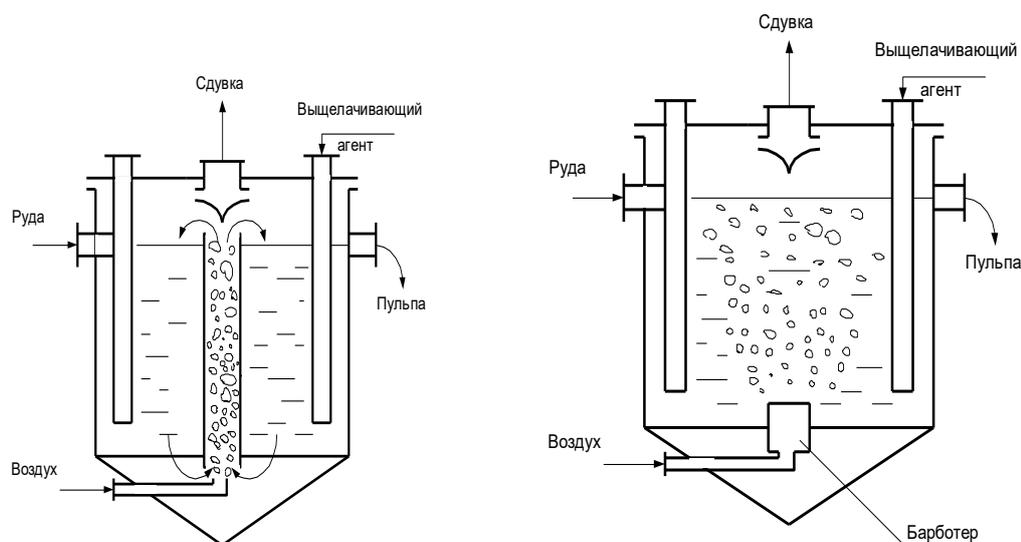


а – с циркулятором; б – со свободным аэролифтом; в – с барботажными трубками

Реакторы с пневматическим перемешиванием имеют вид цилиндрических аппаратов с коническим днищем, в центре которых при подаче сжатого воздуха образуется интенсивный восходящий поток перемешиваемой жидкости. Такие аппараты обычно называют чанами Пачука, или просто пачуками (рис.1.4). Для увеличения скорости восходящего потока и улучшения циркуляции пульпы в аппарате в центре пачука часто устанавливают аэролифтную трубу (циркулятор), удерживаемую с помощью радиальных тяг.

Чан выполняют с гладкими стенками, чтобы уменьшить сопротивление восходящему потоку пульпы. Днище имеет конусность от 45 до 60°. Это помогает твёрдым частицам, выпавшим из пульпы, скользить по стенкам днища к центру чана, откуда они выносятся вверх восходящим потоком жидкости.

Рис. 1.4 – Реакторы с пневматическим перемешиванием



Нижний конец циркулятора рекомендуется поднимать от дна днища на высоту 0,2 – 0,5 м, а верхний держать на уровне зеркала пульпы или чуть ниже. В некоторых случаях верхний конец циркулятора поднимают на 0,5 – 2,0 м выше зеркала пульпы в аппарате, чтобы обеспечить свободный перелив пульпы из пачука по желобу без запорной арматуры. Однако это связано с существенным увеличением расхода энергии на перемешивание.

Диаметр циркулятора выбирают в пределах 10 – 15% диаметра чана, но практически эта величина не бывает более 0,6 м. Оба конца циркулятора должны иметь раструбы с загнутыми концами, так как это позволяет сократить расход энергии.

Чем больше глубина ввода воздух, тем больше расход энергии на перемешивание и тем больше давление должен иметь воздух. Поэтому целесообразно использовать низкие и широкие аппараты. Практически высота чана превышает его диаметр в 3–5 раз. Применение пачуков (реакторов-баков емкостью до 2000 м<sup>3</sup>) в урановой технологии, обеспечивает не только выполнение тех же функций, которые выполняет механическое перемешивание (поддержание твёрдых частиц пульпы при выщелачивании во взвешенном состоянии, ускорение диффузионного переноса вещества и

т.д.), но и в ряде случаев позволяет дополнительно интенсифицировать процесс выщелачивание с помощью воздуха как окислителя.

Наилучшая аэрация пульпы создаётся в пачуках без циркулятора. В таких аппаратах обеспечивается также хорошая интенсивность перемешивания при минимальном расходе энергии. Кроме того, в пачуках без циркулятора происходит естественная классификация твёрдых частиц пульпы по крупности. Это даёт возможность увеличить время выщелачивания для песковых фракций рудной пульпы, так как последние группируются в нижней части аппарата. Всё это обеспечило широкое применение пачуков со свободным аэролифтом на урановых заводах Южно – Африканского Союза.

Однако в случае наличия в пульпе сравнительно крупных фракций песков перемешивание её в пачуках со свободным аэролифтом встречает трудности при непрерывном проведении процесса выщелачивания. Кроме того, в этих условиях возрастает расход энергии на перемешивание. В таких случаях целесообразно устанавливать аэролифтную трубу, которая способствует возрастанию величины потока пульпы у дна аппарата.

В аппарате со свободным аэролифтом воздух подаётся через одно центральное отверстие в самой нижней точке пачука снизу по трубе с обратным клапаном.

В пачук с циркулятором воздух рекомендуется подавать внутрь циркулятора на глубине 0,3 – 0,5 м от его верхнего края. В некоторых случаях это достигается с помощью трубки, помещённой внутрь аэролифтной трубы. Однако лучше всего воздух распределяется через одно или несколько отверстий, размещённых по окружности трубы. Диаметр отверстий должен быть не менее 10 мм, чтобы исключить возможность забивания их твёрдыми частицами.

Воздух для перемешивания подают обычно под давлением 2 – 3 атм.

Пачуки применяют как одиночные аппараты и в каскадах. В последнем случае удобно снабжать аппараты дополнительным аэролифтом, чтобы

обеспечить непрерывную переработку пульпы с большим содержанием песковых фракций, без значительного увеличения расхода воздуха. Перемешивание и перелив пульпы при этом идут снизу, что уравнивает количество песков на входе и выходе аппарата.

Расход энергии на перемешивание в пачуках обычно больше, чем в реакторах с механическим перемешиванием, но аппаратам с воздушным перемешиванием часто отдаётся предпочтение, так как они экономичнее в ремонте и обслуживании, а также дают лучшее качество перемешивания и аэрацию пульпы.

### **1.5.3 Пульсационное перемешивание**

Пульсация – это низкочастотный колебательный (возвратно-поступательный) импульс, подаваемый на реагенты от генератора, установленного вне реактора, на произвольном от него расстоянии.

Колебательный импульс приводит в движение реагенты во всем объеме аппарата, причем с помощью неподвижных преобразователей форма движения может быть в дополнение к возвратно- поступательному также и центробежной или какой-либо другой.

Пульсационное перемешивание оказалось более эффективным, чем барботажное и даже механическое, так как в этом случае в движении находится вся масса реагентов и в реакторе можно обойтись без «мертвых зон».

Благодаря тому, что механизм – генератор пульсации (пульсатор) – расположен вне реактора и может обслуживаться без остановки процесса и легко дублироваться, этот способ обладает всеми преимуществами барботажного перемешивания; вместе с тем, поскольку при пульсации воздух не проходит через реактор, аэрозоли не образуются и очистка воздуха от них (в основном от паров) сравнительно проста.

Иногда расход энергии на пульсацию несколько выше, чем при механическом или барботажном перемешивании.

#### **1.5.4 Струйное смешение**

В ряде процессов урановой технологии для перемешивания в жидкой среде можно эффективно использовать энергию свободной струи жидкости, выходящей из отверстия небольшого диаметра. Такой способ перемешивания называют струйным смешением. От механического перемешивания струйное смешение выгодно отличается отсутствием механических устройств в рабочем пространстве аппарата.

Этот способ перемешивания можно успешно использовать в аппаратах с небольшой величиной отношения высоты к диаметру, т.е. там, где неудобно применять воздушное перемешивание.

При струйном смешении внутри аппарата помещается сопло, через которое с помощью насоса подаётся жидкость. Выходя из сопла, струя жидкости расширяется, передавая свою энергию окружающей жидкости.

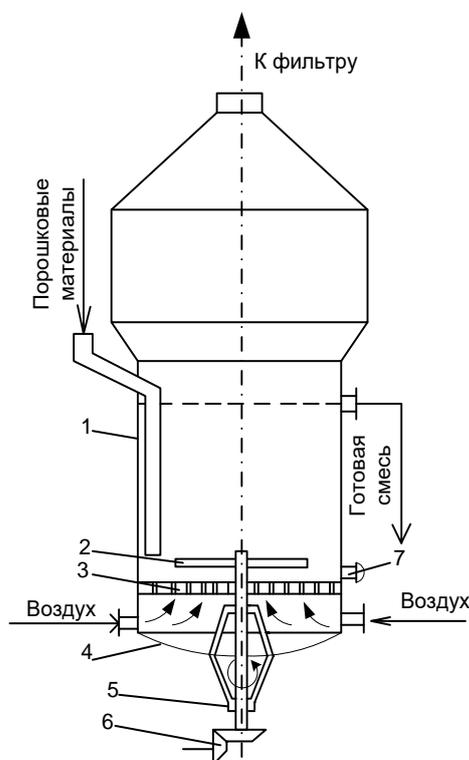
#### **1.5.5 Реакторы с пневмомеханическим перемешиванием**

Реакторы с пневмомеханическим перемешиванием в урановой технологии применяются сравнительно редко. В зарубежной практике особенно распространены аппараты такого типа с центральным аэролифтом и гребками. Однако известны конструкции реакторов с центральным механическим перемешивающим устройством и периферическими аэролифтами. На (рис.1.5) показан реактор с пневмомеханическим перемешиванием.

В реакторах с центральным аэролифтом перемешивание осуществляется с помощью гребкового устройства, перемешивающего и сгребаящего пульпу к центру аппарата, откуда она поднимается вверх по центральной аэролифтной трубе, а затем растекается по желобам к периферии аппарата. Здесь твёрдые частицы пульпы медленно оседают на дно реактора и вновь перегребаются к его центру. Воздух вводится внутрь аэролифтной трубы у её середины. Пульпа поступает в аппарат через патрубок в боковой стенке или по периферическим желобам, а выводится через патрубок, находящийся с противоположной стороны. Недостатком

таких реакторов является скопление песковых фракций пульпы в нижней части аппарата.

Рис. 1.5 – Пневматический реактор с добавочной мешалкой:



1-корпус; 2-мешалка лопастная; 3-решётка; 4-днище; 5-подшипники;  
6-привод мешалки

Совместное механическое и воздушное перемешивание позволяет обеспечить хорошую равномерность смешения при высокой аэрации пульпы.

### **Выводы**

На основании приведенных выше литературных данных выберем для дальнейшей разработки процесс растворения оксидов урана, состоящий из трех этапов:

- 1) растворения оксидов;
- 2) разделения суспензии на фазы – раствор уранилнитрата и шлам;
- 3) промывки шлама с целью уменьшения его радиоактивности и химической опасности.

Для растворения концентрата урана выбираем реактор с пневматическим перемешиванием, так как этот тип реакторов прост и экономичен как в обслуживании, так и в производстве при удовлетворительных технических показателях. Растворение будет проводиться последовательно в двух реакторах.

Для разделения полученной суспензии выберем метод центрифугирования, так как он наиболее производителен и обеспечивает хорошее качество разделения плохофильтрующихся суспензий. Центрифугирование будет проводиться в непрерывно действующей горизонтальной отстойной центрифуге со шнековой выгрузкой осадка.

## **2. АППАРАТУРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО УРАНА**

### **2.1 Общие сведения**

Аппаратурно-технологическая схема установки переработки природного урана предназначена для растворения концентратов урана, обогащенных нуклидом урана <sup>235</sup> до 1,0 % масс.

Концентраты урана – оксиды урана (диоксид урана, октооксид триурана, трехоксид урана).

Производительность по урану 1000 кг/ч.

Установка не является ядерно-опасной, так как перерабатывается уран с содержанием изотопа уран <sup>235</sup> менее 1,0 % мас.

Режим работы установки растворения – комбинированный.

Конечный продукт – раствор уранилнитрата. Концентрация урана в растворе 300 г/л, избыток свободной азотной кислоты – 80 г/л.

### **2.2 Описание аппаратурно-технологической схемы**

Концентрат урана в бочках массой до 450 кг доставляется на склад бочек. Со склада бочка с сырьем доставляется к узлу растворения электропогрузчиком и кран-балкой поднимается на загрузочную площадку. Загрузочная площадка располагается над растворителями.

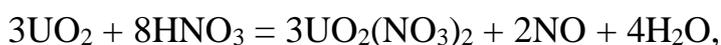
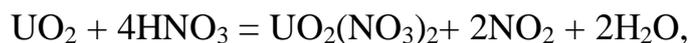
Бочка закрепляется в корзине опрокидывателя, штатная крышка заменяется устройством выгрузки. Сырьё из бочки ссыпается в бункер. Пустая бочка закрывается штатной крышкой и транспортируется кран-балкой на площадку хранения пустой тары, или используется для сбора твердых отходов.

После загрузки бункер, в который загружается 3 тонны по урану исходного продукта, герметично закрывается. В бункере поддерживается разрежение через трубу загрузки растворителя.

В растворитель принимается расчетное количество азотной кислоты, затем производится нагрев кислоты в аппарате "глухим" паром при перемешивании барботажным воздухом. При достижении температуры 80°С

включается шнековый дозатор для подачи сырья на растворение под зеркало кислоты. Время растворения сырья до 4-х часов.

Технологический процесс растворения сырья в зависимости от его формы основан на следующих реакциях:



После растворения из раствора урана производится отдувка окислов азота барботажным воздухом. Раствор уранилнитрата (с концентрацией 300 г U/л и содержанием свободной азотной кислоты 80 г/л), с взвесью не растворившихся примесей, охлаждается водой, подаваемой в рубашку растворителя, до температуры 60<sup>0</sup>С и передается в монжюс вакуумом.

Из монжюса урановый раствор давлением сжатого воздуха передается на центрифугу, где происходит отделение осадка. После центрифуги фугат в виде уранового раствора (с концентрацией 300 г U/л) направляется в аппарат-сборник. Сгущенная пульпа с нерастворимыми примесями и промывной раствор передается в бак-сборник.

Разбавленная пульпа из аппарата передается вакуумом в монжюс, при необходимости вводится промывной раствор, и направляется на центрифугу. После центрифуги сгущенная пульпа направляется в сборник, в который вводится промывной раствор и осуществляется перемешивание с помощью барботажного воздуха. Далее разбавленная пульпа передается обратно в монжюс, в который при необходимости вводится промывной раствор, и затем пульпа направляется вновь на центрифугу. Таких промывок может быть до 10. Фугат от центрифуги направляется в аппарат и далее в монжюс.

Фугат из монжюса используется для разбавления азотной кислоты или разбавления раствора уранилнитрата до концентрации 300 г U/л.

Часть раствора из монжюса далее выдается на первую ступень отстоя средне активных отходов. Твердый осадок, отделенный на центрифуге затаривается в бочки и вывозится на площадку для захоронения.

Выделяющиеся газы из реактора растворения и монжюсов, содержащие пары воды, оксиды азота, азот и захваченные частицы оксидов урана пройдя тщательную очистку в абсорбционной колонне, эжектором работающем на воздухе (или паре) выбрасывается в атмосферу.

### 3. РАСЧЁТ ОБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1 Данные для расчета

Исходные данные приведены в табл. 3.1.

Таблица. 3.1 – Исходные данные

1	Производительность по урану $G_U$ , кг/ч	500
2	Исходное вещество	$U_3O_8$
3	Растворитель	$HNO_3$
4	Концентрация $HNO_3$ , $C_{HNO_3}$ , %	63
5	Избыток азотной кислоты, %	10
6	Время растворения, час	4
7	Температура процесса, °С	80
8	Обогрев	Водяным насыщенным паром
9	Давление греющего пара, МПа	0,4
10	Концентрация по урану в готовом продукте $C_{U_3O_8}$ , г/л	300
11	$G_{U_3O_8}$	589,63
12	$G_{HNO_3}$	388,23
13	$G_{H_2O}$	1663,3

#### 3.1.2 Технологический режим растворения

В растворитель (рис.3.1) подаётся азотная кислота,одновременно начинается засыпка концентрата в бункер. Нагрев азотной кислоты до температуры 80 °С осуществляется глухим паром при перемешивании воздухом. Шнеком – дозатором подаётся концентрат урана под зеркало кислоты. После завершения процесса растворения газовая фаза из раствора отдувается. Затем в растворитель подаются промывные

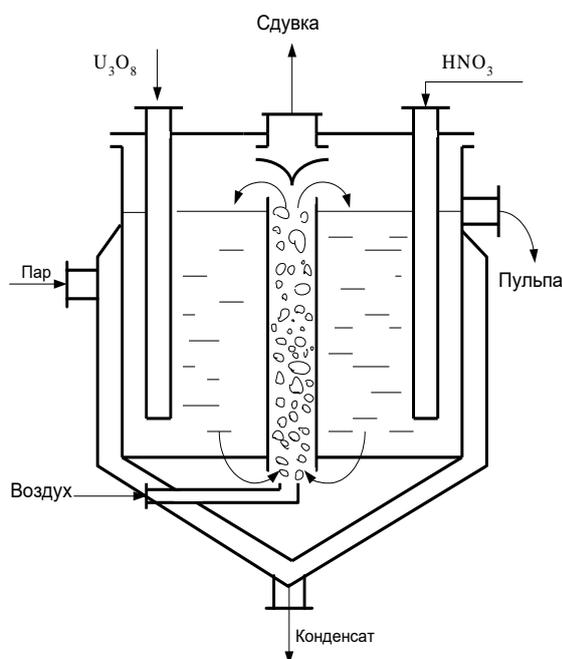
растворы или конденсат для доведения концентрации раствора по урану 300 г/л, свободная азотная кислота 80 г/л с одновременным охлаждением горячего раствора до температуры не более  $65 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Передача раствора из растворителя осуществляется вакуумом.

