

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

Институт электронного обучения

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

Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Установка экстракционной очистки концентратов природного урана с разработкой реактора растворения

УДК 66.061.3:66.023.2:661.87

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	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)
Р2	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)
Р3	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)
Р4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22 ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3,8,9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
		Требование

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
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)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
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 течении всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющим 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)

Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

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

Институт электронного обучения

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

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович

Тема работы:

Установка экстракционной очистки концентратов природного урана с разработкой реактора растворения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

2840/С от 19.04.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017г

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

РАСЧЕТ ЕМКОСТНОГО АППАРАТА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Производительность по урану, 500кг/ч
Концентрация HNO_3 , 40 %
Избыток HNO_3 , 10 %
Время процесса растворения, 1ч
Давление пара в рубашке, 0,2Мпа
Давление в аппарате, 0,2 Мпа
Начальная температура раствора, 20°C
Температура раствора в аппарате, 70 °С
Число аппаратов в каскаде, штук 1
Частота вращения мешалки, 10об/мин

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Основные конструктивные особенности реактора растворителя. Достоинства – недостатки.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид реактора растворителя; Лист 3. Общий вид шнека Лист 4. Выносные элементы реактора растворителя;</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Романцов Игорь Иванович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.2017г</p>
--	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович		

АННОТАЦИЯ

В представленном дипломном проекте рассмотрены вопросы, связанные с разработкой установки экстракционной очистки концентратов природного урана с разработкой реактора растворения.

В литературном разделе проведен аналитический обзор различных методов очистки урана от примесей, рассмотрены основы процесса экстракции, дан анализ физико-механических характеристик веществ, участвующих в технологии, а также приведен обзор, имеющейся для данного процесса аппаратуры.

В технологическом разделе разработана аппаратурно-технологическая схема экстракционной переработки уранового концентрата, для которой подобрана аппаратура автоматики для управления и контролирования технологическим процессом.

В проекте выполнены расчеты основного оборудования (емкостной аппарат с перемешивающим устройством), рассмотрены вопросы техники безопасности, охраны труда и окружающей среды, разработан технологический процесс изготовления кожуха, а также проведен экономический расчет планово-предупредительного ремонта основных аппаратов установки.

Пояснительная записка содержит 146 страниц печатного текста, включает 48 таблиц, 28 рисунков и 8 листов графической части. При подготовке дипломного проекта использовано 24 литературных источников.

ANNOTATION

In the presented degree design the questions connected with the development of an extraction plant for the purification of natural concentrates with the development of a dissolution reactor.

In literary partition the state-of-the-art review of various methods of scrubbing action of uranium from impurities is made, grounds of process of extraction are considered, the analysis of physical-mechanical characteristics of the substances participating in the technological process is given, and also the review, the instrumentation available for yielded process is resulted.

In technological partition the hardware-technological schema extraction scrubbing action of uranium for which the equipment of automatics for management and monitoring of technological process is selected.

In the design essential equipment calculations (centrifugal extractor and capacitor the device with a stirring device), the questions of a safety precautions, of work protection and protection of an environment are considered, the technological process of manufacturing of a mantle is developed, and also the economic account of scheduled preventive maintenance of the basic devices of installation is carried out.

The explanatory note contains 146 pages of the printed text, includes 48 tables, 28 figures and 8 sheets of a graphic part. While preparing the degree design we used 24 references.

Содержание

Введение	11
1 Литературный обзор	13
1.1 История урана	13
1.2 Физические и химические свойства урана	16
1.3 Цель аффинажа	17
1.4 Понятие о ядерной чистоте соединений урана	22
1.5 Методы аффинажа в технологии урана	22
1.6 Аппаратурное оформление процесса	32
1.7 Разработка аппаратурно-технологической схемы	35
1.8 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры	38
1.9 Подбор стандартного оборудования	39
2 Расчет емкостного аппарата с перемешивающим устройством	41
2.1 Данные для расчета	41
2.2 Конструкция аппарата выщелачивание с перемешивающим устройством	41
2.3 Материальный расчет процесса растворения	43
2.4 Тепловой расчет процесса растворения	46
2.4.1 Тепловой баланс	46
2.4.2 Основное уравнение теплопередачи	47
2.4.3 Расчет средней разности температур и средних температур теплоносителей	48
2.4.4 Расчет коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке	49
2.4.5 Расчет коэффициента теплоотдачи при перемешивании жидкостей мешалками	51
2.5 Конструктивный расчет	55
2.5.1 Определение высоты и диаметра	55
2.5.2 Определение объемных расходов реагентов	57
2.5.3 Расчет диаметров патрубков	58
2.6 Прочностной расчет	59
2.6.1 Данные для прочностного расчета	59
2.6.2 Определение характеристик аппарата	60

2.7 Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении	63
2.7.1. Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении	63
2.7.2. Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внешнем Давлении	63
2.7.3. Исполнительная толщина корпуса обечайки, учитывающая внешнее и внутреннее давление	64
2.8 Расчет толщины стенки обечайки рубашки	65
2.9 Расчет толщины стенки конического днища	66
2.9.1. Расчетная толщина стенки конического днища при внутреннем давлении	66
2.10 Расчет толщины стенки наклонной трубы	68
2.10.1. Расчетная толщина стенки трубы при наружном давлении	68
2.10.2. Расчетная толщина стенки накл. трубы при внешнем давлении, согласно	68
2.10.3. Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости	69
2.11 Расчет толщины стенки рубашки наклонной трубы	72
2.12 Расчет плоской крышки	73
2.13 Расчет фланцевого соединения	75
2.14 Подбор стандартных штуцеров	86
2.15 Расчет укрепления отверстий	87
2.16 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов сопряжения конического днища и цилиндрической обечайки	88
2.17 Расчет вертикального вала	93
2.17.1 Расчет мешалки	93
2.17.2 Расчет вала на виброустойчивость	95
2.17.3 Расчет вала на жесткость	96
2.17.4 Расчет вала на прочность	99
2.18 Масса аппарата	100
2.18.1. Расчет массы корпуса аппарата	100
2.18.2. Вес пустого аппарата	101
2.19 Расчет опоры	101
3 Безопасность и экологичность	107
3.1 Характеристика технологического процесса	107
3.2 Производственная безопасность	107
3.3 Безопасность в ЧС	117
3.4 Экологическая безопасность	118

4 Экономический раздел	122
4.1 Потенциальные потребители	122
4.2 SWOT-анализ	122
4.3 Анализ эффективности действующего производства	129
Выводы	144
Литература	145

ВВЕДЕНИЕ

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

Поэтому уран и его соединения находят все более широкое применение в самых различных отраслях, в результате чего появилась необходимость более глубокого изучения его свойств и совершенствования его технологии. Мирное использование атомной энергии является одним из важнейших научных достижений современности. Бурное развитие ядерной энергетики сопровождается повышением роли и значимости химических и радиохимических процессов при производстве делящихся материалов из природного сырья. На сегодняшний день альтернативы энергии "мирного атома" просто нет, не только в России, но и в целом мире. Дефицит электроэнергии в Европе уже довольно ощутим. Только развитие атомной энергетики способно его погасить, удовлетворить энергетические потребности растущего европейского общества. В связи с этим весьма актуальной является проблема развития сырьевой базы атомной энергетики.

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

Этот высокообогащенный уран, содержащий 90 % изотопа ${}_{92}\text{U}^{235}$, необходимо переработать в ядерное топливо атомных электростанций на основе диоксида урана UO_2 , содержащего 4-5 % изотопа ${}_{92}\text{U}^{235}$, путем смешения высокообогащенного гексафторида урана UF_6 с природным гексафторидом урана и последующей переработкой кондиционного гексафторида урана до диоксида урана, который в свою очередь является ядерным продуктом атомной энергетики. В плане конверсионной программы Сибирского химического комбината проводятся исследования процесса экстракционного аффинажа концентратов природного урана. Данная установка является модернизированным прототипом уже действующей экстракционной установки на Радиохимическом заводе.

Из природных изотопов лишь ${}^{235}\text{U}$ является ядерным топливом, в качестве которого необходимы соединения урана ядерной чистоты, что достигается операцией аффинажа. В результате получают уран в виде одного из таких соединений, как уранилнитрат, диуранат аммония, пероксид урана,

уранилтрикарбонат аммония. Операции превращения этих соединений в оксиды урана UO_3 , UO_2 и U_3O_8 – важнейшие промежуточные продукты при получении фторидов урана и металлического урана. Кроме того, основой тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) современных ядерных реакторов многих типов служит диоксид урана UO_2 .

Данный дипломный проект посвящен разработке установки очистки природного урана экстракционным методом, технологическая схема которого включает следующие узлы: растворение (реактор растворения), удаление твердых примесей (центрифуга), очистки (фильтры тонкой очистки), экстракции (экстракционного каскада ЭКЦ), промывки (промывного каскада ЭКЦ), реэкстракции (реэкстракционного каскада ЭКЦ), регенерации (регенерационного каскада ЭКЦ), концентрирования (состоящего из кожухотрубчатого теплообменника, выпарного аппарата и холодильника).

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения об уране

Уран – это элемент периодической системы Д. И. Менделеева, последний и самый тяжелый из существующих в природе элементов. Его средняя атомная масса 238,03 и порядковый номер 92. Уран является высококалорийным ядерным горючим для атомных, тепловых и электрических станций.

Использование урана в атомной технике основано на специфических свойствах урана – радиоактивном распаде и способности расщепляться под действием нейтронов с выделением большого количества энергии.

В основе производства ядерной энергии лежит реакция деления ядер делящихся материалов под действием нейтронов по реакции [1]:



где \dot{A} – атом делящегося материала;

X, Y – продукты деления;

${}_0n'$ – нейтрон;

Q – тепловая энергия.

К делящимся материалам относятся изотопы урана (U^{235} и U^{233}), а также плутония (Pu^{239} и Pu^{241}), делящиеся при захвате тепловых нейтронов. Из четырех изотопов только U^{235} встречается в природе, три других получают в ядерных реакторах облучением природного урана или тория нейтронами, образующимися в избытке в процессе реакции деления.

Уран широко распространен в природе. В земной коре его содержится больше, чем таких элементов, как Cd, Bi, Hg и др., но он находится главным образом в рассеянном состоянии. Кларк урана в земной коре, по данным А. Ферсмана, равен $1 \cdot 10^{-3}$ % (мас.). Среднее содержание урана в земной коре составляет $4 \cdot 10^{-6}$ г/г породы.

Природный уран содержит три изотопа ${}^{238}U$, ${}^{235}U$, ${}^{234}U$, относительное содержание которых равно соответственно 99,28; 0,71 и 0,006 %. Изотоп ${}^{238}U$ – это наиболее долгоживущий (период полураспада составляет $4,5 \cdot 10^9$ лет) и распространенный изотоп. ${}^{235}U$ (актиноуран) среди природных изотопов выделяется тем, что ядро ${}^{235}U$ способно делиться на медленных нейтронах.

Получено одиннадцать искусственных изотопов урана с массовыми числами 240, 239, 237, 236, 233, 231, 229, 228 и 227, важнейшим из которых является U^{233} , получаемый как конечный продукт превращений при облучении Th^{232} медленными нейтронами [23,24].

Уран был открыт немецким ученым Клапротом в 1789 году. За последние 217 лет, проведено множество исследований по изучению его физических и химических свойств. На глубину и темпы этих исследований влияние оказали некоторые события. Это получение французским химиком Е. Пелиго в 1841 г. металлического урана из его двуоксида, исправление атомного веса урана в 1869 г. Д. И. Менделеевым с помощью открытого им периодического закона и обнаружение Беккерелем в 1896 г. явления радиоактивности урана. Но

наибольшее развитие химия урана получила после открытия деления ядер урана [23].