Время проведения процесса растворения в одном аппарате составляет:

- передача сырья шнеком 90 мин;
- передача кислоты в растворитель 15 мин;
- передача пара на нагрев 40 мин;
- растворение 240 мин;
- отдув газов после растворения 30 мин;
- передача промывной воды 15 мин;
- передача воды на охлаждение в рубашку 30 мин;
- передача раствора из растворителя 40 мин.

Рис. 3.1 – Схема аппарата



### 3.1.3 Технологический расчет

Задачей технологического расчета является анализ процесса, выбор режима работы, временных характеристик, определение количества, объема и производительности аппаратов

При заданной производительности процесса рабочий объем аппаратов определяют по формуле [22]:

$$V_{раб} = \sum \frac{G_{iucx}}{\rho_{iucx}} \cdot \tau_{\Sigma},$$

где  $V_{раб}$  - рабочий объем аппаратов, м<sup>3</sup>;

$G_i$  - массовый расход реагентов, кг/загрузка;

$\rho_i$  - плотность реагентов, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{раб} = \left( \frac{G_{U_3O_8}}{\rho_{U_3O_8}} + \frac{G_{HNO_3}}{\rho_{HNO_3}} + \frac{G_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \right) \cdot \tau = \left( \frac{589,63}{2100} + \frac{388,23}{1425} + \frac{1663,3}{998} \right) \cdot 4 = 8,76 \text{ м}^3$$

$$V_{раб} = n \cdot \varphi \cdot V_{iann},$$

где  $\varphi$  - коэффициент заполнения объема аппарата, принимаемый равным 0,7-0,85;

$V_{iann}$  - рабочий объем одного аппарата, м<sup>3</sup>,

$$V_{iann} = \frac{V_{раб}}{n \cdot \varphi} = \frac{8,76}{0,7} = 12,5 \text{ м}^3.$$

### 3.1.3 Материальный расчет

Целью материального расчета является определение материальных потоков и составление материального баланса

Материальный расчет основывается на законе сохранения материи, в данном случае - массы веществ, с учетом условий равновесия, определяемых термодинамикой процесса и ею макрокинетикой:

$$\sum G_{i_{\text{исх}}} = \sum G_{i_{\text{прод}}},$$

где  $\sum G_{i_{\text{исх}}}$  - количества реагентов, поступающих в аппарат в единицу времени или за одну загрузку;

$\sum G_{i_{\text{прод}}}$  - количества реагентов, удаляемых из аппарата в единицу времени или за одну загрузку.

Основная реакция протекающая в аппарате:



ММ 842 504 1182 72 92

По реакции определим массы всех компонентов:

- массовый расход  $U_3O_8$

$$G_{U_3O_8} = \frac{G_U \cdot MM(U_3O_8)}{MM(U)} = \frac{500 \cdot 842}{714} = 589,63 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход  $HNO_3(100\%)$

$$G_{HNO_3} = \frac{G_{U_3O_8} \cdot MM(HNO_3)}{MM(U_3O_8)} = \frac{589,63 \cdot 504}{842} = 352,94 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход  $UO_2(NO_3)_2$

$$G_{UO_2(NO_3)_2} = \alpha_U \frac{G_{U_3O_8} \cdot MM(UO_2(NO_3)_2)}{MM(U_3O_8)} = 0,95 \frac{589,63 \cdot 1182}{842} = 786,33 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход  $H_2O$ (реакции)

$$G_{H_2O}^P = \alpha_U \frac{G_{U_3O_8} \cdot MM(H_2O)}{MM(U_3O_8)} = 0,95 \frac{589,63 \cdot 72}{842} = 47,89 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход  $NO_2$

$$G_{NO_2} = \alpha_U \frac{G_{U_3O_8} \cdot MM(NO_2)}{MM(U_3O_8)} = 0,95 \frac{589,63 \cdot 92}{842} = 61,2 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход воды для разбавления азотной кислоты до 63%

$$G'_{H_2O} = \frac{G_{HNO_3} \cdot C_{H_2O}}{C_{HNO_3}} = \frac{352,94 \cdot 0,37}{0,63} = 207,28 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход избытка раствора азотной кислоты

$$G_{HNO_3,63\% \text{ расход}} = \alpha_U \cdot G_{HNO_3,63\%} = 0,95 \cdot 352,94 = 335,29 \text{ кг / ч};$$

$$G_{HNO_3 \text{ остаток}} = G_{HNO_3,63\% \text{ изб}} - G_{HNO_3,63\% \text{ расход}} = 388,23 - 335,29 = 52,94 \text{ кг / ч};$$

$$G_{U_3O_8 \text{ остаток}} = (1 - \alpha_U) \cdot G_{U_3O_8} = (1 - 0,95) \cdot 589,63 = 29,48 \text{ кг / ч};$$

- массовый расход воды необходимой для получения концентрации по урану в готовом продукте 300 г/л

$$G''_{H_2O} = G_{H_2O} - (G'_{H_2O} + G^P_{H_2O} + 0,1 \cdot G'_{H_2O}),$$

где  $G_{H_2O}$  - количество воды в готовом продукте

$$\frac{G_{H_2O}}{G_U} = \frac{998}{300},$$

тогда

$$G_{H_2O} = \frac{G_U \cdot 998}{300} = \frac{500 \cdot 998}{300} = 1663,3 \text{ кг/ч};$$

$$G''_{H_2O} = 1663,3 - (207,28 + 50,41 + 20,72) = 1384,89 \text{ кг/ч}.$$

На основании расчета материальных потоков составим табл.3.2 материального баланса.

Таблица. 3.2 – Материальный баланс процесса

Приход			Расход		
Статьи прихода	кг/ загрузка	%	Статьи расхода	кг/ загрузк а	%
1 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	589,63	22,7	1 Раствор UO <sub>2</sub> (NO) <sub>2</sub>		
			UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	786,3	31,9
2 Раствор HNO <sub>3</sub>			H <sub>2</sub> O	1663,3	64,2
HNO <sub>3</sub>	352,94	13,6	HNO <sub>3</sub>	35,29	1,4
H <sub>2</sub> O	207,28	8	2 NO <sub>2</sub>	61,2	2,5
3 Избыток HNO <sub>3</sub>					
HNO <sub>3</sub>	35,29	1,4	3 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (ост)	29,48	1
H <sub>2</sub> O	20,7	0,8	4 HNO <sub>3</sub> (ост)	52,9	1,8
4 Промывной раствор на разбавление продукта	1384,89	53,5			
Итого:	2590,73	100	Итого:	2590,73	100

Поскольку материальный баланс сошелся, значит, расчеты реакции были произведены верно.

### 3.1.4 Тепловой расчет аппарата

Тепловой расчет сводится к составлению теплового баланса, определению тепловой нагрузки аппарата, расхода греющего пара, истинного значения удельной тепловой нагрузки, истинного значения коэффициента теплопередачи, поверхности теплообмена (ГОСТ Р 52857.7-2007.)

### 3.1.5.1 Тепловая нагрузка аппарата

Тепловой расчёт следует производить для двух вариантов:

1) нагрев исходных веществ до температуры начала реакции с 20 °С до 80 °С, которое длится 40мин.

Тепловая нагрузка аппарата определяется на основании теплового баланса. В общем виде тепловой баланс запишется уравнениями:

$$\sum Q_{\text{прив}} = \sum Q_{\text{расх}}$$

$$\sum Q_{\text{прив}} = Q_{U_3O_8} + Q_{p-pHNO_3} + Q_{\text{промыв}} + Q_{\text{гр.п.}}$$

$$\sum Q_{\text{расх}} = Q_{UO_2(NO_3)_2} + Q_{H_2O} + Q_{NO_2} + Q_{\text{пот.}} + Q_{\text{конд.}}$$

где  $\sum Q_{\text{прив}}$  - количество тепла, вносимое в аппарат с исходными веществами и теплоносителем;

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

$$Q_{U_3O_8} = G_{U_3O_8} \cdot c_{U_3O_8} \cdot t_n - \text{тепло вносимое в аппарат с } U_3O_8;$$

$$c_{U_3O_8} = 252 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} [3] - \text{удельная теплоемкость } U_3O_8;$$

$$t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C} - \text{начальная температура при входе в аппарат};$$

$Q_{p-pHNO_3} = G_{p-pHNO_3} \cdot c_{p-pHNO_3} \cdot t_n$  - тепло вносимое в аппарат с раствором  $HNO_3$ ;

$c_{p-pHNO_3} = 3490 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  – удельная теплоемкость раствора  $HNO_3$ ;

$Q_{\text{гр.п.}} = D \cdot i_{\text{гр.п.}}$  – количество тепла, поступающего с греющим паром;

$Q_{\text{промыв}} = G_{\text{промыв}} \cdot c_{\text{промыв}} \cdot t_n$  - тепло вносимое в аппарат с промывным раствором;

$c_{\text{промыв}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость промывного раствора;

$Q_{UO_2(NO_3)_2} = G_{UO_2(NO_3)_2} \cdot c_{UO_3(NO_3)_2} \cdot t_k$  – тепло уходящее из аппарата с  $UO_2(NO_3)_2$ ;

$c_{UO_3(NO_3)_2} = 247,7 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость  $UO_2(NO_3)_2$ ;

$t_k = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  – конечная температура;

$Q_{H_2O} = G_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot t_k$  – тепло уходящее из аппарата с водой;

$c_{H_2O} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость воды;

$Q_{NO_2} = G_{NO_2} \cdot c_{NO_2} \cdot t_k$  – тепло уходящее из аппарата с газом  $NO_2$ ;

$c_{NO_2} = 853,3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость  $NO_2$ ;

$Q_{\text{пот}} = 0,2 \cdot \sum Q_{\text{прих}}$  – количество тепла, уносимое из аппарата продуктами, идущее на нагрев аппарата и теряемое в окружающую среду;

$Q_{\text{конд.}} = D \cdot i_{\text{конд.}}$  – количество тепла, уходящее из аппарата с конденсатом греющего пара;

$i_{\text{конд.}} = 558,9 \text{ кДж}/\text{кг}$  – удельная энтальпия конденсата греющего пара.

Определяем количество тепла, вносимое в аппарат с исходными веществами и теплоносителем

$$Q_{U_3O_8} = G_{U_3O_8} \cdot c_{U_3O_8} \cdot t_n = 589,63 \cdot 0,252 \cdot 20 = 2971,7 \text{ кДж};$$

$$Q_{p-pHNO_3} = G_{p-pHNO_3} \cdot c_{p-pHNO_3} \cdot t_n = 616,21 \cdot 3,49 \cdot 20 = 43011,45 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{промыв}} = G_{\text{промыв}} \cdot c_{\text{промыв}} \cdot t_n = 1384,89 \cdot 4,19 \cdot 20 = 116053,78 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{гр.п.}} = D \cdot i_{\text{гр.п.}} = D \cdot 2730;$$

$$\begin{aligned}\sum Q_{\text{прит}} &= Q_{U_3O_8} + Q_{p-pHNO_3} + Q_{\text{эп.н.}} = 2971,7 + 43011,45 + 116053,78 + D \cdot 2730 = \\ &= 162036,93 + D \cdot 2730\end{aligned}$$

Определяем количество тепла, уносимое из аппарата продуктами, идущее на нагрев аппарата и теряемое в окружающую среду

$$Q_{UO_2(NO_3)_2} = G_{UO_2(NO_3)_2} \cdot c_{UO_3(NO_3)_2} \cdot t_{\kappa} = 827,72 \cdot 0,248 \cdot 80 = 16421,96 \text{ кДж};$$

$$Q_{H_2O} = G_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot t_{\kappa} = 1663,3 \cdot 4,19 \cdot 80 = 557538,16 \text{ кДж};$$

$$Q_{NO_2} = G_{NO_2} \cdot c_{NO_2} \cdot t_{\kappa} = 64,42 \cdot 0,8533 \cdot 80 = 4397,56 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{пот}} = 0,2 \cdot \sum Q_{\text{прит}} = 0,2 \cdot (162036,93 + D \cdot 2730) = 32407,4 + D \cdot 546;$$

$$Q_{\text{конд.}} = D \cdot i_{\text{конд.}} = D \cdot 558,9$$

$$\begin{aligned}\sum Q_{\text{расх}} &= Q_{UO_2(NO_3)_2} + Q_{H_2O} + Q_{NO_2} + Q_{\text{пот.}} + Q_{\text{конд.}} = \\ &= 16421,96 + 557538,16 + 4397,56 + 32407,4 + D \cdot 546 + D \cdot 558,9 = \\ &= 610765,08 + D \cdot 1104,9\end{aligned}$$

$$\sum Q_{\text{прит}} = \sum Q_{\text{расх}}$$

$$162036,93 + D \cdot 2730 = 610765,08 + D \cdot 1104,9$$

Определим расход греющего пара из уравнения теплового баланса

$$D_{\text{загрузка}} = \frac{610765,08 - 162036,93}{2730 - 1104,9} = 276,12 \text{ кг/загрузка.}$$

Нагрев смеси производится в течении 40 минут, поэтому расход греющего пара в секунду будет равен:

$$D = \frac{D_{\text{загрузка}}}{\tau} = \frac{276,12}{40 \cdot 60} = 0,115 \text{ кг/с.}$$

Результаты теплового баланса сведены в табл. 3.3.

Таблица. 3.3 – Тепловой баланс процесса

Приход			Расход		
Статьи прихода	Количество во тепла, кВт	%	Статьи расхода	Количество во тепла, кВт	%
1 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1,24	0,4	1 UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6,84	1,8
2 HNO <sub>3</sub>	17,92	4,7	2 H <sub>2</sub> O	232,3	60,9
3 Промывной раствор	48,35	12,6	3 NO <sub>2</sub>	1,83	0,5
4 Греющий пар	314,08	82,3	4 Потери	76,32	20
			5 Конденсат греющ. пара	64,3	16,8
Итого:	381,6	100	Итого:	381,6	100

### 3.1.5.2 Основное уравнение теплопередачи

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

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

где Q - количество переданного тепла, Дж;

k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>К);

F - поверхность теплопередачи, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  - средняя разность температур горячего и холодного теплоносителя. К;

$\tau$  - время, с.

Тепловой поток или тепловая мощность аппарата определяется по формуле:

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

где  $q = k \cdot \Delta t_{cp}$  – удельный тепловой поток.

Для плоской поверхности теплопередачи, а также для цилиндрической, если внутренний диаметр больше половины наружного диаметра ( $d_{вн} > 0,5 d_{нар}$ ), коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} ,$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи горячего теплоносителя, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\delta_{cm}$  – толщина стенки, м;

$\lambda_{cm}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(мК);

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи для холодного теплоносителя, Вт/(м<sup>2</sup>К).

Из основного уравнения теплопередачи определяется поверхность теплообмена

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

В случае конденсации пара в гладкой рубашке средняя разность температур определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = t_{конд.} - t_{ж} ,$$

где  $t_{конд.}$  – температура конденсации пара, °С;

$t_{ж}$  – температура перемешиваемой жидкости на выходе из аппарата, °С.

Тогда :  $\Delta t_{cp} = 143 - 60 = 83$  °С.

### 3.1.5.3 Расчет коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке

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

$$\alpha_I = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_k^3 \cdot \rho_k^2 \cdot r \cdot g}{\mu_k \cdot H \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}})}},$$

где  $\alpha_I$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/м·К;

$\rho_k$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;

$r$  – удельная теплота конденсации, Дж/кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\mu_k$  – динамический коэффициент вязкости конденсата, Па·с;

$H$  – высота поверхности, м;

$t_{\text{конд}}$  – температура конденсации пара, °С;

$t_{\text{ст1}}$  – температура стенки, °С.

Значения физико-химических констант конденсата выбираются при средней температуре пленки конденсата  $t_{\text{пл}} = 0,5 (t_{\text{конд}} + t_{\text{ст1}})$ , но можно принимать с достаточной для технических расчетов точностью при температуре конденсации.

Для водяного пара данные константы равны:

$\lambda_k = 0,52 \text{ Вт/м·град}$ ;  $r = 2358970 \text{ Дж/кг}$ ;  $\mu_k = 0,14 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ;

$\rho_k = 735 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_{\text{конд}} = 143 \text{ °С}$ ;  $H = 2 \text{ м}$ .

Задаем значения  $t_{\text{ст1}}$ :

$t_{\text{ст1}}^1 = 133 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{ст1}}^2 = 123 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{ст1}}^3 = 113 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{ст1}}^4 = 103 \text{ °С}$ .

Для каждого значения  $t_{\text{ст1}}$  рассчитаем коэффициенты теплоотдачи:

$$\alpha^1_I = 1,15 \cdot 4 \sqrt{\frac{(0,52)^3 \cdot 735^2 \cdot 2358970 \cdot 9,8}{0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (143 - 133)}} = 5755 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\alpha^2_I = 1,15 \cdot 4 \sqrt{\frac{(0,52)^3 \cdot 735^2 \cdot 2358970 \cdot 9,8}{0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (143 - 123)}} = 4839 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\alpha^3_I = 1,15 \cdot 4 \sqrt{\frac{(0,52)^3 \cdot 735^2 \cdot 2358970 \cdot 9,8}{0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (143 - 113)}} = 4373 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\alpha^4_I = 1,15 \cdot 4 \sqrt{\frac{(0,52)^3 \cdot 735^2 \cdot 2358970 \cdot 9,8}{0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (143 - 103)}} = 4069 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)};$$

Для каждого значения  $t_{ст1}$  и  $\alpha_I$ , определим значение удельного теплового потока по формуле:

$$q_i = \alpha_I \cdot (t_{конд.} - t_{ст1});$$

$$q^1_1 = 5755 \cdot (143 - 133) = 57550 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q^1_2 = 4839 \cdot (143 - 123) = 96780 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q^1_3 = 4373 \cdot (143 - 113) = 131200 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q^1_4 = 4069 \cdot (143 - 103) = 162800 \text{ Вт/м}^2;$$

### 3.1.5.4 Расчет коэффициента теплоотдачи при перемешивании жидкостей воздухом

Коэффициент теплоотдачи в аппаратах со змеевиками, рубашками и барботажем рассчитывается по следующему критериальному уравнению:

$$Nu = 0,186 \cdot \eta_{\max}^{0,95} \cdot Pr^{0,33} \cdot \Gamma^{-1},$$

$$Nu = \frac{\alpha_2 \cdot d_6}{\lambda}, \quad \eta_{\max} = \frac{d_6 \cdot \rho \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{\mu}{\rho}}}{2 \cdot \mu}, \quad Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}, \quad \Gamma = \frac{D}{d_6}$$

$Nu$  – критерий Нуссельта;

$Pr$  – критерий Прандля;

$D$  – диаметр аппарата, м;

$\Gamma$  – симплекс геометрического подобия;

$d_6$  – диаметр барботажной трубы, м;

$c$  – теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);

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

$\eta_{\max}$  – безразмерное приведенное расстояние до стенки трубы;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости жидкости при средней температуре, равный  $0,5 \cdot (t_{cm} + t_{cp.ж.})$  Па·с

$$\mu_1 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu_2 = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_3 = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu_4 = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu_5 = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Значения физико-химических констант жидкости выбираются при средней температуре жидкости в аппарате  $t_{cp.ж.}$ .

В данном уравнении не учитывается скорость жидкости, так как при её изменении до 1 м/с зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости незначительна.

Безразмерное приведенное расстояние:

$$\eta_{\max 1} = \frac{0,48 \cdot 1080 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{1080}}}{2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}} = 56280,$$

$$\eta_{\max 2} = \frac{0,48 \cdot 1080 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{4,1 \cdot 10^{-4}}{1080}}}{2 \cdot 4,1 \cdot 10^{-4}} = 49751,$$

$$\eta_{\max 3} = \frac{0,48 \cdot 1080 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{4,8 \cdot 10^{-4}}{1080}}}{2 \cdot 4,8 \cdot 10^{-4}} = 42885,$$

$$\eta_{\max 4} = \frac{0,48 \cdot 1080 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{1080}}}{2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}} = 36472,$$

$$\eta_{\max 5} = \frac{0,48 \cdot 1080 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 10^{-5} + 22 \frac{6,9 \cdot 10^{-4}}{1080}}}{2 \cdot 6,9 \cdot 10^{-4}} = 29620.$$

Определим критерий Прандтля:

$$Pr_1 = \frac{4100 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}}{0,68} = 2,17,$$

$$Pr_2 = \frac{4100 \cdot 4,1 \cdot 10^{-4}}{0,68} = 2,47,$$

$$Pr_3 = \frac{4100 \cdot 4,8 \cdot 10^{-4}}{0,68} = 2,89,$$

$$Pr_4 = \frac{4100 \cdot 5,7 \cdot 10^{-4}}{0,68} = 3,436,$$

$$Pr_5 = \frac{4100 \cdot 6,9 \cdot 10^{-4}}{0,68} = 4,16.$$

Симплекс геометрического подобия равен:

$$\Gamma = \frac{2400}{480} = 5$$

Рассчитываем критерии Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,186 \cdot 56280^{0,95} \cdot 2,17^{0,33} \cdot 5^{-1} = 1564,6,$$

$$Nu_2 = 0,186 \cdot 49751^{0,95} \cdot 2,47^{0,33} \cdot 5^{-1} = 1452,4,$$

$$Nu_3 = 0,186 \cdot 42885^{0,95} \cdot 2,89^{0,33} \cdot 5^{-1} = 1328,4,$$

$$Nu_4 = 0,186 \cdot 36472^{0,95} \cdot 3,436^{0,33} \cdot 5^{-1} = 1206,3,$$

$$Nu_5 = 0,186 \cdot 29620^{0,95} \cdot 4,16^{0,33} \cdot 5^{-1} = 1054.$$

Рассчитываем коэффициенты теплоотдачи от стенки к жидкости.

$$\alpha_{21} = \frac{1564,6 \cdot 0,68}{0,48} = 2216,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{22} = \frac{1452,4 \cdot 0,68}{0,48} = 2057,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{23} = \frac{1328,4 \cdot 0,68}{0,48} = 1881,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{24} = \frac{1206,3 \cdot 0,68}{0,48} = 1708,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{25} = \frac{1054 \cdot 0,68}{0,48} = 1493,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Определим удельный тепловой поток из уравнения теплоотдачи по формуле:

$$q_2 = \alpha_2 \cdot (t_{cm2} - t_{II.cp}), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

где  $t_{ct2}$  – температура стенки со стороны холодного теплоносителя.

$$t_{ct2} = t_{ct1} - q_1 \cdot \left( \frac{r_H + r_{BH}}{2} \cdot \frac{1}{\lambda_{CT}} \cdot \ln \frac{r_H}{r_{BH}} \right),$$

где  $r_H$  – наружный радиус аппарата, 0,61 м;

$r_{BH}$  – внутренний радиус аппарата, 0,6 м;

$\lambda_{CT}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, 46,5 Вт/м·град.

Тогда

$$t_{ct2}^1 = 133 - 57500 \cdot \left( \frac{0,61 + 0,6}{2} \cdot \frac{1}{46,5} \cdot \ln \frac{0,61}{0,6} \right) = 120 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{ct2}^2 = 123 - 96780 \cdot \left( \frac{0,61 + 0,6}{2} \cdot \frac{1}{46,5} \cdot \ln \frac{0,61}{0,6} \right) = 102,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{ст2}^3 = 113 - 131200 \cdot \left( \frac{0,61 + 0,6}{2} \cdot \frac{1}{46,5} \cdot \ln \frac{0,61}{0,6} \right) = 84,8 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{ст2}^4 = 103 - 162800 \cdot \left( \frac{0,61 + 0,6}{2} \cdot \frac{1}{46,5} \cdot \ln \frac{0,61}{0,6} \right) = 67,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Подставляем найденные значения в формулу, получаем:

$$q_{II}^1 = 1417 \cdot (120 - 60) = 85020 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{II}^2 = 1395 \cdot (102,2 - 60) = 58870 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{II}^3 = 1362 \cdot (84,8 - 60) = 33780 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{II}^4 = 1338 \cdot (67,9 - 60) = 9366 \text{ Вт/м}^2.$$

По результатам расчета строим графическую зависимость удельных тепловых потоков  $q_I$  и  $q_{II}$  от температуры стенки  $t_{ст1}$  рис. 3.2 . В точке пересечения  $q_I = f(t_{ст1})$  и  $q_{II} = f(t_{ст1})$ , определяем истинные значения удельного теплового потока  $q^{ист}$  и температуры стенки  $t_{ст1}^{ист}$ .

Таблица 3.4 – Зависимость удельных тепловых потоков  $q_I$  и  $q_{II}$  от температуры стенки  $t_{ст1}$

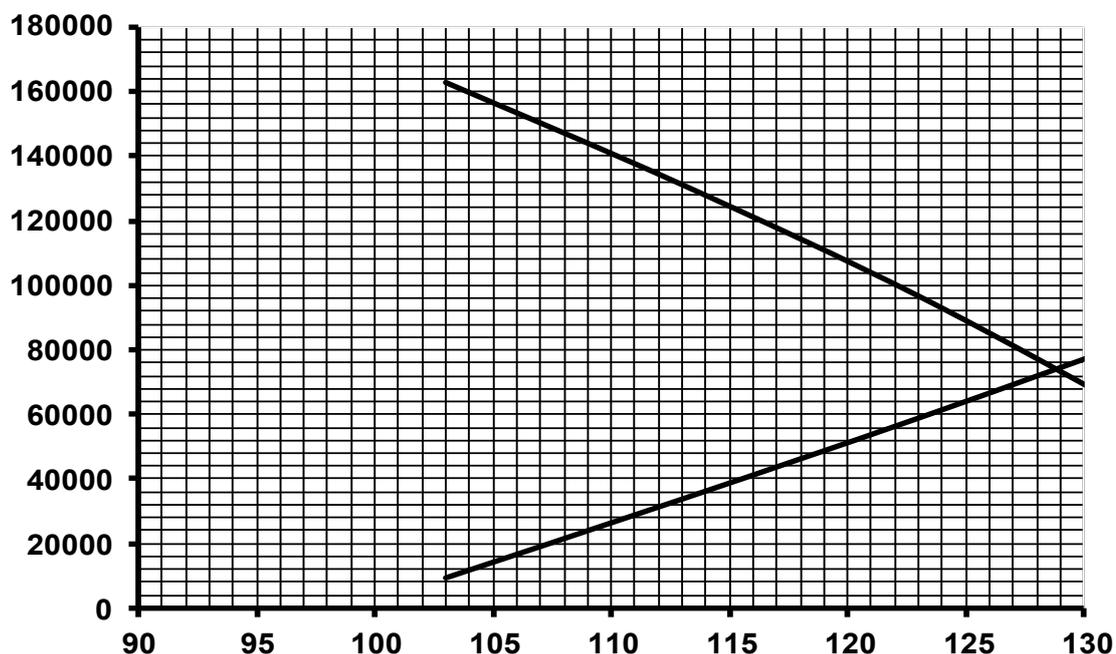
$t_{ст1}, \text{ } ^\circ\text{C}$	133	123	113	103
$q_1, \text{ Вт/м}^2$	57550	96780	131200	162800
$q_2, \text{ Вт/м}^2$	85020	58870	33780	9366

Ордината точки пересечения кривых соответствует истинному значению теплового потока, а абсцисса – истинное значение температуры стенки:

$$q^{ист} = 63000 \text{ Вт/м}^2;$$

$$t_{ст1}^{ист} = 128,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рисунок 3.2 – График зависимости  $q_I$  и  $q_{II}$  от  $t_{ст1}$



По величине истинного значения удельного теплового потока и температуры стенки определим значения коэффициента теплопередачи и поверхности теплообмена.

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$K = \frac{q_{уст}}{\Delta t_{cp}} ;$$

$$K = \frac{63000}{83} = 759 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Поверхность теплообмена равна:

$$F = \frac{Q}{q_{уст}} ; F = \frac{381600}{63000} = 6,05 \text{ м}^2 .$$

Таким образом, при диаметре аппарата  $D = 2400$  мм и номинальном объеме  $V_H = 10,0 \text{ м}^3$  принимаем поверхность теплообмена  $F = 20,0 \text{ м}^2$ .

### 3.1.6 Конструктивный расчет

В конструктивном расчете определяются основные геометрические размеры аппаратов, диаметры патрубков для подачи исходного вещества, растворителя, подачи греющего пара, отвода конденсата и вывода пульпы.

#### 3.1.6.1 Расчет диаметров патрубков

Диаметры патрубков определяются объемным расходом жидкости или пара и рекомендуемой скоростью движения потока по уравнению расхода [23]:

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

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

Где;  $V$ - объемный расход потока, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площадь сечения патрубка, м<sup>2</sup>;

$W$  – скорость движения, м/с;

$d$  – внутренний диаметр патрубка, м.

Рекомендуемые скорости движения жидкости самотеком составляют 0,1 – 0,5 м/с, в напорных трубопроводах – 0,5 – 2,5 м/с, водяного насыщенного пара – 10 – 20 м/с [ 25 ] .

Определяем объемный расход по формуле:

$$V = \frac{G}{\rho} ,$$

где  $G$  – массовый расход, кг/с;

$\rho$  - плотность кг/м<sup>3</sup> .

Диаметр патрубка для подачи  $U_3O_8$ :

$$d_{U_3O_8} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

где  $V$  – объемный расход  $U_3O_8$  м<sup>3</sup>/с;

$w$  – скорость потока, м/с;

$$V_{U_3O_8} = \frac{G_{U_3O_8}}{\rho_{U_3O_8}} = \frac{589,63}{2100 \cdot 3600} = 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$w = 0,02 \text{ м} / \text{с},$$

$$d_{U_3O_8} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,7 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,02}} = 0,225 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений принимаем  $d = 250$  мм.

Диаметр патрубка для подачи растворителя:

$$d_{p-pHNO_3} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

$$V_{p-pHNO_3} = \frac{G_{p-pHNO_3}}{\rho_{p-pHNO_3}} = \frac{616,21}{1425} = 0,616 \text{ м}^3 / \text{ч} = 1,71 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$d_{p-pHNO_3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,71 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,021 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений принимаем  $d = 50$  мм.

Диаметр патрубка для подачи греющего пара:

$$d_{гп.н.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

$$V_{гп.н.} = \frac{G_{гп.н.}}{\rho_{гп.н.}} = \frac{0,115}{1,618} = 0,072 \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$d_{гп.н.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,072}{3,14 \cdot 15}} = 0,078 \text{ м} \approx 80 \text{ мм}.$$

Диаметр патрубка для вывода пульпы:

$$d_{\text{пульпы}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

$$V_{\text{пульпы}} = 4,15 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$d_{\text{пульпы}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,15 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,2}} = 0,05 \text{ м} \approx 50 \text{ мм}.$$

Диаметр патрубка для отвода конденсата:

$$d_{\text{конд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

$$V_{\text{конд}} = \frac{G_{\text{гр.п.}}}{\rho_{\text{конд}}} = \frac{0,115}{992} = 1,16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$d_{\text{конд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,16 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 1}} = 0,013 \text{ м} \approx 15 \text{ мм}.$$

Диаметр патрубка для удаления газа NO<sub>2</sub>

$$d_{\text{NO}_2} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}},$$

$$V_{\text{конд}} = \frac{G_{\text{NO}_2}}{\rho_{\text{NO}_2} \cdot \tau} = \frac{64,42}{983 \cdot 3600} = 0,18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$d_{\text{NO}_2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,18 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,2}} = 3,3 \text{ мм}, \text{ принимаем } d = 25 \text{ мм}.$$

Диаметр барботажной трубы.

$$d_6 = \frac{D}{5} = \frac{2400}{5} = 480 \text{ мм}.$$

### 3.1.7 Прочностной расчет

#### 3.1.7.1 Выбор конструкционного материала и расчёт основных физико–механических характеристик материала

Выбор конструкционного материала осуществляем с учётом температур, агрессивности сред и их концентраций. Выбираем высоколегированную коррозионно-стойкую сталь 12Х18Н10Т

Коэффициенты запаса прочности материала выбираем по [26]. Результаты подбора сведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Коэффициенты запаса прочности

Условия нагружения	Коэффициенты запаса прочности		
	$n_T$	$n_B$	$n_Y$
Рабочие условия	1,5	2,4	2,4
Гидравлические испытания	1,1	–	–

где  $n_T$  - коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

$n_B$  - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

$n_Y$  - коэффициент запаса устойчивости.