Уран долго не находил практического применения. Когда стало известным, что некоторые соединения являются прекрасными красителями, то соли урана начали использовать в стекольной и керамической промышленности. Широко известны соединения урана, применяемые для живописи по фарфору, окрашивания в различные цвета стекла, керамических глазурей и эмалей. Различные соли урана широко используются как химические реактивы. Соединения урана применяются в фармакологии [1].

После открытия Марией и Пьером Кюри в урановых рудах радия в производстве солей урана произошел переворот. Уран стал промышленным отходом при получении радия. Для получения соединений урана используются различные методы химической переработки. До второй мировой войны переработке подвергались лишь богатые урановые руды. В последующие годы в связи с применением урана в военной технике и ядерной энергетике, а также в связи с выработкой запасов богатых руд возникла необходимость массовой переработки бедного сырья.

При переработке бедных урановых руд большое значение имеет их предварительное обогащение. Для отделения урана от пустой породы применяют методы механического обогащения (гравитация, флотация, магнитная сепарация, радиометрическое обогащение); после механического обогащения, как правило, получают концентраты с невысоким содержанием урана. Более богатые промышленные концентраты, содержащие до 20-60 % урана, получают при гидрометаллургических процессах переработки урановых руд, заключающихся в кислотном или карбонатном выщелачивании урана с последующим выделением урана из раствора методами осаждения, экстракции, сорбции [24].

Установление возможности расщепления ядер урана определило совершенно другие области его применения. В 1934 году Э. Ферми обнаружил, что при бомбардировке урана нейтронами образуются радиоактивные элементы; позднее, в 1938 году О. Хан и Ф. Штрассман, повторяя опыт Э. Ферми, установили, что в облученном нейтронами уране появляются элементы, стоящие в середине периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

Последующие исследования позволили установить возможность непрерывной реакции деления атомных ядер. В 1939-1940 года советские физики Ю. Б. Харитон и Я. Б. Зельдович первыми в мире предложили расчет цепной ядерной реакции деления. Ими было показано, что при небольшом обогащении естественной смеси изотопов урана, легким изотопом U^{235} , и использовании обыкновенной воды, в качестве замедлителя, можно создать условия для непрерывной реакции деления ядер урана, то есть придать процессу цепной характер [1].

Энергия, выделяемая в ядерных реакциях, в миллионы раз превышает энергию, выделяемую при сгорании того же количества каменного угля. Таким образом, в настоящее время уран является основным сырьем для получения атомной энергии.

1.2 Физические и химические свойства урана

Физические свойства урана. Уран – блестящий металл, напоминающий по виду в свежем срезе или окисленном состоянии железо. Поверхность свежеполированного металла имеет сильный блеск, но после нескольких часов пребывания на воздухе покрывается цветами побежалости. Уран имеет плотность $19,07 \text{ г/см}^3$.

Известны три кристаллические формы урана, существующие в разных интервалах температур: α -уран до $600 \text{ }^\circ\text{C}$; β -уран от 660 до $770 \text{ }^\circ\text{C}$ и γ -уран от $770 \text{ }^\circ\text{C}$ до точки плавления. Точка плавления урана $1133 \text{ }^\circ\text{C}$.

В связи с широким применением делящихся материалов в науке и технике вопросы химической и металлургической переработки конечного продукта обогащения (гексафторид урана) в окислы, тетрафторид, металлический уран, его сплавы и изделия имеют большое значение [1].

Химические свойства урана. Металлический уран представляет собой очень реакционно-способное вещество, что связано со строением атома.

Электронная конфигурация свободного атома урана описывается формулой $5f^3 6d 7s^2$. Таким образом, уран относится к семейству элементов - "актиноидов", у которых происходит заполнение электронами 5f-оболочки в третьем слое от наружного, при наличии во внешнем слое двух электронов.

В ряду актиноидов 5f- электроны первых членов ряда по прочности их связи с ядром мало отличаются от 6d- и 7s- электронов, и потому они могут участвовать в образовании валентных связей. В атоме урана число 5f-электронов равно трем. Это количество электронов значительно меньше того, которое необходимо для заполнения 5f-оболочки наполовину. В образовании валентных связей урана, следовательно, могут участвовать наряду с одним 6d- и двумя 7s-электронами также и три 5f-электрона. Поэтому высшая степень окисления урана равна шести. Таким образом, в сухих веществах и в растворах уран может находиться в трех-, четырех-, пяти- и шестивалентном состояниях. В соответствии с этим и химические свойства будут зависеть от того, в виде каких ионов он находится в растворе: U^{3+} , U^{4+} , UO_2^{2+} , UO_2^{2+} .

Существование уранил-иона UO_2^{2+} по данным некоторых авторов возможно лишь при значениях $\text{pH} \leq 2,5$. При более же высоких значениях pH в растворе преобладают гидролизированные формы более сложных ионов типа $\text{U}_2\text{O}_5^{2+}$, $\text{U}_3\text{O}_8^{2+}$, $\text{UO}_2(\text{OH})^+$.

Ион UO_2^+ неустойчив в растворе и диспропорционирует на U^{+4} и UO_2^{+2} . Известно небольшое количество твердых соединений в этом окислительном состоянии (U^{+5}), например UF_5 и UCl_5 . Моноокись урана встречается иногда в виде металлических включений в уране, имеет формальное окислительное состояние +2. В растворе неизвестны простые ионы в окислительном состоянии U^{+2} . Наиболее важны окислительные состояния U^{+4} и U^{+6} , поэтому главный раздел химии урана связан с двумя окислами: UO_2 – двуокисью урана (коричневая окись) и UO_3 – трех окисью урана (оранжевая окись). Трех окись урана обычно готовится термическим разложением азотнокислого уранила при температуре около 300°C . Двуокись урана обычно получают,

восстанавливая UO_3 водородом при $500^\circ C$. В атомной промышленности используя U_3O_8 (черная окись), образующаяся при прокатке любых окислов урана на воздухе при температуре $700^\circ C$. Все окислы легко растворяются в азотной кислоте с образованием растворов уранила.

Большое значение имеют многочисленные галоидные соединения урана. К ним относятся трифториды и тетрафториды, хлориды, бромиды и йодиды, пентафториды и гексафториды и хлориды, U_2F_9 и U_4F_{17} . Два последних соединения диспропорционируют при нагревании. Из фторидов наиболее интенсивен гексафторид урана. Гексафторид наиболее летучее из известных соединений урана. Он почти идеальный газ, является сильно фторирующим средством и поэтому легко вызывает коррозию. Он чувствителен к следам влаги, поэтому требует специальных методов.

При $250 - 300^\circ C$ металлический уран реагирует с водородом, образуя гидрид UH_3 , разлагающийся с повышением температуры ($436^\circ C$ при 1 атм) на тонко дисперсный уран и водород. Известно два карбида урана – монокарбид UC и дикарбид UC_2 .

Уран подобно железу имеет сильное сродство к кислороду, легко реагирует с воздухом или водой, образуя окись.

В аналитической химии урана большое значение имеет его способность к комплексообразованию. Взаимодействуя со многими неорганическими и органическими веществами, уран в различных валентных состояниях образует нейтральные комплексы, а также комплексные анионы и катионы.

Известно, что чем выше положительный заряд иона металла, тем больше его поляризующее действие и степень комплексообразования с анионами. С другой стороны, анионы сильных кислот обладают низким сродством к протону или положительно заряженному катиону металла, а анионы слабых кислот, наоборот, большим стремлением к комплексообразованию с катионами.

Таким образом, можно сказать, что наибольшей способностью к комплексообразованию обладает уран шестивалентный, т. е. уранил-ион. Координационные свойства UO_2^{2+} проявляются в том, что лиганды связаны с металлом, вероятно, сильными ковалентными связями и $U(VI)$ имеет тенденцию проявлять координационное число 6 и более.

Так, известны нитратные, фторидные, сульфатные, роданидные, карбонатные, ацетатные, оксалатные комплексы. Большая или ничтожная растворимость таких комплексных соединений в воде или органических растворителях широко используется при отделении урана от других элементов. Окрашенность многих комплексных соединений урана позволяет применять фотометрические методы количественного определения.

1.3 Свойства веществ, участвующих в процессе

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

UO_2 , U_3O_8 и UO_3 – диоксид, оксид урана и триоксид урана – известны более 100 лет. Изучение системы U-O показало возможное существование

монооксида UO; существование таких соединений урана с кислородом, как U₄O₉, U₃O₇, U₂O₅. Этими исследованиями было показано существование в системе U-O следующих фаз: UO, UO₂, U₄O₉, U₃O₇, U₃O₈, α-UO₃, β-UO₃.

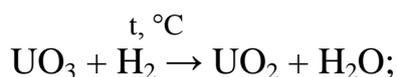
Свойства некоторых из этих соединений [21] описываются ниже.

Монооксид урана (UO) – низший оксид. Он встречается только в виде тонких пленок на уране или включений в металл. Хрупкое вещество серого цвета с металлическим блеском. По данным различных измерений ее плотность составляет 13,6-14,2 г/см³. Имеет кубическую решетку типа NaCl. Изучена она мало и до настоящего времени не получена в макроколичествах. При обычных условиях в нормальном состоянии UO как чистое соединение не существует. Трудность в получении в том, что она устойчива при высоких температурах.

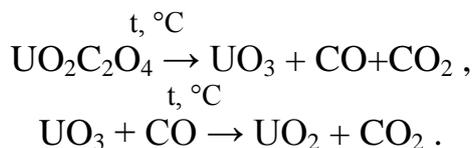
Диоксид урана (UO₂) – в природе встречается в виде кристаллического продукта – уранинита. Важное значение UO₂ имеет как промежуточный продукт при производстве фтористых соединений урана и металлического урана. А также он используется в ядерной энергетике как компонент ТВЭЛ.

Способы получения UO₂ подразделяются на две группы:

а) восстановление высших оксидов газообразными восстановителями при повышенной температуре:



б) термическое разложение солей урана без доступа воздуха:



Диоксид урана представляет собой порошок от бурого до черного цвета; плотность составляет 10-11 г/см³, насыпной вес равен 3,76-4,96 г/см³, температура плавления 2800°C.

Даже при высоких температурах диоксид урана практически не летуч. UO₂ термически устойчив при нагреве в вакууме или в восстановительной атмосфере до 1600°C. При более высокой температуре UO₂ теряет кислород. В присутствии кислорода UO₂ способен растворять его в себе с сохранением кубической структуры, образуя фазу UO_{2+x}, где X зависит от температуры, но твердые растворы нестабильны и при отжиге распадаются на UO₂ и U₄O_{9-y}.

Недостатком UO₂ как ядерного топлива считается сравнительно невысокая теплопроводность, затрудняющая отвод тепла от ТВЭЛ. Основным фактором, определяющим теплопроводность UO₂, служит кислородный коэффициент (соотношение U и O₂ в оксиде). Добавлением некоторых оксидов и использованием металлокерамических ТВЭЛ можно преодолеть этот недостаток UO₂.

В практическом отношении важно то, что UO₂ (порошок) легко окисляется на воздухе даже при комнатной температуре. Диоксид урана можно восстановить металлокерамическим способом до металлического урана (с помощью кальция и магния). Большая часть UO₂ – топлива применяется в виде таблеток.