Модуль продольной упругости выбираем по [27]. Для стали 12Х18Н10Т при температуре 100 °С принимаем  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Коэффициенты прочности сварных швов выбираем согласно [26]:

1) продольный шов обечайки, стыковой с двухсторонним сплошным проваром:  $\varphi_p = 1,0$ ;

2) кольцевой шов обечаек, в тавр, с конструкционным зазором свариваемых деталей:  $\varphi_T = 1,0$ .

Определение прибавок к расчётным толщинам элементов

Она определяется по формуле [8]:

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

где  $C_1$  – прибавка, учитывающая влияние коррозии и эрозии, мм;

$C_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$C_3$  – прибавка, учитывающая утонение стенки аппарата при технологических операциях, мм.

$$C_1 = P \cdot \tau,$$

где  $P$  – скорость коррозии, мм/год;

$\tau$  – срок службы аппарата, лет.

$C_1 = 0,1 \cdot 20 = 2$  мм.  $C_2 = 0$  и  $C_3 = 0$ , так как сумма ( $C_2 + C_3$ ) не превышает 5% толщины листа. Тогда прибавка  $C = C_1 = 2$  мм. Срок службы аппарата  $\tau = 20$  лет.

Допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для стали 12Х18Н10Т определяем по [28]. При температуре 127°С принимаем  $[\sigma] = 180$  МПа.

### 3.1.7.2 Расчёт основных элементов аппарата на прочность

Расчет толщины рубашки аппарата ( $S_1$ ) из условий действия внутреннего давления ( $P_1$ )

Расчет будем производить по ГОСТ 14249-2007[28]. Толщина стенки рассчитывается по формуле:

$$S_R = \frac{P_1 \cdot D_1}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_1}, S \geq S_R + C,$$

где  $P_1$  – давление внутри аппарата, 0,2 МПа;

$D_1$  – внутренний диаметр аппарата, мм;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение материала аппарата, МПа;

$[\sigma] = 180$  МПа;

$\varphi_p$  – коэффициент прочности сварного шва,  $\varphi_p = 1$ .

$$S_p = \frac{0,2 \cdot 2400}{2 \cdot 180 \cdot 1 - 0,2} = 0,66 \text{ мм};$$

$$S \geq 0,66 + 2 \geq 2,66 \text{ мм},$$

из конструктивных соображений принимаем  $S_1 = 3$  мм.

Расчётная толщина цилиндрической обечайки корпуса под действием наружного давления:

$$S_{R\kappa} = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\},$$

$$S_{расч} = \max \left\{ P_{расч} \frac{D}{2\varphi \cdot \delta_o - P_{расч}} \right\},$$

$$P_{исп} = \frac{D}{2\varphi \cdot \delta_o - P_{расч}} \left\{ \right.$$

$$S_{\kappa} \geq S_{R\kappa} + C; ,$$

где  $p$  – наружное давление на корпус аппарата, МПа;

$D$  – внутренний диаметр обечайки, мм;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение материала обечайки, МПа;

$K_2$  – коэффициент, определяемый по номограмме при

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

$$K_3 = \frac{l}{D} = \frac{2800}{2400} = 1,17;$$

$$K_2 = 0,4.$$

Воспользуемся формулой:

$$S_{R\kappa} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 2400 \cdot 10^{-2} = 10 \text{ мм} \\ \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 2400}{2 \cdot 180} = 2,26 \text{ мм} \end{array} \right\} = 10 \text{ мм}$$

Исходя из самых неблагоприятных условий работы аппарата, выбираем наибольшую расчётную толщину стенки обечайки корпуса –  $S_{R\kappa} = 10$  мм.

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки корпуса в первом приближении

$$S_k \geq 10 + 2 = 12 \text{ мм.}$$

Принимаем значение  $S_k = 12 \text{ мм.}$

Допускаемое наружное давление:

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

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_k - C)}{D + (S_k - C)}; \quad [p]_p = \frac{2 \cdot 180 \cdot (12 - 2)}{2400 + (12 - 2)} = 1,9 \text{ МПа,}$$

а допускаемое давление из условия устойчивости определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot l} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S_k - C)}{D} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S_k - C)}{D}},$$

$$\text{где } B_1 = \min \left\{ 1,0; \quad 8,15 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S_k - C)}} \right\},$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; \quad 8,15 \cdot \frac{2400}{2800} \cdot \sqrt{\frac{2400}{100 \cdot (15 - 2)}} = 7,8 \right\} = 1,$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot 2400}{2,4 \cdot 1 \cdot 2800} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (15 - 2)}{2400} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (15 - 2)}{2400}} = 0,41 \text{ МПа,}$$

$$[p] = \frac{1,9}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,9}{0,41}\right)^2}} = 0,4 \text{ МПа}$$

Условие  $[p] > p$  выполняется ( $0,4 > 0,3$ ).

Основные геометрические характеристики опоры аппарата представлены в табл. 3.6.

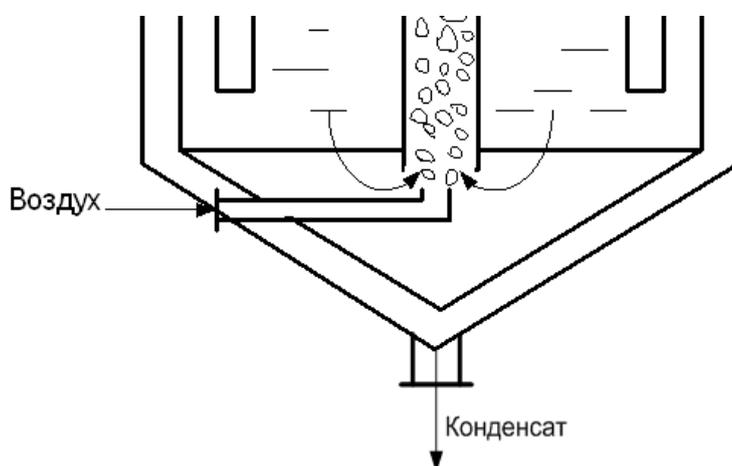
Таблица 3.6 – Основные размеры опор аппарата

Q	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	H	h	s	a	a <sub>1</sub>
кН	мм												
40	170	200	150	180	150	240	40	110	420	24	12	12	125

Продолжение таблицы 3.6

a <sub>2</sub>	R	d	d <sub>6</sub>
мм			
20	18	35	M24

### 3.1.7.3 Расчёт днища



Используем коническое отбортованное стальное днище с внутренним базовым диаметром  $D$  по ГОСТ 12619-78.[28]

Толщина стенки днища:

$$S_{R\theta} = \max \left\{ K_2 \cdot D_E \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D_E}{2 \cdot [\sigma]} \right\},$$

где  $D_E = \frac{D}{2 \cdot \cos \alpha}$ ,

$$l_E = \frac{D}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad D_E = \frac{2400}{2 \cdot \cos 60} = 2400 \text{ мм},$$

$$l_E = \frac{2400}{2 \cdot \sin 60} = 1386 \text{ мм}$$

$K_2$  – коэффициент, определяемый по номограмме при

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

$$K_3 = \frac{l_E}{D_E} = \frac{1386}{2400} = 0,58; \quad K_2 = 0,39.$$

$$S_{R\delta} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,39 \cdot 2400 \cdot 10^{-2} = 9,36 \text{ мм} \\ \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 2400}{2 \cdot 180} = 2,2 \text{ мм} \end{array} \right\} = 9,36 \text{ мм}$$

$$S_\delta \geq S_{R\delta} + C;$$

$$S_\delta \geq 9,36 + 2 = 11,36;$$

Принимаем  $S_\delta = 12$  мм.

Допускаемое наружное давление:

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

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_P = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_\delta - C)}{\frac{D_E}{\cos \alpha} + (S_\delta - C)};$$

$$[p]_P = \frac{2 \cdot 180 \cdot (12 - 2)}{\frac{2400}{\cos 60^\circ} + (12 - 2)} = 0,75 \text{ МПа},$$

а допускаемое давление из условия устойчивости определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S_\delta - C)}{D_E} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S_\delta - C)}{D_E}}$$

$$\text{где } B_1 = \min \left\{ 1,0; \quad 8,15 \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \sqrt{\frac{D_E}{100 \cdot (S_\delta - C)}} \right\}$$

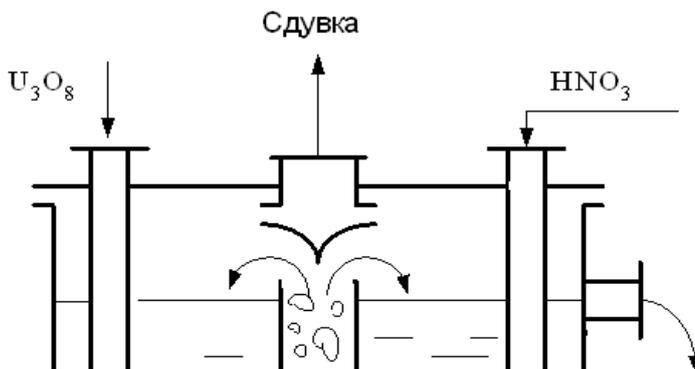
$$B_1 = \min \left\{ 1,0; \quad 8,15 \cdot \frac{2400}{1386} \cdot \sqrt{\frac{2400}{100 \cdot (12 - 2)}} = 21,7 \right\} = 1$$

$$[p]_E = \frac{20,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{2400}{1386} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (12 - 2)}{2400} \right]^{2,5} = 0,35 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{0,75}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,75}{0,35} \right)^2}} = 0,32 \text{ МПа}$$

Условие  $[p] > p$  выполняется ( $0,32 > 0,3$ ).

### 3.1.7.4 Расчёт крышки



Используем плоскую крышку с внутренним базовым диаметром  $D$ . Принимаем толщину крышки равной толщине обечайки при действии внутреннего давления.

$$S_{1p} = k \cdot D_{c.n} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}}, \quad S_1 \geq S_{1p} + C,$$

где  $k$  – коэффициент конструкции крышки, принимаем равным 0,41;

$s$  и  $s_r$  – расчетная и исполнительная толщина стенки, мм;

$D_{c.n}$  – средний диаметр прокладки, принимаем равным 400 мм.

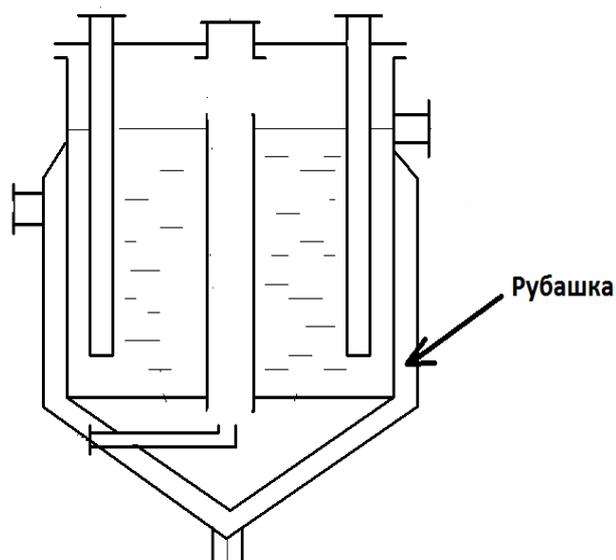
$$S_{1p} = 0,41 \cdot 400 \cdot \sqrt{\frac{0,3}{138}} = 7,6 \text{ мм},$$

$$S \geq 7,6 + 2 = 9,6 \text{ мм}.$$

Принимаем  $S_{кр} = 10$  мм.

Условие выполняется.

### 3.1.7.5 Расчёт теплообменной рубашки



Расчёт толщины стенки рубашки проводим из условия действия внутреннего давления  $p$ .

$$S_{Rp} = \frac{p \cdot D_p}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p};$$

$$S_{Rp} = \frac{0,3 \cdot 2500}{2 \cdot 180 - 0,3} = 2,08 \text{ мм.}$$

$$S_p \geq S_{Rp} + C;$$

$$S_p \geq 2,08 + 2 = 4,08 \text{ мм. Принимаем } S_p = 5 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее давление

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_p - C)}{D_p + (S_p - C)};$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 180 \cdot (5 - 2)}{2400 + (5 - 2)} = 0,4 \text{ МПа.}$$

Условие  $p \leq [p]$  выполняется ( $0,3 \leq 0,4$ ).

### 3.1.7.6 Расчет нагрузки действующей на опоры

Найдем массу пустого аппарата

$$m_{\text{аппар}} = 1,25 \cdot (m_{\text{корп.}} + m_{\text{крышки}} + m_{\text{днища}} + m_{\text{рубашки}} + m_{\text{раствора}}).$$

Масса корпуса:

$$\begin{aligned} m_{\text{корп.}} &= \frac{\pi \cdot (D_H^2 - D^2)}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{стали}} = \\ &= \frac{3,14 \cdot (2,424^2 - 2,4^2)}{4} \cdot 2,8 \cdot 7850 = 2000 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса крышки:

$$m_{\text{крышки}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кр}}^2}{4} \cdot S_{\text{к}} \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 2,41^2}{4} \cdot 0,003 \cdot 7850 = 107 \text{ кг}.$$

Масса днища:

$$m_{\text{днища}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot \sin \alpha} \cdot S_{\text{д}} \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 2,424^2}{4 \cdot \sin 60} \cdot 0,012 \cdot 7850 = 502 \text{ кг}.$$

Масса рубашки:

$$\begin{aligned} m_{\text{руб.}} &= \frac{\pi \cdot (D_{H_p}^2 - D_p^2)}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{стали}} = \\ &= \frac{3,14 \cdot (2,51^2 - 2,5^2)}{4} \cdot 1,5 \cdot 7850 = 463 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса раствора:

$$m_{\text{см}} = G \cdot \tau,$$

где  $G$  – массовый расход смеси, кг/ч;

$\tau$  – время процесса, ч,

Тогда  $m_{\text{см}} = 2590,73 \cdot 4 = 10,362 \text{ кг}.$

$$m_{\text{руб.}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{воды}}$$

Опоры аппарата выбираем по ОН 26-01-69—68. Для аппарата принимаем количество лап  $n = 4$ , следовательно, нагрузка на одну опору составит:

$$Q = \frac{M}{3} = \frac{11527}{3} = 3753 \text{ N}.$$

Конструкция стандартной опоры для сварных вертикальных аппаратов приведена на рис. 3.3.

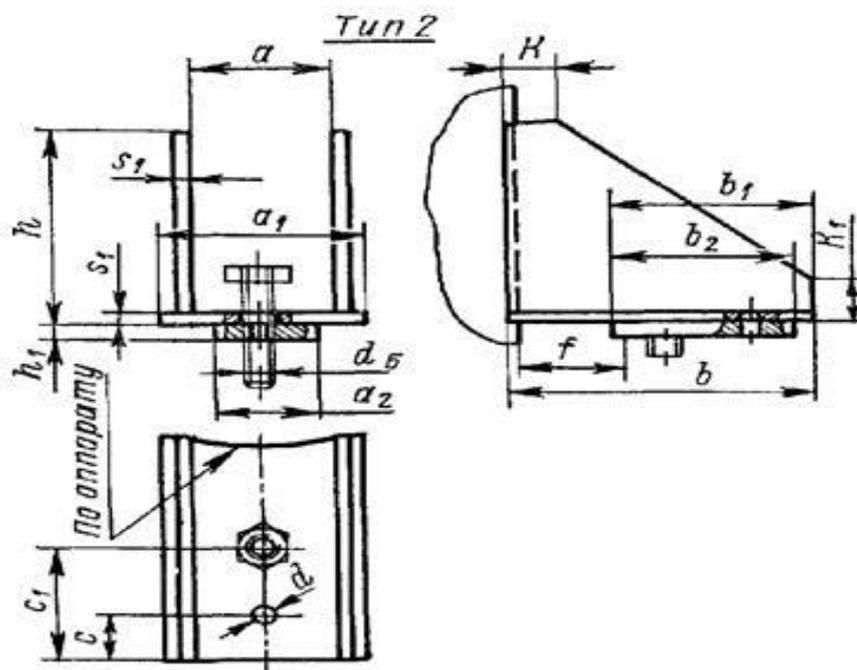


Рисунок 3.3 – Эскиз опор

### 3.1.7.7 Расчет опор

Реакции опор, вертикального аппарата, установленного на 4 седловых опорах, состоящих из стойки, основания, трёх ребер жесткости и опорного листа, рассчитывается по формуле [29]

$$Q = G / 4, \quad (3.34)$$

где  $G$  – наибольшая из сил тяжести аппарата в рабочем режиме,  $H$ :

$$G = (m_{\text{ап-та}} + m_{\text{прод.реокц}}) \cdot g, \quad (3.35)$$

где  $m_{\text{ап-та}} = 700$  кг;

$m_{\text{прод. реакц}} = 125$  кг;

$g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

Тогда:

$$G = (700 + 125) \cdot 9,8 = 8085 \text{ Н} = 8,085 \text{ кН};$$

Таким образом

$$Q = 8,085 / 4 = 2,021 \text{ кН.}$$

Проверим достаточно ли площадь  $A_n$  нижнего подкладного листа опоры. При этом удельная нагрузка на фундамент не должна превышать следующих допускаемых напряжений:

$$A_n \geq Q / [\sigma]_\phi,$$

где  $[\sigma]_\phi$  – допускаемое напряжение, для бетона равно 15000 кПа.

Тогда

$$A_n \geq 2,021 / 15000,$$

$$1 \text{ МПа} \geq 0,13 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

Прочность угловых сварных швов, соединяющих рёбра опор с корпусом аппарата, проверяют по условию:

$$Q / (0,7 \cdot k \cdot l_w) \leq [\tau], \quad (3.36)$$

где  $k$  – катет шва, равен  $5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$ ;

$l_w$  – общая длина швов, равна  $5 \text{ м}$ ;

$[\tau]$  – допускаемое напряжение для материалов швов:

$$[\tau] = 0,6 \cdot \phi \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 142,2 = 67,1 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$0,002 / (0,7 \cdot 0,005 \cdot 5) \leq 67,1,$$

$$0,11 \text{ МПа} \leq 67,1 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

### 3.1.7.8 Выбор фланцев

В химических аппаратах для разъёмного соединения составных корпусов и отдельных частей применяются фланцевые соединения круглой формы. Фланцевые соединения должны быть прочными, жесткими, герметичными и доступными для сборки и осмотра. Конструкция стандартного фланца показана на рисунке 3.4 .

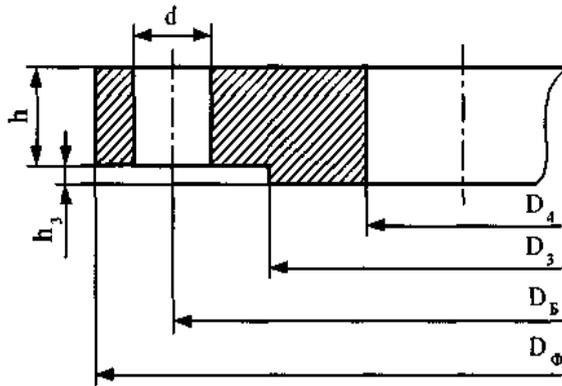


Рисунок 3.4 – Конструкция стандартного стального фланца.

а) Конструктивные размеры фланца

Толщину втулки принимаем  $s_0 = 5$  мм, что удовлетворяет условию [29]:

$$s > s_0 > 1,3s,$$

$$(6 < 7 < 7,8).$$

и

$$s_0 - s < 5 \text{ мм},$$

$$(7 - 6 < 5 \text{ мм}).$$

Толщину втулки  $s_1$  по формуле:

$$s_1 = \beta_1 \cdot s_0,$$

где  $\beta = 2,5$  при  $D/s_0 = 800/7 = 114$ .

$$s_1 = 2,5 \cdot 5 = 12,5 \text{ мм}.$$

Высоту втулки принимаем по формуле:

$$h_g \geq \frac{1}{i} (s_1 - s_0),$$

где  $i = 1/3$ .

$$h_g = \frac{1}{1/3} (12,5 - 5) = 16,5 \text{ мм}.$$

Принимаем  $h_g = 20$  мм = 0,02 м.

Эквивалентная толщина втулки фланца равна:

$$s_{\text{эк}} = s_0 \left[ 1 + \frac{h_6 (\beta_1 - 1)}{h_6 + 0,25(\beta_1 + 1) \sqrt{Ds_0}} \right],$$
$$s_{\text{эк}} = 7 \cdot \left[ 1 + \frac{20 \cdot (2,5 - 1)}{20 + 0,25 \cdot (2,5 + 1) \cdot \sqrt{800 \cdot 7}} \right] = 9,46 \text{ мм.}$$

Диаметр болтовой окружности по формуле:

$$D_{\sigma} \geq D + 2(s_1 + d_{\sigma} + u),$$

где  $u = 6$  мм;

$$d_{\sigma} = 20 \text{ мм при } p_p = 0,3 \text{ МПа и } D = 800 \text{ мм.}$$

$$D_{\sigma} = 800 + 2 \cdot (12,5 + 20 + 6) = 877 \text{ мм.}$$

Принимаем  $D_{\sigma} = 880$  мм = 0,88 м.

Наружный диаметр фланца:

$$D_n \geq D_{\sigma} + a,$$

где  $a = 40$  мм – для шестигранных гаек М20.

$$D_n = 880 + 40 = 920 \text{ мм.}$$

Принимаем  $D_n = 930$  мм = 0,93 м.

Наружный диаметр прокладки по формуле:

$$D_{n.n} \geq D_{\sigma} - e,$$

где  $e = 30$  мм – для плоских прокладок при  $d_{\sigma} = 20$  мм.

$$D_{n.n} \geq 880 - 20 = 860 \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{c.n} \geq D_{n.n} - b,$$

где  $b = 12$  мм – ширина плоской неметаллической прокладки для диаметра аппарата  $D = 800$  мм.

$$D_{c.n} = 860 - 12 = 848 \text{ мм} = 0,848 \text{ м.}$$

Количество болтов по формуле:

$$n_{\sigma} \geq \pi D_{\sigma} / t_u,$$

где  $t_u$  – шаг расположения болтов, при  $p_p = 0,3$  МПа равен:

$$t_u = 4,5d_\sigma = 4,5 \cdot 20 = 90 \text{ мм.}$$

Тогда

$$n_\sigma = 3,14 \cdot 880 / 90 = 30,7.$$

Принимаем  $n_\sigma = 32$ , кратное четырем.

Высота (толщина) фланца по формуле:

$$h_\phi \geq \lambda_\phi \sqrt{Ds_{\text{эк}}},$$

$\lambda_\phi = 0,26$  – для  $p_p = 0,3$  МПа приварных встык фланцев.

$$h_\phi = 0,26 \sqrt{800 \cdot 9,46} = 22,6 \text{ мм.}$$

Принимаем  $h_\phi = 23 \text{ мм} = 0,023 \text{ м}$ .

Расстояние между опорными поверхностями гаек для фланцевого соединения с уплотнительной поверхностью типа «шип-паз» (ориентировочно):

$$l_{\sigma.o} \approx 2(h_\phi + h_n),$$

где  $h_n = 2 \text{ мм}$  – высота (толщина) стандартной прокладки.

$$l_{\sigma.o} \approx 2 \cdot (23 + 2) = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м.}$$

б) Нагрузки, действующие на фланец

Равнодействующая внутреннего давления:

$$F_\sigma = p_p \pi D_{c.n}^2 / 4, = 0,3 \cdot 3,14 \cdot 0,848^2 / 4 = 0,17 \text{ МН.}$$

Реакция прокладки по формуле:

$$R_n = p_p \pi D_{c.n} b_0 m,$$

где  $m = 2,5$  - для картон асбестовой прокладки;

$b_0$  – эффективная ширина прокладки:

$$b_0 = 0,5b = 0,5 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Тогда

$$R_n = 0,3 \cdot 3,14 \cdot 0,848 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 = 0,01 \text{ МН.}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций, по формуле:

$$F_t = \frac{y_{\delta} n_{\delta} f_{\delta} E (\alpha_{\phi} t_{\phi} - \alpha_{\delta} t_{\delta})}{y_n + y_{\delta} + 0,5 y_{\phi} (D_{\delta} - D_{c.n})^2},$$

где  $\alpha_{\phi}$  – коэффициент линейного расширения материала фланца:

$$\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C};$$

$\alpha_{\delta}$  – коэффициент линейного расширения материала фланца:

$$\alpha_{\delta} = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C};$$

$t_{\phi}$  – расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi} = 0,96t = 0,96 \cdot 100 = 96^{\circ}\text{C};$$

$t_{\delta}$  – расчетная температура болтов:

$$t_{\delta} = 0,95t = 0,95 \cdot 100 = 95^{\circ}\text{C};$$

$f_{\delta}$  – расчетная площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы,  $\text{м}^2$ :  $f_{\delta} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – для болтов диаметром  $d_{\delta} = 20 \text{ мм}$ ;

$n_{\delta}$  – количество болтов:  $n_{\delta} = 12$ ;

$y_{\delta}$  – податливость болтов, м/МН:

$$y_{\delta} = \frac{l_{\delta}}{E_{\delta} f_{\delta} n_{\delta}},$$

где  $l_{\delta}$  – расчетная длина болта, м:

$$l_{\delta} = l_{\delta.o} + 0,28d_{\delta} = 0,05 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,06 \text{ м}.$$

Тогда

$$y_{\delta} = \frac{0,06}{2 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 32} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$y_n$  – податливость прокладки, м/МН:

$$y_n = \frac{h_n}{E_n \pi D_{c.n} b},$$

где  $E_n = 2000 \text{ МПа}$  – для прокладки из картон - асбеста;

$$y_n = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,848 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$y_{\phi}$  – податливость фланцев, м/МН:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_{\phi})]\psi_2}{h_{\phi}^3 E},$$

где  $\lambda'_{\phi}$  - коэффициент равный:

$$\lambda'_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{Ds_{\text{эк}}}} = \frac{0,023}{\sqrt{0,8 \cdot 9,46 \cdot 10^{-3}}} = 0,264;$$

$\psi_2$  – параметр, определяемый по формуле:

$$\psi_2 = \frac{D_n + D}{D_n - D} = \frac{0,93 + 0,8}{0,93 - 0,8} = 13,3;$$

$\nu$  – безразмерный параметр, равный:

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9\lambda'_{\phi} \left( 1 + \frac{\psi_1 h_{\phi}^2}{s_{\text{эк}}^2} \right)},$$

где  $\psi_1$  – параметр определяемый по формуле:

$$\psi_1 = 1,28 \lg\left(\frac{D_n}{D}\right) = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{0,93}{0,8}\right) = 0,084.$$

Тогда

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,264 \cdot \left( 1 + \frac{0,084 \cdot 0,023^2}{(9,46 \cdot 10^{-3})^2} \right)} = 0,738;$$

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,738 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,264)] \cdot 13,3}{0,023^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,47 \text{ МН.}$$

Таким образом

$$F_t = \frac{4,0 \cdot 10^{-5} \cdot 32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 96 - 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 95)}{3,1 \cdot 10^{-5} + 4,0 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,47 \cdot (0,88 - 0,848)^2} =$$

$$= 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ МН.}$$

Коэффициент тяжести фланцевого соединения по формуле:

$$k_{\text{жс}} = \frac{y_{\bar{\sigma}} + 0,5 y_{\phi} (D_{\bar{\sigma}} - D - s_{\text{эк}})(D_{\bar{\sigma}} - D_{\text{с.н}})}{y_n + y_{\bar{\sigma}} + 0,5 y_{\phi} (D_{\bar{\sigma}} - D_{\text{с.н}})^2},$$

$$k_{жс} = \frac{4,0 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,47 \cdot (0,88 - 0,8 - 9,46 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,88 - 0,848)}{3,1 \cdot 10^{-5} + 4,0 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,47 \cdot (0,88 - 0,848)^2} = 1,83.$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа до подачи внутреннего давления:

$$F_{\sigma_1} = \max \left\{ k_{жс} F_{\delta} + R_n \right\},$$

$$0,5 \pi D_{c.n} b_0 q,$$

где  $q = 20$  МПа - для картон асбестовой прокладки

$$F_{\sigma_1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,83 \cdot 0,17 + 0,01 = 0,32 \text{ МН} \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,848 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,16 \text{ МН} \end{array} \right\} = 0,32 \text{ МН}.$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях по формуле:

$$F_{\sigma_2} = F_{\sigma_1} + (1 - k_{жс}) F_{\delta} + F_t = 0,32 + (1 - 1,83) \cdot 0,17 + 6,4 \cdot 10^{-3} = 0,19 \text{ МН}.$$

Приведенный изгибающий момент по формуле:

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5(D_{\delta} - D_{c.n}) F_{\sigma_1} \\ 0,5[(D_{\delta} - D_{c.n}) F_{\sigma_2} + (D_{c.n} - D - s_{эж}) F_{\delta}] \frac{[\sigma]_{M20}}{[\sigma]_M} \end{array} \right\},$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,88 - 0,848) \cdot 0,32 = 0,005 \text{ МН} \\ 0,5 \cdot \left[ (0,88 - 0,848) \cdot 0,19 + \right. \\ \left. + (0,848 - 0,8 - 9,46 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,17 \right] \times \frac{232}{230} = 0,006 \text{ МН} \end{array} \right\} =$$

$$= 0,006 \text{ МН}.$$

в) Проверка прочности и герметичности соединения. Условия прочности болтов:

$$\frac{F_{\delta_1}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta_{20}},$$

$$\frac{0,32}{32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} < 232,$$

$$42,6 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа}.$$

$$\frac{F_{\delta_2}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta},$$

$$\frac{0,19}{32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} < 230,$$

$$25,3 \text{ МПа} < 229 \text{ МПа}.$$

Условия прочности болтов выполняются.

Условие прочности неметаллической прокладки из картон асбеста выполняется:

$$\frac{F_{\sigma \max}}{\pi D_{c.n} b} < [q_{np}]$$

где  $q_{np} = 130 \text{ МПа}$ ;

$$F_{\sigma \max} = \max \{ F_{\sigma 1}; F_{\sigma 2} \} = \{ 0,32; 0,19 \} = 0,32 \text{ МПа}.$$

Тогда

$$\frac{0,32}{3,14 \cdot 0,848 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} < 130,$$

$$10 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$$

Условие прочности неметаллической прокладки выполняется.

Максимальное напряжение в сечении фланца, ограниченным размером  $s_1$ , по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{T_{\phi} M_0 \nu}{D^* (s_1 - c)^2},$$

где  $D^* = D = 0,22 \text{ м}$  при  $D > 20s_1$  ( $0,22 > 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,2$ );

$T_{\phi}$  - безразмерный параметр, рассчитывается по формуле:

$$T_{\phi} = \frac{D_n^2 \left[ 1 + 8,55 \lg \left( \frac{D_n}{D} \right) \right] - D^2}{(1,05 D^2 + 1,945 D_n^2) \left( \frac{D_n}{D} - 1 \right)}$$

$$T_{\phi} = \frac{0,93^2 \cdot \left[ 1 + 8,55 \cdot \lg \left( \frac{0,93}{0,8} \right) \right] - 0,8^2}{(1,05 \cdot 0,8^2 + 1,945 \cdot 0,93^2) \left( \frac{0,93}{0,8} - 1 \right)} = 1,85.$$

Тогда:

$$\sigma_1 = \frac{1,85 \cdot 0,006 \cdot 0,738}{0,8 \cdot (12,5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})^2} = 92,9 \text{ МПа.}$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченным размером  $s_0$ :

$$\sigma_0 = \psi_3 \sigma_1,$$

где  $\psi_3$  - параметр определяемый по формуле: при  $\beta = 2,5$  и  $x = h_g / \sqrt{Ds_0} = 20 / \sqrt{800 \cdot 7} = 0,267$ , :  $\psi_3 = 2,8$ .

Тогда

$$\sigma_0 = 2,8 \cdot 92,9 = 260,1 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в кольце фланца по формуле:

$$\sigma_\kappa = \frac{M_0 [1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_\phi)] \psi_2}{Dh_\phi^2},$$

$$\sigma_\kappa = \frac{0,006 [1 - 0,738(1 + 0,9 \cdot 0,264)] 13,3}{0,8 \cdot 0,023^2} = 16,3 \text{ МПа.}$$

Напряжение во втулке от внутреннего давления:

- тангенциальное

$$\sigma_t = \frac{P_p D}{2(s_0 - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,8}{2(7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 24 \text{ МПа;}$$

- меридиональное

$$\sigma_m = \frac{P_p D}{4(s_0 - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,8}{4(7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 12 \text{ МПа.}$$

Условие прочности для сечения фланца, ограниченного размером  $s_1$ :

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_\kappa^2} - \sigma_1 \sigma_\kappa < [\sigma]_1,$$

где  $[\sigma]_1$  - допускаемое напряжение, равное пределу текучести стали 12X18H10T при  $t = 80^\circ\text{C}$ :  $[\sigma]_1 = [\sigma]_r = 228 \text{ МПа}$ .

Отсюда находим, что

$$\sqrt{92,9^2 + 16,3^2 - 92,9 \cdot 16,3} < 228,$$

$$85,9 \text{ МПа} < 228 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

Условие прочности для сечения, ограниченного размером  $s_0$ :

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_0 + \sigma_m)\sigma_t} < \varphi[\sigma]_0,$$

где  $[\sigma]_0$  – допускаемое напряжение для фланца из стали 12Х18Н10Т в сечении  $s_0$  при  $p_p = 0,3$  МПа:

$$[\sigma]_0 = 0,002E,$$

$$[\sigma]_0 = 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ МПа};$$

Тогда

$$\sqrt{(260,1 + 12)^2 + 24^2 - (260,1 + 12) \cdot 24} < 1 \cdot 400,$$

$$260,9 \text{ МПа} < 400 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

Условие герметичности, определяемое углом поворота фланца:

$$\theta = \left( \frac{\sigma_k}{E} \right) \left( \frac{D}{h_\phi} \right) < [\theta],$$

где  $[\theta]$  – допускаемый угол поворота приварного встык фланца при  $D = 800$  мм  $< 2000$  мм:  $[\theta] = 0,009$  рад.