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

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

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

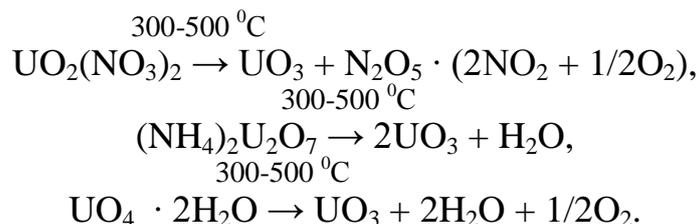
Оксид урана U_3O_8 нерастворим в воде и разбавленных кислотах, но медленно растворяется в концентрированных минеральных кислотах с образованием смеси солей урана и уранила. Оксид урана U_3O_8 имеет гидрат $U_3O_8 \cdot xH_2O$, который не кристаллизуется и очень легко окисляется до гидрата триоксида урана.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

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

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

Наиболее важны гидраты: $2UO_3 \cdot H_2O$ или $H_2U_2O_7$ – диуранатовая кислота, дающая соли-диуранаты, например: $Na_2U_2O_7$, $(NH_4)_2U_2O_7$ и т. д.; $UO_3 \cdot H_2O$ или H_2UO_4 – урановая кислота, дающая соли моноуранаты, например: Na_2UO_4 , $(NH_4)_2UO_4$, $CaUO_4$ и т. д.

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



Наиболее крупные зерна получают при разложении $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, а наиболее мелкие – $\text{UO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

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

Уранилнитрат получают при переработке различных отходов уранового производства. Во всех случаях уранилнитрат получается при непосредственной обработке урансодержащих материалов растворами азотной кислоты при нагревании [11, 22]. Уранилнитрат хорошо растворяется в воде, спиртах и т. д.

$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ хорошо растворим в воде. При 17 °С насыщенный водяной раствор содержит 54,77 % (вес) $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ [9]; по Беккерелю, в насыщенном водяном растворе может содержаться до 62,7 % $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$. При 180 °С начинается окрашивание паров в бурый цвет вследствие гидролитического отщепления азотной кислоты (денитрация).

Получение чистых растворов уранилнитрата описано в литературе [22]. Чистейший триоксид урана растворялся в химически чистой, дважды перенасыщенной азотной кислоте с концентрацией 2N. После этого растворы упаривались, а соли дважды перекристаллизовывались. Исходные растворы для исследований готовились по навеске соли, с добавлением трижды перегнанной в кварцевом приборе на шлифах воды. Анализ раствора состоял в упаривании раствора и прокаливании $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ при 870-890 °С до U_3O_8 .

Безводный $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ представляет собой светло-желтый кристаллический порошок, сравнительно устойчивый в сухом воздухе; во влажном воздухе он постепенно разлагается [22].

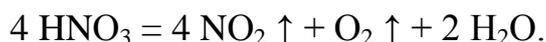
Уранилнитрат образует три кристаллогидрата: гексагидрат – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, тригидрат – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и дигидрат – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Все гидраты уранилнитрата представляют собой желто-зеленые кристаллические соли, гигроскопичные и расплывающиеся на воздухе [21].

Гексагидрат $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ выделяется из водных растворов при комнатной температуре. Он устойчив до 60 °С, при повышении температуры образуется сиропообразная масса, т. к. уранилнитрат плавится в собственной кристаллизационной воде [21].

Свойства азотной кислоты. Чистая азотная кислота HNO_3 – бесцветная жидкость с резким запахом плотностью 1,50 г/см³, при (- 42) °С застывающая в прозрачную кристаллическую массу. На воздухе она, подобно концентрированной соляной кислоте, «дымит», так как пары ее образуют с влагой воздуха мелкие капельки тумана.

Азотная кислота не отличается прочностью. Разлагается на свету и при нагревании с выделением NO_2 , в связи с чем концентрированная кислота имеет желтый или красно-бурый цвет:



Чем выше температура и чем концентрированнее кислота, тем быстрее идет разложение.

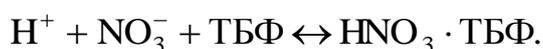
Растворяется в воде в любых количествах. Азотная кислота с органическими веществами образует взрывоопасные смеси.

Азотная кислота принадлежит к числу наиболее сильных кислот; в разбавленных растворах она полностью распадается на ионы H^+ и NO_3^- .

Азотная кислота – один из энергичнейших окислителей. Многие неметаллы легко окисляются ею, превращаясь в соответствующие кислоты. Так, сера при кипячении с азотной кислотой постепенно окисляется в серную кислоту, фосфор – в фосфорную. Тлеющий уголек, погруженный в концентрированную HNO_3 , ярко разгорается. Концентрированная HNO_3 пассивирует некоторые металлы, выступая в качестве окислителя. Чем выше концентрации HNO_3 , тем менее глубоко она восстанавливается. При реакциях с концентрированной кислотой чаще всего выделяется NO_2 . При взаимодействии разбавленной азотной кислоты с малоактивными металлами, например, с медью, выделяется NO . В случае более активных металлов – железа, цинка, – образуется N_2O . Сильно разбавленная азотная кислота взаимодействует с активными металлами – цинком, магнием, алюминием – с образованием иона аммония, дающего с кислотой нитрат аммония. Обычно образуются несколько продуктов.

Следует отметить, что при действии разбавленной азотной кислоты на металлы водород, как правило, не выделяется. При окислении неметаллов концентрированная азотная кислота, как и в случае металлов, восстанавливается до NO_2 , а более разбавленная – обычно до NO .

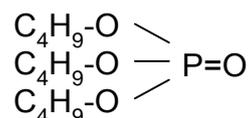
В рассматриваемом процессе азотная кислота выступает в роли сильного высаливателя, но эта способность велика при концентрации азотной кислоты 1 – 5 моль/л. При концентрации выше 5 моль/л она сама начинает экстрагироваться по реакции:



Экстракционная очистка концентрата природного урана начинается с растворения оксидов природного урана U_3O_8 в азотной кислоте HNO_3 концентрацией 40% при температуре 60-80 °С в противоточном реакторе растворения 1 с паровым обогревом, что ведет к интенсификации процесса, по реакции:

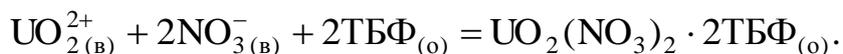


Свойства ТБФ – трибутиловый эфир ортофосфорной кислоты. Его химическая формула $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}$:



Это прозрачная маслянистая жидкость, температура вспышки которой 163 °С, температура замерзания – -80 °С, температура кипения – 289 °С.. ТБФ смешивается со всеми органическими растворителями. Химически устойчивое соединение, на воздухе не окисляется, не разлагается. Токсических соединений в воздушной среде не образует. Плотность при 20 °С равна 0,975 г/см³.

Это нейтральный, самый распространенный экстрагент, он хорошо экстрагирует нейтральные молекулы. Экстракция шестивалентного урана протекает по уравнению:



Рассмотренный механизм экстракции с образованием в органической фазе экстракционных соединений, в которых донорный атом активной группы экстрагента образует координационную связь с ионом металла, называют сольватным или координационным механизмом экстракции.

Недостатком ТБФ является способность гидролизироваться (при длительном воздействии температуры и HNO_3) как в кислых, так и щелочных средах на моно- и дибутилфосфат, что резко ухудшает показатели экстракции. Скорость гидролиза 0,001 %/час. С ростом температуры она увеличивается. Он также подвержен и радиолизу, при котором также разлагается на моно- и дибутилфосфат, которые затрудняют экстракцию урана, так как образуют более сильную связь. Они могут образовывать нерастворимые соединения с примесями.

ТБФ также имеет высокую вязкость (3,3 сПз) и высокую плотность (0,975 г/см³), что обуславливает необходимость применения инертных органических растворителей: керосина, бензола, гексана и др. Поэтому используют не 100 % ТБФ, а 30 - 40 % раствор ТБФ в керосине. Керосин – высококипящая фракция предельных углеводородов, практически не нитруется, не корродирует аппаратуру.

Свойства гидроксида натрия. NaOH представляет собой твердые белые, очень гигроскопичные кристаллы, плавящиеся при 328°C. Ввиду сильного разъедающего действия на ткани, кожу, бумагу и другие органические вещества она называется также едким натром («натр» – старое название оксида натрия). В технике часто называют каустической содой.

В воде гидроксид натрия растворяется с выделением большого количества теплоты вследствие образования различных гидратов. Его следует хранить в хорошо закупоренных сосудах, так как он легко поглощает из воздуха диоксид углерода, превращаясь в карбонат натрия.

Гидроксид натрия – один из важнейших продуктов основной химической промышленности. В больших количествах он потребляется для очистки продуктов переработки нефти; широко применяется в мыловаренной, бумажной, текстильной и других отраслях промышленности, а также при производстве искусственного волокна.

Для очистки ТБФ от монобутилфосфата и дибутилфосфата, образующихся при гидролизе и радиолизе ТБФ, раствор ТБФ в керосине нейтрализуется гидроксидом натрия NaOH.

1.4 Понятие о ядерной чистоте соединений урана

Существует три способа получения урановых химических концентратов: осадительный, сорбционный и экстракционный. Все они дают химические концентраты урана, различные по качеству, содержанию примесей и самого урана. Но все же это технические продукты, техническая закись-окись урана или соли типа уранатов. Для использования урана в атомной технике требуются ядерно-чистые металлический уран, его оксиды, тетрафторид и другие соединения [1]. Сущность понятия ядерной чистоты связана с эффективными сечениями захвата различными элементами – примесями медленных нейтронов. Эти сечения неодинаковы для различных элементов.

Наиболее опасными являются элементы с максимальным значением сечения поглощения (захвата) нейтронов, например Cd, В, Hf, редкоземельные элементы, особенно Gd, Sm, Eu, Dy и другие. Это так называемые нейтронные яды, присутствие которых вызывает потерю нейтронов. Содержание таких элементов в соединениях урана, предназначенных для использования в качестве ядерного топлива должно быть ограничено строгими условиями.

В реальных системах на ядерные свойства вещества влияет не одна какая-либо примесь, а вся их сумма. Для количественной оценки влияния суммы примесей на захват нейтронов существует понятие “коэффициента опасности”, который выражают в процентах [1].

Коэффициент опасности находят по формуле [1]:

$$K = x_1\rho_1 + x_2\rho_2 + x_3\rho_3 + \dots ,$$

где x – процентное содержание примесей;

$$\rho = \frac{\sigma_A \cdot 238}{A} - \text{коэффициент захвата, нейтронов данной примесью};$$

σ_A – эффективное сечение захвата для данной примеси;

238 – атомная масса урана;

A – атомная масса примесей.

Необходимо, чтобы выполнялось условие [1]:

$$K \leq 0,25 \%$$

Кроме того, некоторые примеси (углерод, азот) влияют на физические свойства урана или вредят его плавке. Вот почему требуется дальнейшая химическая очистка, называемая аффинажем урановых концентратов.

1.5 Методы аффинажа в технологии урана

Цель переработки – получение соединений урана, отвечающих определенным требованиям. Существует много условий на ядерно-чистый уран, применяемых в различных странах, принцип которых одинаков [1].

В настоящее время нет универсального метода, который одним приемом, позволил бы отделить от урана примеси до требуемых условий. Поэтому на

практике прибегают к комбинации нескольких методов, с тем чтобы в итоге получить конечный продукт нужного высокого качества.

Выбор метода очистки урана зависит от многих факторов, к которым относятся: требуемая степень очистки; природа, количество примесей; влияния используемых реактивов на чистоту конечного продукта.