Тогда

$$\left( \frac{19,3}{2 \cdot 10^5} \right) \left( \frac{0,8}{0,023} \right) < 0,009,$$

$$0,003 < 0,009.$$

Условие герметичности выполняется.

Стандартные размеры для фланца с соединительным выступом и впадиной приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Фланцы для труб и трубной арматуры стальные плоские с соединительным выступом.

Размеры, мм						
$D_y$	$D_\Phi$	$D_B$	$D_H$	$h$	$d$	$Z$
15	80	55	20	10	12	4
25	100	75	34	12	12	4
50	140	110	59	10	14	4
80	185	150	91	11	18	4
250	370	335	279	20	18	12

## 4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Стороны ставят в числе приоритетных целей Соглашения создание условий, содействующих формированию структурно развитой, обеспечивающей нужды страны и населения, конкурентоспособной экономики на базе рабочих мест, позволяющих использовать материальные и человеческие ресурсы эффективно с точки зрения интересов всех субъектов экономики; обеспечение нового, более высокого уровня жизни граждан Российской Федерации, прежде всего за счет кардинального повышения эффективности государственного управления и **социальной ответственности** всех субъектов экономики, внедрения принципов достойного труда на основе подходов Международной организации труда.

### 4.1 Характеристика технологического процесса

В данном дипломном проекте разрабатывается установка растворения уранилнитрата азотной кислотой.

Основным аппаратом является агитатор-растворитель, закрытого типа (так, как в процессе выщелачивания происходит выделение вредных паров и газов азотной кислоты). Но даже в аппаратах закрытого типа источником выделения вредных паров и газов является нарушение герметичности аппарата при открывании люков и штуцеров для визуального контроля, замеров уровня и отборов проб.

Производственная деятельность на этой установке связана с образованием отходов, находящихся в различных агрегатных состояниях и имеющих загрязнения в виде радионуклидов (РН) и вредных химических веществ (ВХВ).

Работа установки может сопровождаться воздействием на атмосферу, гидросферу и почвенный покров.

## 4.2 Производственная безопасность

### 4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В условиях работы аппаратчика, необходимо осуществление комплекса мер по предупреждению и уменьшению воздействия вредных производственных факторов.

Для целостного представления обо всех вредных факторах, выявленных в процессе работы, составим табл.4.1.

Таблица 4.1 Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ )		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Контроль технологического процесса в помещении для аппаратчиков	1. Отклонение показателей микроклимата в помещении	1. Электрический ток	1 .СанПиН 2.2.4.548-96 [97], 2. СанПиН 2.2.4.1191-03. [99]
2. Обход технологической цепочки и отбор проб	1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе 2. Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. Электрический ток	1. Р 2.2.2006-05 [104] 2. СанПиН 2.1.6.1032-01 [101] ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ[17] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[19]

### 4.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих

#### 4.3.1. Состояние воздушной среды

При температурах воздуха 25°С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

70% - при температуре воздуха 25° С; 65% - при температуре воздуха 26° С;

60% - при температуре воздуха 27° С; 55% - при температуре воздуха 28° С

Исходный концентрат урана состоит из MoO<sub>3</sub>, AsO<sub>3</sub>, CuO, SiO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, MgO.

Вещества, используемые на проектируемой установке, по степени опасности относятся к вредным химическим веществам 1 (чрезвычайно опасные) и 3 (умеренно опасные) класса опасности. Перечень вредных химических веществ, нормативы их концентраций в воздухе рабочей зоны представлены в табл. 4.2

Таблица 4.2 Перечень вредных химических веществ, их характеристики (по ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование вещества	ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние
Уран, нерастворимое соединение	0,075	1	аэрозоли
Уран, растворимое соединение	0,015	1	аэрозоли
Окислы азота	2	3	газ
Азотная кислота	2	3	аэрозоли

Для обеспечения химической безопасности при работе на установке предусматриваются следующие организационные и технические мероприятия:

- герметичность технологического оборудования и коммуникаций;
- применение материалов для оборудования, устойчивых в коррозионной среде;
- система блокировок и отключение оборудования при отклонении от заданных технологических параметров;
- контроль содержания вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений: для веществ 1 класса опасности – постоянный контроль с применением самопишущих приборов и устройств, а для веществ 3 класса опасности – контроль периодический ( отбор проб не менее 5 раз в смену);
- обеспечение обслуживающего персонала спецодеждой, спецобувью средствами индивидуальной защиты при выполнении работ;
- исключение пыления из бункера загрузочного устройства в помещение путем создания сдувочной системы через фильтр.

#### **4.4 Радиационная безопасность**

Уран является  $\alpha$ -излучателем. Учитывая свойства  $\alpha$ -излучения, работа с урановыми соединениями создает опасность облучения тканей организма при попадании их внутрь путем вдыхания или заглатывания.

Опасность внешнего облучения при работе с природным ураном обусловлена также:

- $\beta$ -излучением примесей тория Th и протактиния Pa;
- $\gamma$ -излучением примесей Ra.

Допустимая объемная активность концентрата урана, содержащего в основном изотоп уран-238, в воздухе для персонала составляет 1,1 Бк/м<sup>3</sup>. Допустимая объемная активность урана - 238 в атмосферном воздухе для населения составляет  $4,0 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог и др.) и стохастические беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы и др.). Степень воздействия радиации зависит от того, является облучение внешним или внутренним (при попадании радиоактивного изотопа внутрь организма). Внутреннее облучение возможно при вдыхании, заглатывании радиоизотопов и проникновении их в организм через кожу. Некоторые вещества поглощаются и накапливаются в конкретных органах, что приводит к высоким локальным дозам радиации [8].

Гигиеническая регламентация ионизирующего излучения осуществляется нормами радиационной безопасности СанПиН 2.6.1.2523-09. Основные дозовые пределы облучения и допустимые уровни устанавливаются для следующих категорий облучаемых лиц:

- персонал – лица, работающие с техногенными источниками (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются 3 класса нормативов:

- а) основные пределы доз (ПД);
- б) допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДУА);
- в) контрольные уровни.

Мероприятия по обеспечению радиационной (а также и химической) безопасности на участке:

- защита обслуживающего персонала от радиационного  $\beta$ - и  $\gamma$ -облучения обеспечивается размещением основного оборудования в каньонах;
- создание разрежения в оборудовании;

- защита персонала от излучения при работе на узлах загрузки с целью не превышения основного дозового предела – 20 мЗв/год не требуется;
- обеспечение обслуживающего персонала спецодеждой, спецобувью средствами индивидуальной защиты при выполнении работ;
- создание системы блокировок на отключение оборудования при нарушениях технологического процесса, световой и звуковой сигнализации при отклонении от технологических параметров или аварийных ситуациях.
- очистка реакционных газов и отдувки из растворителей, можусов, баков производится на узле газоочистки;
- изготовление оборудования участка герметичным из нержавеющей стали, обеспечивающей ему коррозионную стойкость;
- организация контроля на участке за радиационной обстановкой.

Для обеспечения радиационного контроля на установке предусматриваются носимые дозиметры – радиометры. Контроль содержания радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений осуществляется с применением съёмных фильтров путем анализа осадка. Для контроля загрязнения рук, ног, обуви и спецодежды персонала  $\beta$ - и  $\alpha$ -активными веществами на выходах с участка устанавливают контрольные радиометрические установки.

#### **4.5. Освещенность**

Рациональное освещение производственных помещений и территории УРОУ имеет большое санитарно-гигиеническое значение и способствует правильной организации труда.

Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы.

В темное время суток территория УРОУ освещается прожекторами.

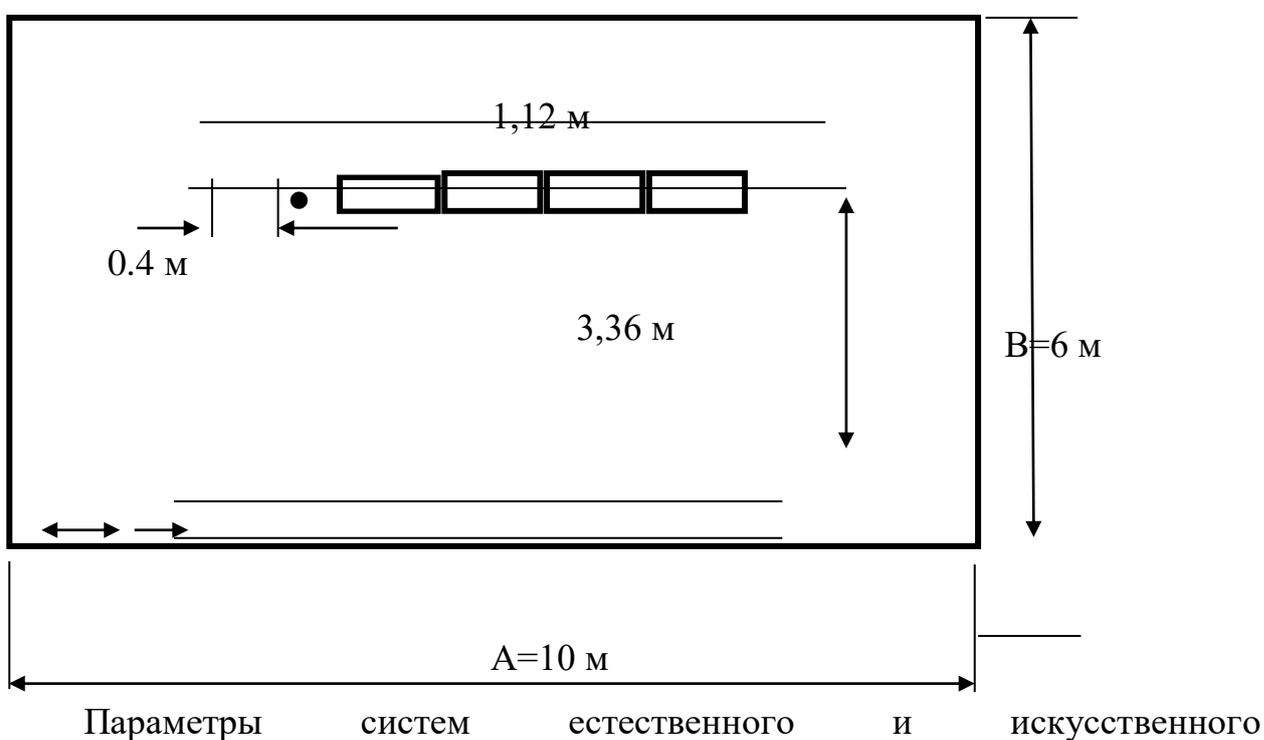
В связи с тем, что условия деятельности УРОУ имеет непрерывный характер работы, особенно важным становится вопрос производственного

освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение.

Для искусственного освещения используют светильники с люминесцентными лампами ЛБ -белого цвета или ЛТБ - тепло-белого цвета, мощностью 20, 40, 80 Вт.

Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 2.2.4.584-96, для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами



Параметры систем естественного и искусственного освещения приведены в табл.4.3.

Фактические параметры освещения на рабочем месте соответствует допустимым.

Принятая система освещения, включающая общее освещение (рабочее), аварийное (резервное) освещение и служебное (ремонтное) освещение, обеспечивает нормальные условия обслуживающему персоналу для проведения необходимых операций.

## 4.6. Шумы

Работа УРОУ сопровождается шумом, источниками которых на местах являются электродвигатели, трубопроводы.

Повышение уровня шума неблагоприятно сказывается на организме человека и результатах его деятельности.

При длительном воздействии шума не только снижается острота слуха, но и изменяется кровяное давление, ослабляется внимание, зрение, происходит изменение в двигательных центрах. Особенно неблагоприятное воздействие оказывает шум на нервную систему человека.

Предполагается, что общий уровень звукового давления от компрессорных агрегатов в каждом здании компрессорной составит 102 дБ. Уровень шума от остального оборудования на расстоянии 1 м не превышает 80 дБ. При обслуживании работающих компрессорных агрегатов персонал должен работать в звукоизолирующих наушниках.

Борьба с шумом и вибрацией ведется с помощью организационных и промышленных предприятий. Используются различные методы:

- Жесткое крепление вибрирующих деталей и узлов;
- Амортизация и виброизоляция с помощью стальных пружин и упругих материалов;
- Балансировка движущихся деталей;
- Изменения числа оборотов источника вибраций для увеличения разрыва между собственной частотой колебаний и резонансной частотой;
- Важным направлением борьбы с шумом являются звукоотражение, звукопоглощение, звукоизоляция.

В качестве звукопоглощающих материалов применяют войлок, вату, асбест.

#### **4.7. Электробезопасность**

Согласно ПУЭ[9] помещение УРОУ относится к особо опасным помещениям по поражению людей электрическим током.

- прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прикосновение к конструктивным частям электросети и электрооборудования, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции (например, прикосновение к корпусу электродвигателя, имеющего замыкание на корпус);
- нахождение вблизи места замыкания на землю (например, вблизи оборванного провода, упавшего на землю);
- прикосновение к конструктивным элементам помещения, случайно оказавшимся под напряжением (например, к мокрой стене, на которой возник потенциал) и другие.

Электробезопасность на участке растворения концентратов урана в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 79 обеспечивается:

- конструкцией установок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Соппротивление изоляции силовых и осветительных электроприборов должно быть не ниже 0,5 МОм. В качестве электрозащитных средств при работе на установке применяются основные: диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения; дополнительные: диэлектрические ковры, галоши и изолирующие подставки.

#### **Мероприятия по электробезопасности:**

- для работы на установке допускаются лица не моложе 18 лет прошедшие инструктаж по электробезопасности;

- при эксплуатации установки запрещается использовать кабели и провода с поврежденной изоляцией, потерявшей в процессе эксплуатации защитные электроизоляционные свойства;

- запрещается пользоваться поврежденными электроприборами, розетками, рубильниками и другими электроустановочными изделиями;

- все работы, связанные с ремонтом электрической части оборудования, производить только электротехническому персоналу цеха;

- все аппараты должны быть ограждены защитными перегородками;

- корпуса электродвигателей и другого оборудования заземлены;

- при ремонте электрической части оборудования электротехнический персонал цеха должен выполнять организационные и технические мероприятия согласно ПОТ Р М-016-2001

Организационные мероприятия: оформление работ нарядом, расположением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации; допуск к работе; надзор во время работы; оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Технические мероприятия: должны быть произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов; на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты; проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током; установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления); вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты

#### 4.8. Экологическая безопасность

Химические предприятия являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Все отходы производства подвергаются обязательной обработке [8] .

Источники загрязнения можно разделить на две группы:

- места специального выброса газа и пыли;
- места неограниченного выброса газа и пыли через не плотности в аппарате, коммуникационных линий.

Промышленные выбросы в атмосферу наносят большой экономический ущерб сельскому хозяйству. Основными причинами загрязнения атмосферного воздуха являются выбросы газов, паров и пыли без достаточной очистки от вредных примесей.

Основным мероприятием по борьбе с загрязнениями окружающей среды, если их источниками являются пыль, следует считать организацию технологического процесса, исключающего выброс пыли, и предусмотреть её химическую нейтрализацию. Задача очистки воздуха от мелкодисперсной пыли решается пропусканием воздуха рабочих помещений перед выбросом в атмосферу через специальные фильтры тонкой очистки.

Улавливание уран- и азотосодержащих соединений из технологических и вентиляционных газов является важной составной частью любого технологического процесса, связанного с производством и потреблением различных урансодержащих веществ.

Очистка промышленных газов, содержащих различные примеси, весьма сложный технологический процесс. Объём выбрасываемых газов велик, поэтому допустимое содержание вредных химических веществ в них должно быть очень низким.

Для санитарной очистки сбрасываемых уран- и азотосодержащих газов используется их улавливание на абсорбционных колоннах растворами NaOH и водой.

Работа газоочистных сооружений должна находиться под постоянным наблюдением. Основным требованием при эксплуатации этих устройств является обеспечение их герметичности.

Работы по очистке производятся в соответствующей спецодежде с применением средств индивидуальной защиты - респираторы, противогазы.

Для достижения санитарной нормы по содержанию азота и урана в воздухе вблизи населённых пунктов повсеместно используется рассеивание выбрасываемых газов через специальные высотные трубы. Это даёт возможность резко снизить концентрацию вредных соединений в приземном слое и обеспечивает нормальные условия обитания на территории промышленного комплекса.