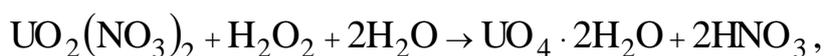
Методы аффинажа урана, как и применяемые реагенты, весьма разнообразны. Применение соответствующих кислот позволяет перевести уран в хорошо растворимое состояние, например уранилнитрат, уранилхлорид, уранил-сульфат. При использовании определенных реагентов образуются практически нерастворимые соединения – диуранат, пероксид, оксалаты и другие. Некоторые соединения урана хорошо растворимы в воде, из водных растворов уран может быть селективно выделен в осадок (аммонийуранилтрикарбонат, аммонийуранилпентофторид, аммонийуранил-сульфат). Методы сорбции и экстракции также характеризуются высоким аффинажным действием. В урановой технологии известно много методов аффинажа, например: сульфидная очистка, гидроокисная очистка, фосфатная очистка, очистка кристаллизацией уранилнитрата, оксалатная очистка, пероксидная очистка, карбонатная очистка, экстракционная очистка [1].

В настоящее время лишь три последних метода имеют практическое значение.

Пероксидная очистка. Этот метод основан на выделении из раствора пероксида урана $UO_4 \cdot 2H_2O$. Это характерное для урана соединение получают действием пергидроля (30% H_2O_2) на соль урана в растворе.

Пероксидная очистка очень проста, но, следует обратить внимание на существующие особенности осаждения пероксида, так как процесс довольно тонкий и капризный:

1) реакция осаждения пероксида урана протекает по уравнению:



следовательно, необходимы избыток перекиси водорода и нейтрализация образующейся азотной кислоты аммиаком;

2) при этом надо избегать разогрева, так как перекись водорода в этих условиях разрушается;

3) перекись водорода довольно быстро разлагается с течением времени;

4) надо стремиться получить относительно хорошо фильтрующий осадок, что обычно достигают медленным приливанием осадителя.

Противоречивость требований к условиям процесса создает трудности осуществления осаждения пероксида урана на практике. На заводах этот процесс обычно проводят при следующих параметрах: концентрация урана 100...120 г/л, концентрация азотной кислоты 30 г/л, комнатная температура, 100%-ный избыток H_2O_2 . При этих параметрах извлечение U составляет 99%.

Сама перекись водорода дорога и, как уже отмечалось, не очень устойчива. Поэтому пероксидный процесс целесообразно применять на конечных стадиях аффинажа для самой тонкой очистки, когда основная масса примесей уже удалена. В настоящее время пероксидный процесс в практике

аффинажа почти не применяют. Иногда к нему прибегают в целях дополнительной очистки урановых растворов при осаждении урана [1].

Карбонатная очистка. Один из довольно совершенных и эффективных методов очистки урана – трикарбонатная очистка, которая основана на образовании характерного для шестивалентного урана очень устойчивого комплексного соединения: $(\text{NH}_4)_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$, на существование которого впервые указал Берцелиус еще в 1824 году [1].

Это тяжелые зеленовато – желтые кристаллы моноклинной сингонии. Они хорошо растворяются в воде, но высаливаются под действием одноименного иона. Добавкой карбоната аммония уран в виде $(\text{NH}_4)_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ можно выделить почти полностью в осадок. Кроме того, уран можно выделить в виде осадка монокарбоната при кипении раствора.

Успешному осуществлению карбонатной очистки урана способствует особая гибкость свойств карбонатных соединений урана – хорошая растворимость в слабо концентрированных растворах, высаливание в более концентрированных, выделение в осадок при кипячении. Поведение примесей благоприятно для эффекта очистки; в большинстве своем они не растворяются в карбонатных растворах, а если такое и происходит, то при высаливании урана примеси не осаждаются, например, P, As, B, V полностью остаются в растворе. Происходит очень хорошая очистка от примесей Li, Be, Mg, Sr, Ba, Mn, Fe^{2+} , Al, Ga, Zn, Zr, Ti^{3+} , Hg, Sn, Pb, Bi, Ce, Si, La, Th, Y, Cu и др.

Таким образом, изменением условий процесса можно добиться очистки урана практически от всех примесей: и от тех, которые осаждаются из карбонатных растворов, и от тех, которые образуют в карбонатных средах растворимые соединения [1].

Экстракционная очистка урана. В последнее время процессы экстракции играют все большую роль в процессах извлечения, разделения и очистки веществ в химической, радиохимической, нефтехимической, металлургической и других отраслях промышленности.

Становление атомной промышленности привело к интенсивному развитию экстракционной технологии. С использованием экстракционных процессов удалось решить проблемы комплексной переработки урановых руд, аффинажа урана, переработки облученного ядерного горючего и отходов химико-металлургического производства.

В общем случае экстракция – процесс разделения жидких смесей и извлечение компонентов из твердых веществ при помощи жидкого растворителя (экстрагента), избирательно растворяющего только извлекаемые компоненты. В более узком смысле слова экстракция – это жидкостная экстракция – массообменный процесс на поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей [5].

Жидкостная экстракция представляет собой процесс извлечения вещества, называемого целевым компонентом, из одной жидкой фазы (обычно водного раствора) в другую (органическую). Две взаимно нерастворимые жидкости и распределяемый между ними целевой компонент образуют экстракционную систему. Существуют экстракционные системы двух типов:

- 1) органическая фаза – распределяемый компонент – водная фаза;
- 2) органическая фаза – распределяемый компонент – органическая фаза.

Распределяемыми (извлекаемыми) компонентами могут быть органические, неорганические вещества и комплексные соединения.

Таким образом, в процессе экстракции участвуют две жидкие фазы – экстрагент и исходный раствор. Получаемые после экстракции фазы называются экстрактом и рафинатом.

Сущность метода экстракционного извлечения или разделения веществ в том, что при определенных условиях соли некоторых элементов, например урана (VI), могут в заметном, часто значительном количестве переходить из водных растворов в несмешивающийся с водой органический растворитель. Тогда как основная масса соединений других элементов остается в водном слое [1]. Уран образует с органическими растворителями соединения, растворимые в избытке растворителя или в тех или иных органических разбавителях.

Исходная жидкая смесь обрабатывается экстрагентом, который не растворим или малорастворим в исходной смеси. В результате взаимодействия экстрагента с исходным раствором образуется: экстракт - раствор, извлеченный из исходной смеси компонентов в экстрагенте и рафинат - обедненный извлекаемыми компонентами, содержащий некоторое количество экстрагента.

Процесс экстракции складывается из следующих стадий:

- 1) смешение исходной смеси с экстрагентом для создания между ними тесного контакта;
- 2) разделение двух несмешивающихся жидких фаз (экстракта и рафината);
- 3) регенерация экстрагента.

При экстракции вещества достигаются следующие цели:

- 1) избирательное извлечение вещества из исходного раствора;
- 2) разделение веществ, содержащихся в исходном растворе и получение их в чистом виде;
- 3) концентрирование извлекаемых веществ.

В настоящее время жидкостную экстракцию широко применяют в аналитической химии; в физико-химических исследованиях; в препаративной химии радиоактивных и стабильных нуклидов; для выделения радиоактивных нуклидов в специальных целях; для извлечения урана и тория из руд и аффинажа; в технологии облученного ядерного топлива; в технологии извлечения и очистки цветных и редких металлов; в химической технологии неорганических и органических веществ [1].

В технологии урана метод экстракционного передела растворов приобретает все большее значение. Основан он на свойствах некоторых органических растворителей, несмешивающихся с водой, образовывать с солями урана и уранила комплексы, растворимые в избытке растворителя. При контактировании водных и органических растворов уран распределяется между водной и органической фазами. Характер распределения зависит от условий процесса, которые можно подобрать таким образом, что уран количественно извлекается в органическую фазу, а примеси остаются в водной фазе. Таким образом, экстракционное извлечение урана всегда связано с концентрированием и очисткой от примесей.

В зависимости от способа осуществления контакта между исходным водным раствором и экстрагентом различают следующие разновидности процесса экстракции [5]:

- однократная экстракция, по которой исходный раствор однократно обрабатывается всем количеством экстрагента с последующим разделением на экстракт и рафинат;

- многократная экстракция перекрестным током, по которой исходный раствор и рафинатные растворы обрабатываются на каждой ступени соответствующей порцией экстрагента;

- противоточная экстракция, по которой обеспечивается многократное противоточное контактирование рафинатных и экстрактных растворов смежных ступеней.

Противоточное экстрагирование обеспечивает полное разделение при высоком выходе рафината и значительно меньшем расходе экстрагента.

Колонные экстракторы отличаются высокой производительностью, занимают сравнительно малую площадь, обеспечивают непрерывность процесса. Существует значительное количество разновидностей колонных аппаратов: гравитационные (распылительные, насадочные, тарельчатые) и экстракторы с вводом энергии в контактирующие жидкости (роторные, роторно-дисковые, смесительные, смесительно-отстойные, пульсационные, вибрационные).

Колонные экстракторы с вводом энергии в контактирующие жидкости характеризуются наибольшей эффективностью или наименьшей высотой эквивалентной теоретической ступени изменения концентрации, составляющей обычно 0,25-0,5 метров против 1-10 метров для гравитационных колонн.

Пульсационные колонные аппараты выгодно отличаются от других колонных экстракторов с вводом энергии в контактирующие жидкости отсутствием движущихся частей в рабочей зоне, отсутствием внутренних подшипников, герметичностью, простотой монтажа и ремонта, поэтому они в последнее время находят в промышленности все большее применение.

Принципиальная схема процесса экстракции выглядит следующим образом:



Рисунок 1.2 – Принципиальная схема экстракции

Извлечение урана из водной фазы в органическую происходит в результате химического взаимодействия гидратированных ионов с экстрагентами с образованием новых соединений, растворимых в избытке экстрагента или, что чаще, в смеси экстрагента и инертного разбавителя [1].

Для широкого внедрения экстракционных процессов необходимо иметь большой ассортимент экстрагентов, обладающих различными свойствами по химическому взаимодействию. В настоящее время в технологии урана к экстрагентам предъявляются следующие требования:

- 1) достаточно высокий коэффициент распределения урана, что является важнейшей характеристикой экстрагента;
- 2) определенная селективность в отношении урана (избирательность действия);
- 3) быстрота и чистота разделения фаз после контакта;
- 4) малая взаимная растворимость в системе водный раствор – экстрагент (в идеале – полная несмешиваемость);
- 5) плотность экстрагента должна отличаться от плотности водного раствора. Следует учитывать, что в процессе экстракции плотность водной фазы уменьшается, а органической – увеличивается, что может затруднить разделение фаз после экстракции и даже вызвать их инверсию. Обычно плотность органической фазы снижают добавкой разбавителя;
- 6) химическая стойкость экстрагента к кислотам и окислителям;
- 7) возможно меньшие летучесть, вязкость, токсичность;
- 8) возможно более высокая температура вспышки, а еще лучше полная негорючесть экстрагента;
- 9) радиационная стойкость;
- 10) невысокая стоимость, доступность и простота синтеза;
- 11) относительная легкость регенерации экстрагента, так как необходимо добиваться оборачиваемости экстрагента в процессе [1].

Кроме этих требований, которые применимы ко всем экстракционным процессам, существует ряд требований к экстрагентам в аффинаже, что обусловлено несколькими причинами:

1) содержание урана в растворах более высокое. Следовательно, экстрагент должен обладать большей емкостью. Поэтому в аффинаже используют или чистые экстрагенты (гексон и др.) или более концентрированные растворы (30-40 %-ные) ТБФ в керосине;

2) стоимость реагентов меньше влияет на стоимость полученного уранового продукта, так как объем растворов значительно меньше объема растворов урановородного производства, а сам продукт дороже. Поэтому, возможно применение относительно дорогой азотной кислоты, которая хорошо растворяет большинство соединений урана. Азотнокислые среды предпочтительны для экстракции нейтральными экстрагентами;

3) требуется обеспечить ничтожно малые коэффициенты распределения примесей, т.е. экстрагент должен обладать высокой разделяющей способностью образования сольватов уранил-нитрата.

На практике невозможно найти экстрагент, удовлетворяющий всем требованиям одновременно, поэтому приходится принимать компромиссное решение. Лучше всего всем требованиям удовлетворяет раствор трибутилфосфата в керосине.

В процессе экстракции растворенное в водной фазе вещество распределяется между ней и фазой экстрагента до достижения динамического равновесия. Состояние равновесия фаз при экстракции характеризуется законом равновесного распределения, который выражается через коэффициент распределения D , представляющий собой отношение равновесных концентраций распределяемого вещества в экстрагенте (Y) и водной фазе (X) при данной температуре. В простейшем случае коэффициент распределения есть величина постоянная

$$D = \frac{Y}{X}.$$

Величина D – основная экспериментальная характеристика процесса. По значению коэффициента распределения судят об экстракционной способности экстрагента. Чем больше D , тем выше способность экстрагента извлекать целевой компонент. В экстракционных системах $D = 1-10000$. Коэффициент распределения зависит от температуры и концентрации компонента в исходном растворе. В разбавленных растворах D не зависит от концентрации. Коэффициенты распределения определяют экспериментальным путем.

Закон равновесного распределения имеет следующий вид:

$$Y = D \cdot X,$$

где Y – равновесная концентрация распределяемого вещества в экстрагенте;

X – равновесная концентрация распределяемого вещества в водной фазе;

D – коэффициент распределения.

Закон распределения гласит: для данной температуры отношение концентраций вещества, распределяемого между двумя несмешивающимися жидкостями - величина постоянная при различных его концентрациях.

$$\frac{C_{орг}^I}{C_{вод}^I} = \frac{C_{орг}^{II}}{C_{вод}^{II}} = \frac{C_{орг}^{III}}{C_{вод}^{III}} = \dots = \text{const},$$

$$\frac{C_{орг}}{C_{вод}} = D.$$

Коэффициент распределения (D) из уравнения зависит от природы растворителя и распределяющего вещества, от температуры, но не от концентрации вещества.

Закон распределения справедлив лишь в том случае, когда растворенное вещество находится в обеих фазах в одной и той же форме [1].

При бесконечных разбавлениях D имеет высокое значение с точки зрения технологии экстракционных процессов. Чем выше коэффициент распределения, тем больше количества вещества можно извлечь за одну операцию (контакт) экстрагирования. Различие коэффициентов распределения ценного компонента и примесей позволяют при экстракции эффективно избавиться от последних. Даже небольшое различие коэффициентов распределения двух химически близких веществ дает возможность разделить их экстракционным методом и, в конце концов, селективно выделять их.

Однако постоянство коэффициентов распределения справедливо только при том условии, если исходный раствор и экстрагент взаимно совершенно не растворимы и не происходит ассоциации или диссоциации молекул распределяемого вещества. Кроме того, данный закон распределения применим при отсутствии химического взаимодействия между фазами. Практически экстрагент и исходный раствор часто обладают некоторой взаимной растворимостью. В этих случаях коэффициент распределения зависит от температуры, и от концентрации распределяемого вещества в водной фазе.

Классификация экстракционных процессов. Извлечение урана из водной в органическую фазу происходит в результате химического взаимодействия гидратированных ионов с экстрагентами с получением новых соединений, растворимых в избытке экстрагента или, что чаще, в смеси экстрагента и инертного растворителя. Обратный процесс – реэкстракция урана в водную фазу – также связан с предшествующими химическими процессами разрушения экстрагируемых соединений. Однако механизм экстракции и реэкстракции может быть различным в зависимости от природы экстрагента и условий осуществления самой экстракции.

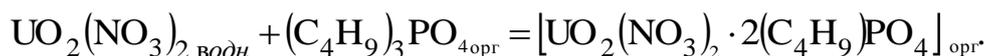
Рассмотрим экстрагенты и наиболее характерные для них механизмы по классификации, подразделяя их на три группы:

а) нейтральные экстрагенты – экстракция сопровождается образованием сольватов (сольватный механизм экстракции). При этом в качестве экстрагентов применяют нейтральные органические соединения (простые и сложные эфиры, спирты, кетоны, альдегиды и другие) [5].

К этой группе относятся широко применяемые процессы экстракции уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2$ диэтиловым эфиром $(C_2H_5)_2O$:



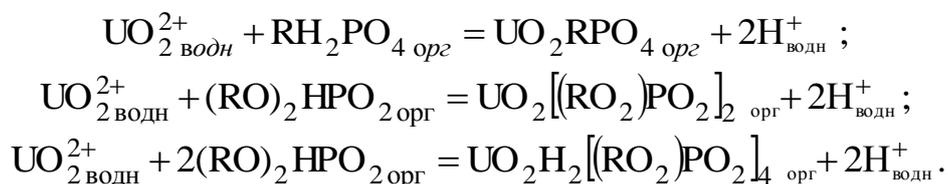
или экстракция уранилнитрата трибутилфосфатом $(C_4H_9)_3PO_4$:



Эти экстрагенты работают по принципу комплексообразования и экстрагируют преимущественно из азотнокислых растворов в соответствии с приведенными выше реакциями;

б) некоторые органические кислоты, например, кислые алкилфосфаты, которые образуют с уранил-ионом в органической фазе устойчивые комплексные соединения, в состав которых входят катион из водной фазы и анион органической кислоты.

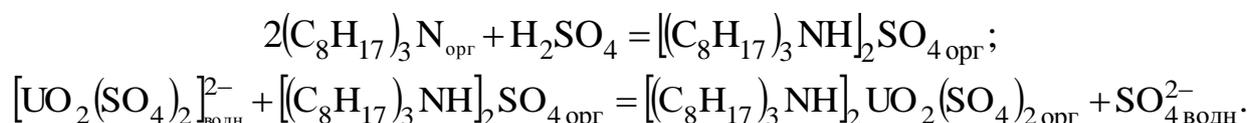
Процесс экстракции в этом случае сопровождается обменом неорганических катионов между исходной смесью и экстрагентом, в результате которого образуются весьма прочные нейтральные комплексные соединения. В качестве экстрагента применяют органические кислоты или их соли, а в процессе экстракции происходит или замещение водорода органической кислоты на гидратированный катион металла водной фазы, или обмен катионами металлов взаимодействующих водной и органической фаз [5]. К этому классу относятся, например, процессы экстракции уранилиона UO_2^{2+} моноалкилфосфатом RH_2PO_4 : додецилфосфорной кислотой (ДДФК) $C_{12}H_{25}PO_4H_2$ и диалкилфосфатом $(RO_2)HPO_2$: ди-2-этилгексилфосфорной кислотой (Д2ЭГФК) $[CH_2CH(C_2H_5)(CH_2)_4O]_2PO_2H$:



Экстрагенты этого класса работают по принципу катионообменника;

в) органические соединения, для которых растворимость в неполярных растворителях обусловлена образованием солей с органическим катионом, поэтому металлы, в том числе уран, экстрагируются, если они образуют комплексные анионы. К ним относятся органические амины, а также четвертичные аммониевые основания и их соли.

Процесс экстракции в этом случае сопровождается обменом неорганическими анионами между исходной смесью и экстрагентом, за счет протекания межфазных химических реакций [5]. К этому классу относится, например, процесс экстракции сульфатных анионных комплексов уранила $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$ солями амина (алкиламмония) $(NR_3H)_2SO_4$, получаемых по реакции три-Н-октиламина с серной кислотой:



Экстрагенты этого класса – соли алкиламина работают по принципу анионообменника. Экстракционная способность аминов увеличивается в ряду: первичные < вторичные < третичные < четвертичные.

Преимущества процессов экстракционной очистки урана. Этот процесс эффективней по сравнению с осадительным переделом растворов: низкий расход реагентов, малая концентрация урана в рафинате, небольшой объем сбросных растворов, а также более высокая селективность извлечения – все это отличает экстракционный процесс от осадительного. Поэтому на многих урановых заводах осадительные схемы извлечения заменены экстракцией и технология большинства новых заводов также основывается на этом весьма перспективном процессе.

В результате экстракционного разделения веществ твердая фаза не образуется. В этом его преимущество перед осадительными операциями, так как исключается захват примесей при образовании осадков. В случае экстракционного извлечения концентрирования урана достигается одновременно с его очисткой от примесей.

При осуществлении осадительных операций в сбросных фильтрах всегда остается некоторое количество урана и чем ниже исходное содержание урана в растворе, тем меньше его извлечение в очищенную фракцию. Экстракционный метод лишен этого недостатка, так как извлечение урана в органическую фазу и в реэкстракт сравнительно мало зависит от его исходной концентрации.

Осаждение и кристаллизация осадков – сравнительно длительный и сложный процесс, в то время как экстракционное равновесие устанавливается обычно в течение нескольких минут.

Экстракционное извлечение урана имеет достоинство, которое отчетливо проявляется при крупномасштабном производстве. Поскольку процесс связан с контактированием и разделением жидких сред, его легко контролировать, и он может быть полностью автоматизирован; осуществить автоматизацию сорбционного, а тем более осадительного передела значительно труднее.

Требования к экстрагентам обусловлены несколькими причинами [1]:

– содержание урана в растворах более высокое, т.е. экстрагент должен обладать большей емкостью. Поэтому при экстракционной очистке используют или чистые экстрагенты (гексон, дибутилкарбитол) или более концентрированные растворы 10 – 40 % ТБФ в керосине;

– стоимость реагентов меньше влияет на стоимость полученного уранового продукта, так как объем растворов значительно меньше объема растворов урановородного производства, а сам продукт дороже. Следовательно, возможно применение относительно дорогой азотной кислоты, которая хорошо растворяет большинство соединений урана;

– экстрагент должен обладать высокой разделяющей способностью, связанной с образованием сольватов уранилнитрата (гексон, дибутилкарбитол, ТБФ).

К недостаткам экстракционного процесса относится растворимость экстрагента в водной фазе, образование трудно расслаивающихся эмульсий, затрудняющее разделение фаз и может снизить эффективность экстракции.

Наличие в системе больших количеств органического растворителя опасно в отношении пожаров, взрывов и требует специальных мер техники безопасности. Однако имеются методы, преодолевающие эти трудности.

1.6 Аппаратурное оформление процесса

Конструкции экстракционных аппаратов весьма разнообразны. Ежегодно патентуются новые конструкции экстракторов и публикуются результаты исследований работы различных аппаратов, преимущественно лабораторного масштаба. С одной стороны, такое разнообразие конструкций закономерно, так как невозможно существование универсальных аппаратов. Каждому аппарату, обладающему теми или иными достоинствами, присущи в тоже время определенные недостатки, которые могут иметь решающее значение при выборе аппарата для конкретного процесса. С другой стороны, далеко не все известные экстракторы перспективны для промышленного применения [18].

По принципу воздействия или способу контакта фаз, промышленные экстракторы можно разделить на две большие группы:

- дифференциально-контактные экстракторы;
- ступенчатые экстракторы.