Таблица 4.3.-Сточные воды

Наименование сточных вод	Место сбрасывания	Количество стоков, м <sup>3</sup> /сут	Периодичность сброса	Содержание вредных веществ (по компонентам), мг/л	Примечание
1. Дождевые и талые сточные воды	Подземная дренажная емкость	-	Периодически по мере накопления	Мех.примеси > 50мг/дм <sup>3</sup> ; Нефтепродукты > 50мг/дм <sup>3</sup>	Подземная дренажная емкость, затем в систему ППД

Таблица 4.4.-Образующиеся отходы

Наименование отхода	Способ хранения отхода	Годовой норматив образования	Срок хранения
Люминесцент-ныертутьсодержащие трубки отработанные и брак	В помещении, в закрытой таре завода изготовителя отдельно	0,012 т./ год 6 шт./год	Формирование транспортной партии 6 мес.
Отходы тканей, старой одежды (старая спецодежда, загрязненная)	В герметизированной таре отдельно (контейнер V=1 м3)	2.5 т./год	Формирование транспортной партии 1 неделя.
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	В герметизированной таре отдельно (контейнер V=0.5 м3)	1.2 т./год	Формирование транспортной партии 1 неделя.

#### 4.9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Аварийная остановка УРОУ возможна по следующим основным причинам:

- прекращение подачи сжатого воздуха и отключение вакуумных установок;
- отключение вентиляции;
- прекращение подачи электроэнергии;
- повреждение аппаратов и трубопроводов;

Мероприятия по предотвращению аварий являются наиболее сложными и трудоёмкими. Они представляют комплекс организованных и инженерно - технологических мероприятий, направленных на выявление и устранение причин аварий, максимальное снижение возможных разрушений и потерь в случае, если эти причины полностью не устранимы, а также на

создание благоприятных условий для организации и проведения аварийных восстановительных работ.

#### **4.9.1. Пожаровзрывобезопасность**

Технологическое оборудование УРОУ размещено в помещениях.

В соответствии с “Техническим регламентом о требовании пожарной безопасности Российской Федерации”, ФЗ-123 [14] № 390 «О противопожарном режиме»

Категории по взрывопожарной и пожарной опасности помещений проектируемой установки – Д (по НПБ 105 – 03), то есть это помещения, в которых имеются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Общие требования по обеспечению пожарной безопасности:

1) помещение и оборудование установки должны содержаться в чистоте:  
– проходы между оборудованием, выходы, лестницы и лестничные клетки должны быть свободны от посторонних предметов;

– должны быть свободны подходы к первичным средствам пожаротушения и средствам связи. Персонал должен знать их место нахождения в цехе.

2) транспортировка и хранение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, красок, лаков в производственном помещении должен производиться только в герметично закрытых металлических, маркированных емкостях. Количество материалов на рабочих местах не должно превышать сменную потребность.

3) персонал должен уметь оказать первую медицинскую помощь пострадавшим от отравления химическими веществами и пораженных электрическим током.

4) службы или лица, контролирующие условия труда, имеют право запретить продолжение работ, если имеются нарушения правил охраны труда и создается опасность для здоровья и жизни работающих.

Противопожарные мероприятия должны приниматься во внимание во время проектирования генплана:

- противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями;
- устройство пожарных проездов и подъездов к зданиям, пожарным гидрантам и водоемам;
- наличие разворотных площадок для пожарных машин, доступ пожарных автолестниц в помещение цеха.

Электротехнические решения по предотвращению пожарной опасности:

- установка по пути эвакуации световых указателей «Выход»;
- питание светильников для освещения под площадками высотой ниже 2,5м должно осуществляться через устройства защитного отключения;
- сечения проводников питающих сетей, сечения проводников защитного заземления выбираются в соответствии с "Правилами устройства электроустановок" (ПУЭ);

Помещение основного цеха, щитовой и комната отдыха сменного персонала оборудованы автоматической пожарной сигнализацией и системой оповещения о пожаре. Для противопожарной защиты помещения установки используют в качестве первичных средств пожаротушения углекислотные огнетушители типа ОП-5 (2 шт ), ОП-10 (1 шт), ОПВ-10 (2 шт).

#### ***4.9.2. Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях***

Стихийные бедствия - это такие явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушают нормальную жизнедеятельность людей и работу объектов, к ним относятся:

- Землетрясения;
- Наводнение;
- Снежные заносы и обледенения;

Ураганы - ветры большой силы и значительной продолжительности, скорость воздушного потока 32 м/сек;

- Оползни;
- Пожары.

Землетрясения - наиболее опасные и разрушительные стихийные бедствия.

Область возникновения подземного удара является очагом землетрясения, в пределах которого происходит высвобождение накапливающейся энергии.

Наводнение - временное затопление значительной части суши в результате действия сил природы.

Наводнения могут быть вызваны: выпадением обильных осадков или интенсивным таянием снега.

Снежные лавины, заносы и обледенения - одно из проявлений стихийных сил в зимний период.

Они возникают в результате обильных снегопадов, которые могут продолжаться от нескольких часов до нескольких суток.

Бури и ураганы - возникают при прохождении глубинных циклонов и представляют собой движение воздушных масс. Несут большие разрушения.

В случае перечисленных стихийных бедствий необходимо произвести аварийную остановку УПУ и срочно эвакуировать персонал, согласно плана эвакуации.

Стихийные бедствия сил природы не подвластны человеку и наносят экономике государства огромный ущерб. Стихийные бедствия нашли чрезвычайный характер, так как они могут разрушать здания, сооружения, уничтожать материальные ценности, нарушать процессы производства, вызывать гибель людей и животных. На объектах заблаговременно разрабатываются специальные мероприятия по предотвращению или максимальному снижению последствий стихийных бедствий (характерных для данного географического района) и уменьшению возможных потерь людей и материальных ценностей.

К числу таких мероприятий можно отнести:  
-строгое соблюдение специальных мер безопасности;

- организация оповещения руководящего состава, формирований и населения;
- специальная подготовка и оснащение формирований;
- оказание медицинской помощи пострадавшим.

### Социально-военные конфликты

Гражданская оборона представляет собой систему оборонных мероприятий, осуществляемых в мирное и военное время для защиты населения и природного хозяйства от оружия массового поражения, а также для проведения спасательных и аварийно - восстановительных работ в очагах поражения.

К оружию массового поражения относят ядерные, химические, бактериологические средства, способные в короткий срок нанести мелкие увечья большому числу людей.

При разработке мероприятий по обеспечению устойчивого управления производством предусматривается разделение всего персонала объекта в период угрозы и нападения противника на две группы: работающая смена, находящаяся на территории объекта и смена, находящаяся в загородной зоне. Для обеспечения надёжного управления деятельностью объекта в военное время в одном из убежищ образуется пункт управления.

Большое внимание должно уделяться разработке строгой системы приёма сигналов оповещения гражданской обороны и доведение их до должностных лиц, формирований и персонала объекта.

Особое значение имеет устойчивость производственных и хозяйственных связей по снабжению объекта всеми видами энергии, водой, паром, газом, по транспортным услугам, по поставки сырья, полуфабрикатов, комплектующих изделий. На объектах подготавливают варианты использования поставщиков, расположенных в пределах данного экономического района.

## 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 5.1. Потенциальные потребители

Целевой рынок – предприятия атомной промышленности

### 5.2. SWOT-анализ

Анализ факторов макросреды представлен в табл. 5.1

Таблица 5.1 Анализ факторов макросреды (факторы внешней среды дальнего действия)

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Экономический	1. Снижение покупательской способности потребителя	«-» уменьшение выручки от продажи	Повышение конкурентоспособности . Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или на международный рынок
	2. Рост темпов инфляции	«-» снижение покупательской способности потребителей	
	3. Увеличение налоговых ставок	«-» увеличение издержек производства, снижение чистой прибыли	Проведение оптимальной налоговой политики. Снижение себестоимости продукции, контроль за расходами сырья и материалов, стимулирования персонала.
	4. Ухудшение условий транспортировки	«-» снижение чистой прибыли	Адаптация к изменениям во внешней среде, поиск новых поставщиков, поиск новых путей перевозки продукции
	5. Нестабильность экономики в стране	«-» проблемы финансирования, увеличение налоговой нагрузки, снижение спроса	Адаптация к изменениям во внешней среде

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Научно-технический	1. Появление современных технологий (оборудования)	«+» увеличение чистого денежного потока (повышение стоимости предприятия), увеличение выручки от продаж	Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта. Увеличение производительности уже имеющегося оборудования.
		«-» сокращение чистого денежного потока в случае внедрения НТП конкурентами	Осуществление постоянного контроля за техническим состоянием имеющегося оборудование, организация своевременных ремонтных работ
Социотехнические	1.Повышение уровня образования 2. Повышение квалификации персонала предприятия и обмен опытом	1. «+» появление на рынке труда квалифицированных кадров 2.«+» повышение работоспособности персонала	Прием на работу персонала высокой квалификации. Разработка эффективной программы мотивации и стимулирования для работников. Обеспечение постоянного повышения квалификации персонала предприятия.

Таблица 5. 2 Анализ факторов микроокружения

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Потребители	Увеличение покупательской способности	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции, увеличение прибыли	Модернизация производства, увеличение производительности оборудования, снижение себестоимости
	Снижение покупательской способности	«-» снижение объемов производимой продукции	Увеличение производительности оборудования. Поиск путей снижения себестоимости продукции
	Привлечение новых потребителей	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции, увеличение прибыли	Привлечение новых потребителей путем строительства новых путепроводов, выхода на международные и региональные рынки.
Поставщики	Увеличение стоимости сырья, комплектующих	«-» перебои в поставках «-» увеличение себестоимости продукции «-» снижение конкурентоспособности	Рассмотрение новых форм сотрудничества, заключение долгосрочных договоров Поиск новых, более выгодных поставщиков. Расширение ассортимента, разработка товаров-заменителей.
	Несоблюдение сроков и условий поставки	«-» сбои в работе предприятия	Введение штрафных санкций за несоблюдение обязательств Смена поставщика

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
	Предоставление скидок в зависимости от объемов партии сырья	«+» возможность снижения себестоимости (цены) ГП, увеличение выручки от продаж	Разработка эффективной программы продвижения продукта Увеличение доли рынка Повышение стоимости предприятия
Конкурен - ты	Ужесточение конкуренции	«-» угроза снижения доли рынка, снижения объемов производства и реализации, уменьшение прибыли	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ, разработка программы продвижения продукта предприятия
	Улучшение репутации компании	«+»повышение конкурентоспособности предприятия, привлечение новых потребителей, вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке	

Таблица 5.3 Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
Маркетинг	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эффективная маркетинговая и рекламная политика предприятия</li> <li>2. Наличие постоянных потребителей</li> <li>3. Достаточная доля рынка</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неэффективная программа продвижения продукции</li> </ol>
Менеджмент	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие высококвалифицированных управленческих кадров, постоянное повышение квалификации</li> <li>2. Низкий уровень текучести кадров</li> <li>3. Четко поставленные цели и задачи</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие четкой стратегии развития предприятия</li> <li>2. Отсутствие кадрового резерва</li> </ol>
Кадры	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокий уровень профессионализма кадров</li> <li>2. Низкий уровень текучести кадров</li> <li>3. Высокая рентабельность персонала</li> <li>4. Высокая производительность персонала</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточно эффективная система мотивации и стимулирования персонала</li> <li>2. Отсутствие кадрового резерва</li> </ol>
Производство	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие современной технологии</li> <li>2. Наличие современного оборудования</li> <li>3. Конкурентноспособная позиция</li> <li>4. Обеспечение бесперебойной поставки необходимого материала и сырья</li> <li>5. Снижение себестоимости продукции</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие научно-технических разработок</li> <li>2. Недозагрузка производственных мощностей</li> </ol>
Корпоративная культура	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Хорошая репутация у потребителей</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкий уровень корпоративной культуры</li> </ol>

Таблица 5.4 Матрица SWOT-анализа

	Возможности 1. Рост спроса на рынке 2. Выход на новые рынки или сегменты рынка 3. Расширение ассортимента продуктов (обработка) 4. Увеличение прибыли	Угрозы 1. Ужесточение конкуренции 2. Высокие налоги 3. Рост темпов инфляции 4. Условия транспортировки
Сильные стороны 1. Конкурентоспособная позиция 2. Хорошая репутация у потребителей 3. Наличие дополнительных разведанных месторождений 4. Высокий уровень профессионализма кадров 5. Наличие современного оборудования	Поле СиВ – рекомендации 1. Привлечение новых потребителей путем освоения новых месторождений 2. Вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке 3. Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или международный рынок	Поле СЛиУ – рекомендации 1. Понижение конкурентного давления более низкими ценами 2. Адаптация к изменениям во внешней среде 3. Новые технологии 4. Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ
Слабые стороны 1. Зависимость от нестабильности экономики страны 2. Проблемы финансирования 3. Неплатежеспособность потребителей 4. Сокращение легко добываемой ресурсной базы	Поле СиВ – рекомендации 1. Повышение цен продукцию на внутреннем рынке 2. Совершенствование системы налогообложения 3. Адаптация к изменениям во внешней среде	Поле СЛиУ – рекомендации 1. Техническое переоснащение отрасли 2. Увеличение производительности оборудования

### 5.3. Анализ эффективности действующего производства

Произведем расчет производственной мощности и сформулируем выводы о степени загрузки производственной мощности (табл. 5.5).

Таблица 5.5 Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	360 (2880)
Режим потери рабочего времени	
- выходные	104 (832)
- праздники	12 (96)
Номинальный фонд рабочего времени	244 (1952)
Простой оборудования в ремонтах	6 (48)
Эффективное время работы оборудования за год	238 (1904)

Заданная производственная мощность (производство оксидов урана) равна 15 т/год.

### 5.4. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Проведем расчет численности персонала:

- основных рабочих;
- вспомогательных рабочих;
- ИТР;
- служащих;
- МОП

Тарифный фонд заработной платы представлен в табл. 5.6.

Таблица 5.6 Тарифный фонд заработной платы

№	Наименование	Численность, чел.	Тарифный фонд заработной платы, тыс.руб.
1	Инженерно – технические работники (ИТР)	15	2864,21
2	Основные рабочие (ОР)	24	2347,25
3	Вспомогательные рабочие (ВСР)	21	2292,48
4	Младший обслуживающий персонал (МОП)	6	428,54
5	Итого по ЦППН	66	7932,48

Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника представлен в табл. 5.7.

Таблица 5.7 Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника.

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	360	2880
2	- Нерабочие дни		
	- выходные	104	832
	- праздничные	12	96
3	Номинальный фонд рабочего времени	244	1952
4	Планируемые невыходы		
	- очередные и дополнительные отпуска	28	224
	- невыходы по болезни	4	32
	- декретные отпуска	-	-
	- отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	5	40
	- выполнение государственных обязанностей	1	8
5	Эффективный фонд рабочего времени	206	1648

Размер премий принимаем равным 20% от тарифного фонда заработной платы:

$$Pr = Z_{тар} * 0,2 = 7932,48 * 0,2 = 1586,50 \text{ (тыс.руб.)}$$

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составляет 40 %. В нашем случае весь вышеперечисленный персонал 1 раза (в 1 восьмичасовую смену) выходил праздничные дни (табл. 5.8.)

Таблица 5.8 Расчет доплаты за праздничные дни.

Наименование	Численность, чел.	Тарифный фонд заработной платы за 1 день, тыс.руб.	Доплата за выход на работу в праздничный день	Трудоемкость, чел/дни	Тарифный фонд заработной платы, тыс.руб
Инженерно – технические работники (ИТР)	15	13,9	5,56	1	19,46
Основные рабочие (ОР)	24	11,39	4,56	1	15,95
Вспомогательные рабочие (ВСП)	21	11,13	4,45	1	15,58
Младший обслуживающий персонал (МОП)	6	2,08	0,83	1	2,91
Итого по ЦППН	66	38,5	15,4	1	53,9

Доплата к тарифному фонду заработной платы за праздничные дни

Доплата не освобожденным бригадирам за рассматриваемый период не осуществлялась.

Таким образом, основной фонд заработной платы для рабочих временной оплатой труда составит:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}} = 7932,48 + 1586,5 + 53,9 = 9572,88$$

(тыс.руб)

### Расчет районной надбавки

Районная надбавка рассчитывается по формуле:

$$РН = \frac{\%РН}{100\%} \times (З_{тар} + Пр + Д_{н.вр} + Д_{пр.дни} + Д_{бриг}) \text{ (тыс. руб.)},$$

где %РН — размер районного коэффициента в зависимости от территориального района, где находится предприятие, %.

Районная надбавка по г. Томску составляет 30%

Таким образом, основная заработная плата с учетом районной надбавки составит:

$$З_{осн} = 9572,88 * 1,3 = 12444,74 \text{ (тыс. руб.)}$$

Дополнительная зарплата ( $З_{доп}$ ):

$$З_{доп} = \frac{Д_n * З_{осн}}{Тэфф},$$

где  $Д_n$  — количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

$$З_{доп} = \frac{Д_n * З_{осн}}{Тэфф} = 38 * 12444,74 / 206 = 2295,63 \text{ (тыс.руб.)}$$

Таким образом, общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп} = 12444,74 + 2295,63 = 14740,37 \text{ (тыс. руб.)}$$

Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от ( $З_{осн} + З_{доп}$ ), то есть:  $0,3 * 14740,37 = 4422,11$  (тыс.руб.)