Аппараты первой группы отличаются непрерывным контактам между фазами и плавным изменением концентрации вдоль высоты аппарата. При подобном профиле концентраций фазы ни в одной из точек экстрактора не приводятся в равновесие. Дифференциально-контактные экстракторы более компактны и требуют ограниченной производственной площади.

Аппараты второй группы состоят из дискретных ступеней, в каждой из которых осуществляется контактирование фаз, после чего они разделяются и движутся по принципу противотока в последующие ступени. Продольное перемешивание в этих аппаратах значительно слабее, чем в дифференциально-контактных, а эффективность ступеней высока.

Экстракторы можно классифицировать также по роду сил, под действием которых осуществляется диспергирование одной фазы в другой. По этому признаку аппараты могут быть подразделены на работающие под действием гравитационных сил (разности плотностей фаз) и под действием внешней энергии, вводимой в жидкость. Введение внешней энергии возможно путем сообщения жидкости колебательного движения (пульсаций или вибраций), перемешивания механическими вращающимися мешалками, контактирования в поле центробежных сил. Аппараты некоторых конструкций можно рассматривать как промежуточные между дифференциально-контактными и ступенчатыми экстракторами [18].

Рассмотрим лишь некоторые экстракторы:

1) распылительные экстракторы. Это представитель гравитационных экстракторов. В них отсутствуют какие-либо внутренние устройства, вследствие чего фазы в колонне могут свободно циркулировать в вертикальном направлении, т.е. в этих аппаратах имеются условия для продольного перемешивания фаз. Поэтому распылительные экстракторы являются аппаратами низкой эффективности. К недостаткам относится также снижение скорости захлебывания с увеличением доли диспергированной фазы в системе,

так как при этом снижается сечение для движения сплошной фазы и увеличивается унос капель. Важным достоинством этих экстракторов является возможность обработки в них загрязненных жидкостей. Иногда эти аппараты применяют для экстрагирования из пульп [19];

2) экстракторы ящичного типа (ступенчатые экстракторы). Важным достоинством является возможность их эффективного применения для процессов экстракции, требующих большого числа ступеней. Их недостатком является медленное отстаивание в них жидкостей, что нежелательно при обработке дорогостоящих, взрывоопасных или легковоспламеняющихся веществ [19];

3) смесители-отстойники (ступенчатые экстракторы). Достоинствами являются высокая эффективность, возможность быстрой смены числа ступеней, пригодность для работы в широких интервалах изменения физических свойств и объемного соотношения фаз, относительно легкое масштабированием и т.д. Недостатками являются большая занимаемая производственная площадь, наличие смесителей с индивидуальными приводами, большие объемы гравитационных отстойных камер [19];

4) центробежные экстракторы. Эти аппараты весьма компактны и сочетают значительную производительность с высокой интенсивностью массопередачи. В них можно эффективно обрабатывать жидкости с небольшой разностью плотностей. Но они отличаются малой удерживающей способностью и коротким временем пребывания жидкости в аппарате. Эта их особенность обуславливает успешное применение для экстракции легко разлагающихся веществ, чувствительных не только к нагреванию, но и к продолжительному пребыванию в растворе при нормальной температуре. Также эти аппараты не пригодны для экстракции, сопровождаемой химической реакцией, когда требуется длительное время контакта фаз [20];

5) пульсационные экстракторы. Применение пульсаций в процессе экстракции способствует лучшему диспергированию жидкости, интенсивному обновлению поверхности контакта фаз, увеличению времени пребывания диспергируемой жидкости в экстракторе. Эти экстракторы высокоэффективны, позволяют проводить экстракцию без контакта обслуживающего персонала с обрабатываемыми жидкостями, что очень важно, если жидкости радиоактивны или токсичны. К недостаткам пульсационных колонн относятся большие динамические нагрузки на фундамент, повышенные эксплуатационные расходы, трудность обработки легкоэмульгированных систем [19].

Выбор оптимальной конструкции аппарата для данного производственного процесса представляет собой достаточно сложную задачу. Наиболее надежным критерием оценки экстракционных аппаратов является их технико-экономическое сравнение с учетом производительности, разделительной способности, энергетических затрат, а также эксплуатационных расходов [18].

В результате сравнения и по рекомендациям [18] выбираем основным аппаратом экстракционной установки центробежный экстрактор. Центробежные экстракторы имеют технологические и конструктивные преимущества перед экстракционными колоннами. Технологические преимущества: высокая технологическая гибкость и мобильность, позволяющие осуществить переход ЦЭ с режима на режим за 0-1 мин; высокое

число теоретических ступеней экстракции в аппарате (1 и более); наибольшая из всех известных видов экстракционного оборудования пригодность к работе со склонными к эмульгированию системами, так как эмульсия весьма интенсивно разрушается в поле мощных центробежных сил .

Центробежные экстракторы обладают существенными достоинствами. Эти аппараты весьма компактны и сочетают значительную производительность с высокой интенсивностью массопередачи. В них можно эффективно обрабатывать жидкости с небольшой разностью плотностей. Вместе с тем центробежные экстракторы отличаются малой удерживающей способностью и коротким временем пребывания жидкостей в аппарате. Эта особенность центробежных экстракторов обуславливает их успешное применение для экстракции легко разлагающихся веществ, например антибиотиков (пенициллина и др.), чувствительных не только к нагреванию, но и к продолжительному пребыванию в растворе при нормальной температуре. Вместе с тем эти аппараты не пригодны для экстракции, сопровождаемой химической реакцией, когда требуется длительное время контакта фаз.

Центробежные экстракторы подразделяют на камерные (дискретно-ступенчатые) и дифференциально-контактные. Аппараты первой группы состоят из отдельных ступеней (камер), в каждой из к-рых движущиеся противотоком фазы последовательно перемешиваются и разделяются (напр. В аппаратах второй группы процесс протекает при близком к непрерывному контакту движущихся встречных потоков фаз; движение происходит по каналам, образованным внутри. Центробежные экстракторы целесообразно эксплуатировать при экспериментально подобранном числе оборотов ротора и производительности не менее 60 % проектной. При меньшем числе оборотов и нагрузке не обеспечивается тесного контакта и четкого разделения взаимодействующих фаз, что ухудшает процесс очистки.

Центробежные экстракторы являются перспективным оборудованием для проведения процессов жидкостной экстракции. Поскольку ускорение генерируемого в них центробежного поля превышает ускорение свободного падения в 10 раз, в этих экстракторах достигаются большие скорости взаимодействия обрабатываемых жидкостей, высокая эффективность массообмена и четкая сепарация выходных потоков. В связи с этим такие аппараты компактны, в них невелики объемы участвующих в массо-обмене жидкостей, минимальна пожаро - и взрывоопасность установок. Поскольку время контакта в этих аппаратах невелико, они незаменимы при обработке нестойких продуктов, а также легкоэмульгируемых жидкостей и смесей компонентов с мало отличающимися плотностями.

Производительность центробежных экстракторов определяется шириной ротора, а число получаемых теоретических ступеней - его диаметром. В экстракторе, тяжелая фаза отводится через канал, расположенный у оси вращения ротора. При этом в случае обработки жидкостей, обладающих большой разностью плотностей, легкая фаза должна вводиться в ротор под значительным избыточным давлением. В настоящее время разработаны безнапорные центробежные экстракторы, в которых этот недостаток в значительной степени устранен.

Применение центробежных экстракторов а обеих стадиях процесса повышает степень извлечения, улучшает его качество, значительно упрощает существующую технологическую схему. Для размещения экстракционной установки, снабженной центробежными экстракторами, требуется площадь в несколько раз меньше, чем для аналогичной установки с гравитационными экстракторами и экстракционными колоннами.

Преимуществом многоступенчатых центробежных экстракторов является меньшее число приводов в экстракционной установке. Это особенно важно, когда экстракционная схема состоит из нескольких десятков или сотен ступеней. К недостаткам этих экстракторов следует отнести их относительную сложность в изготовлении и обслуживании.

1.7 РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Описание аппаратурно-технологической схемы.

Аппаратурно-технологическая схема установки экстракционной очистки концентрата природного урана приведена на рисунке 2.1.

Установка экстракционной очистки природного урана состоит из: реактора растворения, фильтров тонкой очистки, экстракционной, промывной, реэкстракционной и регенерационной колонн, теплообменника, выпарного аппарата, холодильника и сборника готового продукта.

Технологический процесс начинается с растворения оксидов природного урана U_3O_8 в азотной кислоте HNO_3 концентрацией 40% при температуре $60...80\text{ }^{\circ}C$ в противоточном реакторе растворения 1 с паровым обогревом, что ведет к интенсификации процесса, по реакции:



Полученный раствор $UO_2(NO_3)_2$ поступает сначала в бак-накопитель 2, а фугат (раствор) поступает на фильтры тонкой очистки 4, далее на экстракционный аффинаж. В качестве экстрагента применяем раствор трибутилфосфата (ТБФ) в керосине. Экстрагирование происходит по реакции:



Экстрагент подается в экстракционную колонну 6 через диспергатор, обеспечивающий образование мелкодисперсной и равномерной фазы капель и создающий дополнительную ступень процесса экстракции.

Реакционная зона экстрактора с пакетной насадкой КРИМЗ и пульсационным устройством обеспечивает высокую эффективность процесса и минимальную высоту, эквивалентную теоретической ступени, равную 0,25-0,5 м.

Полученный экстракт подвергается обработке трех мольным раствором азотной кислоты в промывной колонне 7 для удаления примесей.

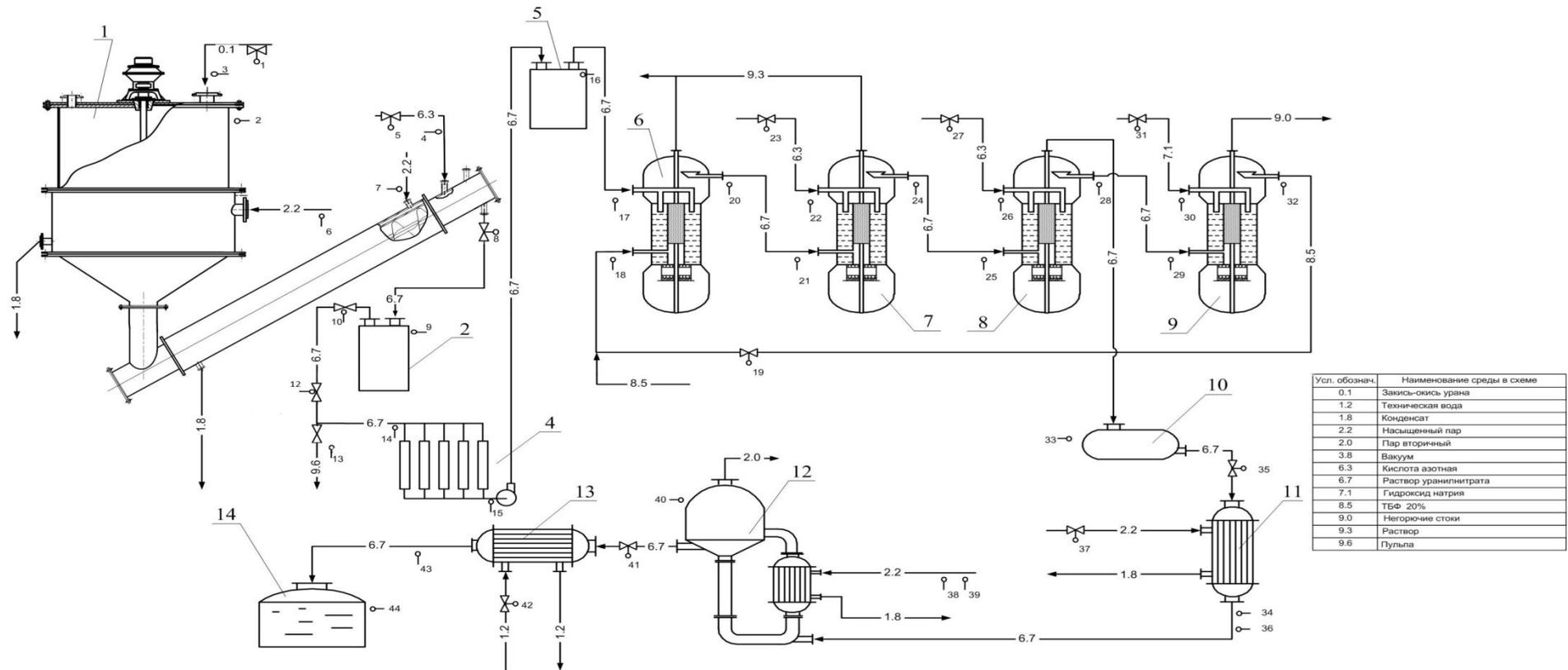
Очищенный раствор уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2$ поступает в нижнюю отстойную зону реэкстракционной колонны 8. Реэкстрагент 0,01 моля азотной кислоты HNO_3 соответственно подается в верхнюю отстойную зону. Далее

отделенный в результате реэкстракции раствор ТБФ в керосине поступает в регенерационную колонну 9 и нейтрализуется гидроксидом натрия NaOH в результате чего он очищается от монобутилфосфата и дибутилфосфата, образующихся при гидролизе и радиоллизе ТБФ и возвращается в процесс. В результате цикл замыкается, что обеспечивает экономичное использование столь дорогого экстрагента.

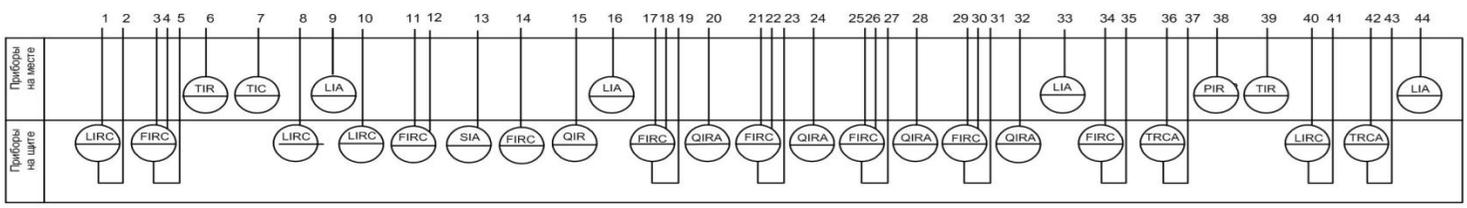
Полученный в результате реэкстракции раствор уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2$, содержащий 100 – 110 г/л по урану, поступает в бак-накопитель 10, а затем нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике 11 до 105⁰С, концентрируется до 500 г/л по урану в выпарном аппарате с выносной греющей камерой 12 с последующим охлаждением в холодильнике 13 и собирается в сборнике готовой продукции 14 для дальнейшей транспортировки на сублиматное производство для получения оксидов, а затем фторидов урана.

Процесс непрерывный, а при непрерывном процессе оборудование используется более эффективно, потому что отсутствуют промежуточные операции заполнения и опорожнения аппаратов и снижаются эксплуатационные расходы и облегчается возможность автоматизации процесса.

Данная установка является модернизированным прототипом уже действующей экстракционной установки на Радиохимическом заводе. В плане конверсионной программы Сибирского химического комбината проводятся исследования процесса экстракционной очистки концентратов природного урана. Плюсы данной аппаратурно-технологической схемы в том, что колонные аппараты находятся в каньонах, а сложность в том, что осложняется процесс обслуживания оборудования.



Усл. обознач.	Наименование среды в схеме
0.1	Закись-окись урана
1.2	Техническая вода
1.8	Конденсат
2.2	Насыщенный пар
2.0	Пар вторичный
3.8	Вакуум
6.3	Кислота азотная
6.7	Раствор уранилнитрата
7.1	Гидроксид натрия
8.5	ТФО 20%
9.0	Негорючие стоки
9.3	Раствор
9.6	Пулыла



1 – реактор растворения; 3-шнек, 2 - бак-накопитель; 4 – фильтры тонкой очистки; 5 - бак-накопитель; 6 - экстракционная колонна; 7- промывная колонна; 8 - реэкстракционная колонна; 9 - регенерационная колонна; 10 - бак-накопитель; 11 - теплообменник; 12 - выпарной аппарат; 13 - холодильник; 14 - сборник.

Рисунок 2.1 – Технологическая схема экстракционной очистки концентрата природного урана

1.8 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры

Для контроля и регулирования технологического процесса получения раствора уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2$ выбраны контрольно-измерительные приборы [17], наименование и обозначение которых приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень контрольно-измерительной аппаратуры

Обозначение прибора	Наименование стандартного прибора
FFRC	Прибор для измерения расхода, регистрирующий, установленный на щите: вторичный прибор на два параметра ПВ 10.2Э, исполнительное устройство ПР 3.33.
LIA	Прибор, контролирующий уровень ПУЖИС-64, показывающий, сигнализирующий.
LIRC	Прибор, контролирующий уровень ВП 4.2Э, показывающий, регистрирующий, регулирующий.
PDIR	Прибор, контролирующий перепад давления, показывающий, регистрирующий ДСП-4С.
PIR	Прибор, контролирующий давления, показывающий, регистрирующий ПВ 4.2П.
QIR	Прибор, контролирующий состав раствора, показывающий, регистрирующий установленный на щите: преобразователь промышленного типа П-211.
QIRA	Прибор для измерения качества продукта, показывающий, регистрирующий, сигнализирующий, установленный на щите: преобразователь промышленного типа П-210 и П-215.
SIA	Прибор тахогенератор ТД-101 контролирующий частоту вращения вала, показывающий, сигнализирующий.
TIR	Прибор, контролирующий температуру ПТС-П-20, показывающий, регистрирующий.
TRCA	Прибор для измерения температуры, показывающий, регистрирующий, установленный на щите: электронный потенциометр КСП-3, ТХА 08606 (0...1000 °С), ТХК 803 (0...200 °С)
TIC	Прибор, контролирующий температуру, показывающий, регулирующий.

1.9 Подбор стандартного оборудования

Теплообменник. Полученный в результате реэкстракции раствор $UO_2(NO_3)_2$ нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике до $105\text{ }^{\circ}C$.

Кожухотрубчатые теплообменники достаточно просты в изготовлении, отличаются возможностью развить большую поверхность теплообмена в одном аппарате, надежны в работе.

Один из теплоносителей I протекает по трубам, другой II – по межтрубному пространству. Теплота от одного теплоносителя другому передается через поверхность стенок труб. Обычно нагреваемый теплоноситель подается снизу, а охлаждаемый теплоноситель – сверху вниз противотоком. Такое движение теплоносителей способствует более эффективному переносу теплоты, так как при этом происходит совпадение направления движения каждого теплоносителя с направлением, в котором стремится двигаться данный теплоноситель под влиянием изменения его плотности при нагревании или охлаждении.

Достоинствами кожухотрубчатого теплообменника являются:

- компактность;
- небольшой расход металла;
- легкость очистки труб изнутри.

Недостатками являются:

- трудность пропускания теплоносителей с большими скоростями;
- трудность очистки межтрубного пространства и малая доступность его для осмотра и ремонта;
- трудность изготовления из материалов, не допускающих развальцовки и сварки [19].

Основные характеристики применяемого в данном процессе теплообменника представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики кожухотрубчатого теплообменника

Параметр	Значение
Диаметр корпуса, м	1,2
Высота аппарата, м	2,5
Условное давление:	
– в трубном пространстве, МПа	0,4
– в кожухе, МПа	0,5

Выпарной аппарат. Нагретый в кожухотрубчатом теплообменнике раствор уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2$, содержащий 100 – 110 г/л по урану, концентрируется до 500 г/л по урану в выпарном аппарате с выносной греющей камерой.

При размещении нагревательной камеры вне корпуса аппарата имеется возможность повысить интенсивность выпаривания не только за счет увеличения разности плотностей жидкости и паро-жидкостной смеси в циркуляционном контуре, но и за счет увеличения длины кипяtilьных труб.

Аппарат с выносной нагревательной камерой имеет кипяtilьные трубы, длина которых часто достигает 7 м. Он работает при более интенсивной естественной циркуляции, обусловленной тем, что циркуляционная труба не обогревается, а подъемный и опускной участки циркуляционного контура имеют

значительную высоту.

Выносная нагревательная камера легко отделяется от корпуса аппарата, что облегчает и ускоряет ее чистку и ремонт. Ревизию и ремонт нагревательной камеры можно производить без полной остановки аппарата.

Исходный раствор поступает под нижнюю трубную решетку нагревательной камеры и, поднимаясь по кипяtilьным трубам, выпаривается. Иногда подачу исходного раствора производят, в циркуляционную трубу. Вторичный пар отделяется от жидкости в сепараторе. Жидкость опускается по необогреваемой циркуляционной трубе, смешивается с исходным раствором, и цикл циркуляции повторяется снова. Вторичный пар, пройдя брызгоуловитель, удаляется сверху сепаратора. Упаренный раствор отбирается через боковой штуцер в коническом днище сепаратора.

Скорость циркуляции в аппаратах с выносной нагревательной камерой может достигать 1,5 м/сек, что позволяет выпаривать в них концентрированные и кристаллизующиеся растворы, не опасаясь слишком быстрого загрязнения поверхности теплообмена. Благодаря универсальности, удобству эксплуатации и хорошей теплопередачи аппараты такого типа получили широкое распространение .

2 РАСЧЕТ ЕМКОСТНОГО АППАРАТА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

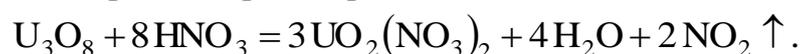
2.1 Данные для расчета

Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Производительность по урану, кг/ч	500
Концентрация HNO ₃ , %	40
Избыток HNO ₃ , %	10
Время процесса растворения, ч	1
Давление пара в рубашке, МПа	0,2
Давление в аппарате, МПа	0,2
Начальная температура раствора, °С	20
Температура раствора в аппарате, °С	70
Число аппаратов в каскаде, штук	1
Частота вращения мешалки, об/мин	10

Основная реакция процесса растворения:



Примечания:

- 1 Форма крышки аппарата – плоская
- 2 Форма днища аппарата – коническая.
- 3 Аппарат непрерывного действия

2.2 Конструкция аппарата выщелачивание с перемешивающим устройством

Аппарат, представленный на рисунке 2.1, предназначен для выщелачивания урана из порошкообразных материалов с низкой концентрацией.