Расчёт заработной платы производственных рабочих.

$$З_{тар} = 2347,25 \text{ тыс.руб.}$$

$$Пр = З_{тар} * 0,2 = 2347,25 * 0,2 = 469,45 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{Доплата за работу в праздничные дни: } 15,95 \text{ тыс.руб.}$$

$$З_{осн} = 2347,25 + 469,45 + 15,95 = 2832,65 \text{ тыс.руб.}$$

$$З_{осн} \text{ с учетом РН} = 2832,65 * 1,3 = 3682,44 \text{ тыс.руб.}$$

$$З_{доп} = 38 * 3682,44 / 206 = 679,29 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, общий фонд заработной платы производственных рабочих составляет:  $3682,44 + 679,29 = 4361,73$  тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды производственных рабочих составит:  $4361,73 * 0,3 = 1308,52$  тыс.руб.

### **Расчёт заработной платы ремонтных рабочих.**

Зтар = 2292,48 тыс.руб.

Пр = Зтар \* 0,2 =  $2292,48 * 0,2 = 458,5$  тыс.руб.

Доплата за работу в праздничные дни: 15,58 тыс.руб.

Зосн =  $2292,48 + 458,5 + 15,58 = 2766,56$  тыс.руб.

Зосн с учетом РН =  $2766,56 * 1,3 = 3596,53$  тыс.руб.

Здоп =  $38 * 3596,53 / 206 = 663,44$  тыс.руб.

Таким образом, общий фонд заработной платы ремонтных рабочих составляет:  $3596,53 + 663,44 = 4259,97$  тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды ремонтных рабочих составит:  $4259,977 * 0,3 = 1277,99$  тыс.руб.

### **Расчёт заработной платы ИТР:**

Зтар = 2864,21 тыс.руб.

Пр = Зтар \* 0,2 =  $2864,21 * 0,2 = 572,84$  тыс.руб.

Доплата за работу в праздничные дни: 19,46 тыс.руб.

Зосн =  $2864,21 + 572,84 + 19,46 = 3456,51$  тыс.руб.

Зосн с учетом РН =  $3456,51 * 1,3 = 4493,46$  тыс.руб.

Здоп =  $38 * 4493,46 / 206 = 828,89$

Таким образом, общий фонд заработной платы ИТР составляет:  $4493,46 + 828,89 = 5322,35$  тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды ИТР составит:  $5322,35 * 0,3 = 1596,70$  тыс.руб.

### Расчёт заработной платы МОП:

Зтар = 428,54 тыс.руб.

Пр = Зтар \* 0,2 = 428,54 \* 0,2 = 85,71 тыс.руб.

Доплата за работу в праздничные дни: 2,91 тыс.руб.

Зосн = 428,54 + 85,71 + 2,91 = 517,16 тыс.руб.

Зосн с учетом РН = 517,16 \* 1,3 = 672,31 тыс.руб.

Здоп = 38 \* 672,31 / 206 = 124,02

Таким образом, общий фонд заработной платы ИТР составляет: 672,31 + 124,02 = 796,33 тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды ИТР составит: 796,33 \* 0,3 = 238,90 тыс.руб

### 5.5. Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Таблица 5.9

Наименование материалов	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, тыс.руб.	Сумма, тыс.руб.
Легированная сталь	т	147,71	154	22747,56
Электроды сварочные	т	3,67	27,5	100,92
Проволока стальная	т	0,1	25	2,46
Болты с гайками	т	0,48	96	45,76
Шайбы	т	0,03	81	2,39
Обтирочный материал	т	6,37	7	44,56
Резина прокладочная	т	0,42	150	62,65
Трубки резиновые технические	т	0,26	320	82,72
Набивка асбестовая пропитанная	т	6,29	64	402,41
Шнур асбестовый	т	0,02	46	0,91
Эмаль жаростойкая	т	0,63	37	23,46
Керосин	т	0,87	7,8	6,82
Масло машинное	т	33,6	25	841,08
Теплоизоляция	т	1,83	4	7,32
Итого:				24371,02

## 5.6 Расчет потребности электроэнергии

Таблица 5.10

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Муфельная печь	15232	1904	8
Реактор растворения	38080	1904	20
Экстрактор	190,4	1904	0,1
Реактор осаждения	5712	1904	3
Итого	59214,4	1904	31,1

При стоимости 1 кВт – 2,93 руб. сумма затрат на электроэнергию составит:  $59214,4 * 2,93 = 173,50$  тыс.руб.

## 5.7. Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий,
- полную стоимость оборудования,
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в табл.5.11. Полную стоимость зданий принимаем – 5000 тыс.рублей.

В табл. 5.12 представлена калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства равном 15 т/год. Затраты топлива на технологические нужды – 700 тыс.руб. Затраты на ремонт оборудования – 4% в год.

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (15 т/год)

Таблица 5.11 Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб.
Здания	5000	4	200
Сооружения	1460,50	4	58,42
Передаточное устройство	1013,6	14	141,9
Машины и оборудование	3422,1	12	410,65
Приборы КИПиА	715,20	11	78,67
Инструменты и инвентарь	1211,32	14	169,58
Итого	12822,72		1059,22

Таблица 5.12

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции, руб.	Затраты на весь объем, тыс.руб.
1. Сырье	тыс.руб.	1624,73	24371,02
2. Энергоресурсы на технологические нужды	тыс.руб.	11,05	165,80
3. Топливо на технологические нужды	тыс.руб.	46,67	700
Итого условно-переменных издержек	тыс.руб.	1682,45	25236,82
Общепроизводственные накладные расходы			
1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
- амортизация оборудования	тыс.руб.	70,61	1059,22
- ремонт оборудования		9,13	136,88
- заработная плата ремонтного персонала		239,77	3596,53
- отчисления на соц.нужды ремонтного персонала (30%)		85,2	1277,99

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции, руб.	Затраты на весь объем, тыс.руб.
2. Заработная плата ИТР - отчисления на соц. нужды ИТР (30%)	тыс.руб.	354,82 106,44	5322,35 1596,7
3. Заработная плата производственных рабочих - Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс.руб.	290,78 87,23	4361,73 1308,52
4. Заработная плата МОП - Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс.руб.	53,09 15,93	796,33 238,90
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб.	1313	19695,12
Цеховая (производственная) себестоимость	тыс.руб.	2995,45	44931,94
Условно-переменные издержки	тыс.руб.	1682,45	25236,82
Условно-постоянные издержки	тыс.руб.	1313	19695,12

$$Ц = С * \left(1 + \frac{P}{100}\right), \text{ рентабельность продукции} = 20\%$$

$$Ц = 2995,45 * 1,2 = 3594,54 \text{ тыс. руб.}$$

### 5.8. Расчет себестоимости готовой продукции по плановому производству.

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства в плановом году, увеличение производства на 10% (16,5т/год)

$$Ц = 3594,54 \text{ тыс. руб.}$$

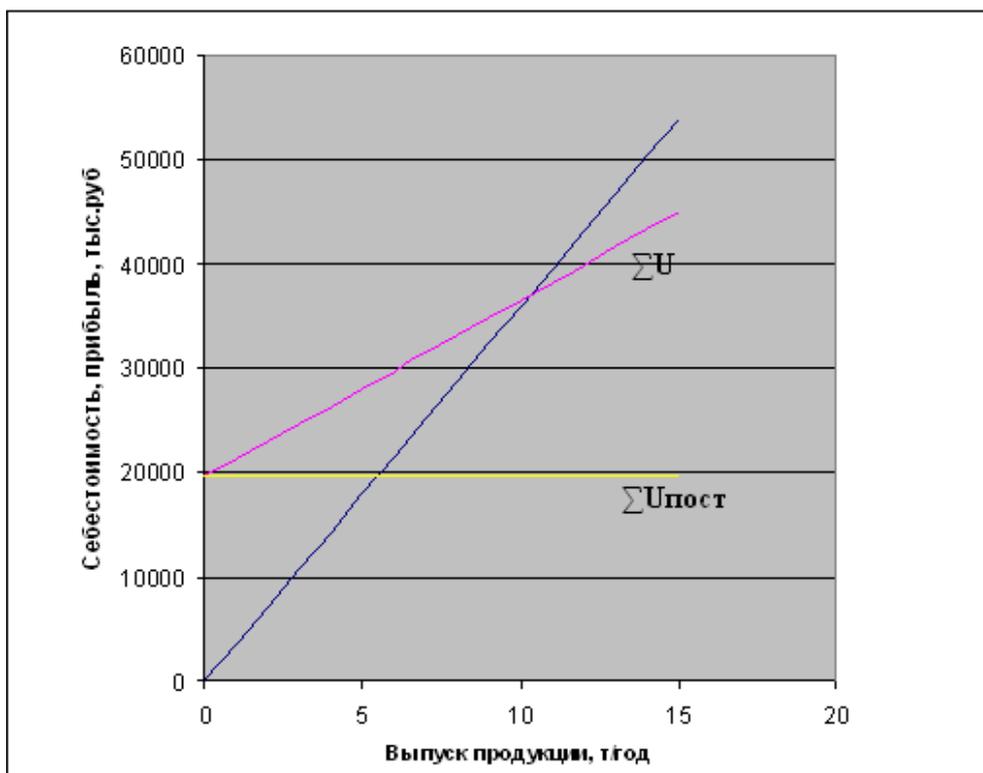
Анализ безубыточности по действующему производству

$$Q_{кр} = 19695,12 / (3594,54 - 1682,45) = 10,3 \text{ т/год}$$

Таблица 5.13

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции, руб.	Затраты на весь объем, тыс.руб.
1. Сырье	тыс.руб.	1624,73	26808,12
2. Энергоресурсы на технологические нужды	тыс.руб.	11,05	182,38
3. Топливо на технологические нужды	тыс.руб	46,67	770
Итого условно-переменных издержек	тыс.руб.	1682,45	27760,5
Общепроизводственные накладные расходы			
1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: - амортизация оборудования - ремонт оборудования - заработная плата ремонтного персонала - отчисления на соц.нужды ремонтного персонала (30%)	тыс.руб.	64,2 8,29 217,97  77,45	1059,22 136,88 3596,53  1277,99
2. Зарплата ИТР - отчисления на соц. нужды ИТР (30%)	тыс.руб.	322,57 96,77	5322,35 1596,7
3. Зарплата производственных рабочих - Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс.руб.	264,35 79,3	4361,73 1308,52
4. Зарплата МОП - Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс.руб.	48,26 14,48	796,33 238,90
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб.	1193,64	19695,12
Цеховая (производственная) себестоимость	тыс.руб.	2876,09	47455,62
Условно-переменные издержки	тыс.руб.	1682,45	27760,5
Условно-постоянные издержки	тыс.руб.	1193,64	19695,12

Рисунок 5.1. График безубыточности



### 5.9. Определение технико-экономических показателей

Таблица 5.14 Техничко-экономические показатели.

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	т.	15	16,5
2. Объем продаж	т.	15	16,5
3. Цена 1 тонны	тыс.руб.	3594,54	3594,54
4. Выручка от реализации	тыс.руб.	53918,1	59309,91
5. Суммарные издержки	тыс.руб.	44931,94	47455,62
5.1. Издержки переменные	тыс.руб.	25236,82	27760,5
5.2. Издержки постоянные	тыс.руб.	19695,12	19695,12
6. Операционная прибыль	тыс.руб.	8986,16	1154,29
7. Налог на прибыль	тыс.руб.	1797,23	82370,86
8. Чистая прибыль	тыс.руб.	7188,93	9483,42
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	2995,45	2876,09
10. Стоимость основных средств	тыс.руб.	12822,72	12822,72

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год	Плановый год
11. Численность основных рабочих	чел.	24	24
12. Фондовооруженность	тыс.руб./чел.	534,28	534,28
13. Фондоотдача	руб./чел.	4,20	4,63
14. Фондоемкость	руб./чел.	0,24	0,22
15. Производительность труда	тыс.руб./чел.	2246,59	2471,25
16. Рентабельность производства	%	16	19,98
17. Рентабельность продаж	%	13,33	15,99
18. Критический объем продаж	т.	10,3	10,3
19. Критический объем продаж	тыс.руб.	37023,76	37023,76

В результате увеличения объема производства на 10% (применения «эффекта масштаба») был получен следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 2995,45 тыс. руб по 2876,09 тыс.руб. (на 3,98 %)
2. Увеличение выручки от реализации с 53918,1 тыс.руб. по 59309,91 тыс.руб. (на 10 %)
3. Увеличение чистой прибыли с 7188,93 тыс.руб. по 9483,42 тыс.руб. (на 31,92 %)
4. Увеличение выплат по налогам с 1797,23 тыс.руб. по 2370,86 тыс.руб. (на 31,92%)
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 4,20 по 4,63 (на 10 %)
6. Увеличение производительности труда с 2246,59 по 2471,25 (на 10 %)
7. Увеличение рентабельности производства с 16 по 19,98 (на 24,87 %)
8. Увеличение рентабельности продаж с 13,33 по 15,99 (на 19,95 %)
9. Точка безубыточности постоянна.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе разработана аппаратурно-технологическая схема установки переработки природных концентратов урана.

Установка предназначена для передела концентратов урана, поступающих с горно-обогатительного комбината, в раствор уранилнитрата, удовлетворяющий техническим требованиям.

Установка оснащена средствами автоматизации и управления для контроля процесса переработки.

В бакалаврской работе разработан и рассчитан аппарат:

- реактор растворения с пневматическим перемешиванием;

В результате проведенного расчета реактора с пневматическим перемешиванием были получены следующие величины:

поверхность теплообмена, м <sup>2</sup> .....	20;
рабочий объем аппарата, м <sup>3</sup> .....	13;
температура в рабочей зоне, °С.....	83;

В разделе социальной ответственности разработаны мероприятия по обеспечению безопасных условий труда и предотвращению загрязнения окружающей среды.

В разделе финансового менеджмента были проведены следующие расчеты, в результате которых, увеличения объема производства на 10% (применения «эффекта масштаба»). Таким образом, применение «эффекта масштаба» привело к увеличению эффективности производства в целом. Этому свидетельствует существенное увеличение чистой прибыли и производительности труда работников, снижение себестоимости продукции, а также увеличение таких показателей, как рентабельность производства, рентабельность продаж и показателя фондоотдачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Браверманн И.А., Майоров А.А., Технология получения порошков керамической двуокиси урана. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 128 с.
2. Галкин Н. П. Технология урана. – Атомиздат, 1964.
3. Галкин Н. П., Тихомиров В. Б. Основные процессы и аппараты технологии урана. – М.: Госатомиздат, 1961. – 220 с.
4. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1979.
5. Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
6. Липшина И. И. Уранил и его соединения. – М.: Изд. АН СССР, 1959.
7. Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1994.
8. Михалёв М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Зобин В.В. Расчёт и конструирование машин и аппаратов химических производств. Учеб. Пособие 1984-302с.
9. Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
10. Пищулин В.П. Машины и аппараты химических производств: Руководство по выполнению выпускной квалификационной работы. 2007. – 152 с.
11. Конструирование расчёт элементов оборудования отрасли. ТПУ В.М. Миронов, В.М. Беляев, учебное пособие.
12. ГОСТ Р 52857.2 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
13. ГОСТ 13716–23.06.2009 Устройство строповые для сосудов и аппаратов.
14. ГОСТ Р 52857.4 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.

15. Домашнев А. Д. Конструирование и расчёт химических аппаратов. 1965-304с.
16. Краткий справочник металлиста/ Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.: ил.
17. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с, ил.
18. Рахмилевич З.З. Справочник механика химических и нефтехимических производств. 1985-592с.
19. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. Справ. Пособие. - М. Машиностроение 1979-272с.
20. Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет агитаторов: Руководство для студентов. – Томск, Отд №1 ТПИ, 1998. – 56 с.
21. Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет потерь тепла в окружающую среду: Руководство для студентов. – Томск: Отделение №1 ТПИ, 1987. – 59 с.
22. Павлов К.Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл. – корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10 – е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
23. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Машиностроение, ООО ТИД «Альянс», 2004.
24. Егоров М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. М., 1969.
25. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования предприятий ГУ.
26. ГОСТ ИСО.12162 Классификация и обозначение. Коэффициент запаса прочности.
27. ГОСТ 25095-82 Сплавы твердые спеченные. Метод определения модуля упругости.

28. ГОСТ 12619-78 Днища конические отбортованные с углами при вершине 60 и 90 градусов. Основные размеры.
29. ГОСТ Р 52857.2 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
30. ГОСТ 12.2.003-04 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
31. ГОСТ 12.1.002-04«Электрические поля промышленной частоты.
32. СанПиН 2.2.4.548-06. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
33. ГОСТ 12.1.030-01 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
34. ГОСТ 12.1.038-02 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
35. ГОСТ 12.1.003–03 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
36. ГОСТ 12.1.005–08 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
37. ГОСТ 12.1.007–06 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.).
38. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.
39. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
40. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.