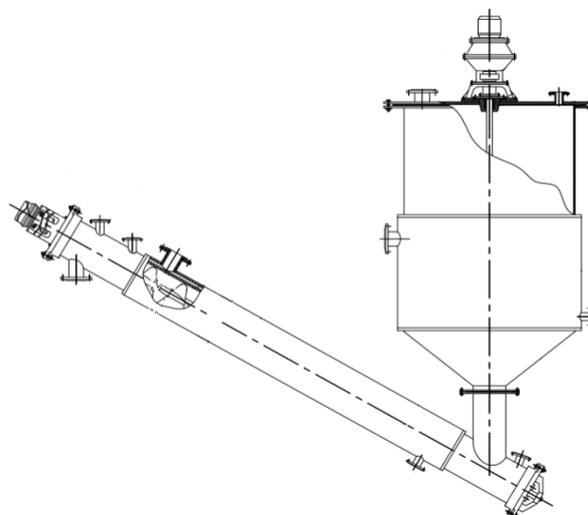


Рисунок 2.1. Схема аппарата

Технической задачей данного аппарата является повышение степени выщелачивания и извлечения ценного элемента урана из твердых материалов в раствор. Для максимального извлечения урана в раствор требуется организовать противоточное их движение от начала процесса и до окончания пребывания твердой фазы, как в аппарате, так и в растворителе.

Настоящая задача решена таким образом растворителе и в наклонном транспортере аппарата выщелачивания транспортные устройства выполнены с разрыхляющими зубьями лопастями, обеспечивающими транспортировку твердой фазы в однонаправленном движении, а их корпуса расположены с обеспечением движения жидкой фазы в противоположном направлении. Выход концентрат раствора азотной кислоты ураном из аппарата осуществляется через линию выдачи, установленные в шнеке, размещенном в верхней части шнека в виде трубы.

Аппарат выщелачивания содержит корпус, выполненный из вертикального реактора и наклонного трубопровода транспортера, установленного относительно оси вертикальной колонны под углом от 30° до 60° . В колонне установлена тихоходная механическая мешалка с лопастями подъема и рыхления порошка. В наклонном трубопроводе транспортера установлен шнек с лопастями перемещения порошкообразного продукта на выход к концу трубы.

Работа аппарата выщелачивания осуществляется следующим образом. В колонну с верху через дозатор непрерывно подается порошкообразный материал, имеющий низкую концентрацию ценных элементов. Через патрубок транспортера также непрерывно с отношением Т:Ж от 0,3:1,0 до 1,0:1,0 подается азотная кислота, с концентрацией 1 моль/л. Порошок с содержанием урана с 40-1% загружается в реактор с помощью шнекового дозатора. Далее при постоянном перемешивании тихоходной лопастной мешалки постепенно опускается к транспортеру, где он с помощью мешалки непрерывно передвигается к патрубку выгрузки из реактора.

Противотоком порошку непрерывно подается азотная кислота. Кислота проходит между частицами порошка и по полостям, образующимся шнеком транспортера и лопастями мешалки колонны, откуда поступает в верхнюю часть колонны. Движение твердой фазы и жидкого реагента в противотоке обеспечивают высокую эффективность концентрирования извлекаемого элемента. Шнек транспортера и мешалка колонны, кроме этого, обеспечивают непрерывное перемешивание частиц порошка, в результате прохождения при таком процессе жидкого реагента их поверхность непрерывно отмывается от концентрированных микрообъемов раствора с удалением в общий объем, что повышает активность выщелачивания и извлечение элемента в раствор из твердой фазы. Постепенно насыщаемый жидкий реагент давлением столба жидкости в корпусе транспортера

продавливается в верхнюю часть колонны, где он через зазоры в ее стенке поступает в отстойник. Перед поступлением он контактирует с исходным порошком, в котором содержится максимальная концентрация извлекаемого элемента, однако кислота в процесс поступает с более высокими данными насыщения, его движущая сила процесса сохраняется достаточно высокой. Выщелачивание начинается достаточно активно, а раствор поступает с достаточно высокой концентрацией для извлечения известными способами – экстракцией с очисткой от сопутствующих элементов.

Таким образом, аппарат выщелачивания обеспечивает противоточное движение потоков фаз, что позволяет проводить процесс при контрастной концентрации извлекаемого элемента в жидком реагенте и в твердой фазе по всему фронту поперечного сечения потоков, что обеспечивает высокую степень извлечения полезных элементов из твердой фазы в раствор. Это позволяет извлекать полезные элементы из самых бедных по концентрации элементов порошковых материалов и концентрировать их в растворах до концентраций, позволяющих получать их в чистом виде без расхода больших объемов реагентов, материалов и энергии [1].

2.3 Материальный расчет процесса растворения

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

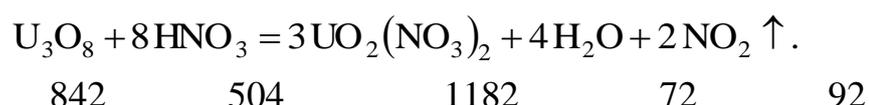
Материальный расчет основывается на законе сохранения материи [5]:

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

где $G_{i \text{ исх.}}$ – количество реагентов, поступающих в аппарат в единицу времени, кг/ч;

$G_{i \text{ прод.}}$ – количество продуктов, удаляемых из аппарата в единицу времени, кг/ч.

Реакция растворения выглядит следующим образом:



Производительность веществ, участвующих в реакции, находим по формуле [6]:

$$G_{\text{вещества}} = \frac{M_{\text{вещества}} \cdot G_U}{M_U},$$

где $G_{\text{вещества}}$ – производительность вещества, кг/ч;

G_U – часовая производительность аппарата, кг/ч;

$M_{\text{вещества}}$ – молекулярная масса вещества;

M_U – молекулярная масса урана.

Тогда производительность веществ равна:

$$G_{U_3O_8} = \frac{842 \cdot 500}{3 \cdot 238} = 589,635 \text{ кг/ч},$$

$$G_{UO_2(NO_3)_2} = \frac{1182 \cdot 500}{3 \cdot 238} = 827,731 \text{ кг/ч}.$$

Зная количество поступающего концентрата, его молекулярную массу, а также молекулярную массу азотной кислоты, определяем количество 100% азотной кислоты:

$$\frac{M_{HNO_3}}{X_{HNO_3}} = \frac{M_{U_3O_8}}{G_{U_3O_8}},$$

откуда

$$X_{HNO_3} = \frac{G_{U_3O_8} \cdot M_{HNO_3}}{M_{U_3O_8}} = \frac{589,635 \cdot 504}{842} = 352,94 \text{ кг/ч}.$$

где $X_{HNO_3} = G_{HNO_3}^{\text{стехиом}}$ – количество 100% азотной кислоты;

Принимая избыток азотной кислоты 10%, определяем количество избыточной кислоты, приходящей в аппарат:

$$G_{HNO_3}^{\text{избыт}} = G_{HNO_3}^{\text{стехиом}} \cdot 1,1 = 352,94 \cdot 1,1 = 388,234 \text{ кг/ч}.$$

Определяем количество 40% азотной кислоты, которая поступает в аппарат:

$$G_{HNO_3}^{40\%} = \frac{G_{HNO_3}^{\text{избыт}}}{0,4} = \frac{388,234}{0,4} = 970,585 \text{ кг/ч}.$$

Так как в аппарат вместе с 40% азотной кислотой поступает и вода, то определяем количество поступающей воды:

$$G_{H_2O_{\text{кисл}}} = G_{HNO_3, 40\%}^{\Pi} - G_{HNO_3, \text{избыток}}^{\Pi} = 970,585 - 388,234 = 582,351 \text{ кг/ч}.$$

Определяем количество избыточной азотной кислоты, которая выводится из аппарата:

$$G_{HNO_3, \text{избыток}}^P = G_{HNO_3, \text{избыток}}^{\Pi} - G_{HNO_3, \text{стехиом}} = 388,234 - 352,94 = 35,294 \text{ кг/ч}.$$

В процессе реакции растворения выделяется вода, количество которой равно [6]:

$$G_{H_2O}^{\text{по реакции}} = \frac{M_{H_2O} \cdot G_{U_3O_8}}{M_{U_3O_8}} = \frac{589,635 \cdot 72}{842} = 50,42 \text{ кг/ч}.$$

Также в процессе реакции выделяется газ NO_2 . Количество NO_2 равно:

$$G_{NO_2} = \frac{M_{NO_2} \cdot G_{U_3O_8}}{M_{U_3O_8}} = \frac{589,635 \cdot 92}{842} = 64,42 \text{ кг/ч}.$$

Определяем общее количество воды, удаляемой из аппарата:

$$G_{H_2O\Sigma} = G_{H_2O(\text{кисл})} + G_{H_2O(\text{по реакции})} = 582,351 + 50,42 = 632,771 \text{ кг/ч}.$$

Все полученные в процессе расчета данные сводим в таблицу материального баланса процесса растворения (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Материальный баланс процесса растворения

Приход				Расход			
Статьи прихода	кг/ч	т/г	%	Статьи расхода	кг/ч	т/г	%
1 U_3O_8	589,635	5165,203	37,79	1	827,731	7250,924	53,05
2 40% HNO_3	970,585	8502,325	62,21	$UO_2(NO_3)_2$	35,294	309,175	2,26
в том числе:	388,234	3400,930	24,88	2 HNO_3^P	632,771	5543,074	40,55
2.1	582,351	5101,395	37,33	3 ΣH_2O	64,42	564,319	4,17
				4 NO_2			

HNO_3^{II} 2.2 H_2O							
Итого	1560,22	13667,528	100	Итого	1560,216	13667,492	100

Поскольку материальный баланс сошелся, значит, расчеты произведены верно.

2.4 Тепловой расчет процесса растворения

2.4.1 Тепловой баланс

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

Расчет тепловых потоков проводится на основании уравнения теплового баланса, которое запишется в общем виде [5]:

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

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

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

В аппарат тепло вносится U_3O_8 , 40% HNO_3 и греющим паром.

Определяем количество тепла, вносимого U_3O_8 , и количество тепла, приходящего с 40% азотной кислотой [6]:

$$Q_{\text{U}_3\text{O}_8} = G_{\text{U}_3\text{O}_8} \cdot C_{\text{U}_3\text{O}_8} \cdot t_{\text{H}} = 589,635 \cdot \frac{237,9}{842} \cdot 20 = 3331,93 \text{ кДж.}$$

$$Q_{\text{HNO}_3} = G_{\text{HNO}_3} \cdot C_{\text{HNO}_3} \cdot t_{\text{H}} = 970,585 \cdot (0,68 \cdot 4190) \cdot 20 = 55307,8 \text{ кДж.}$$

Находим тепло, уносимое из аппарата раствором уранилнитрата $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ и газом NO_2 [6]:

$$Q_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} = G_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} \cdot C_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2} \cdot t_{\text{K}} = 827,731 \cdot 3,014 \cdot 70 = 174634,686 \text{ кДж.}$$

$$Q_{\text{NO}_2} = G_{\text{NO}_2} \cdot C_{\text{NO}_2} \cdot t_{\text{K}} = 64,42 \cdot \frac{37,11}{92} \cdot 70 = 1818,95 \text{ кДж.}$$

Определяем расход греющего пара:

$$D = \frac{1,05 \cdot (Q_{UO_2(NO_3)_2} + Q_{NO_2} - Q_{U_3O_8} - Q_{HNO_3,40\%})}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}}$$

$$D = \frac{1,05 \cdot (17634,686 + 1818,95 - 3331,93 - 55307,8)}{2710 - 502,4} = 56 \text{ кг/ч.}$$

Тепло, уносимое конденсатом греющего пара равно [7]:

$$Q_{\text{гр.п.}}^{\text{к}} = D \cdot i_{\text{к}} = 56 \cdot 502,4 = 28134,4 \text{ кДж.}$$

Тепло, вносимое греющим паром, равно [7]:

$$Q_{\text{гр.п}} = D \cdot i_{\text{п}} = 56 \cdot 2710 = 151760 \text{ кДж.}$$

Все полученные в процессе расчета данные сводим в таблицу теплового баланса процесса растворения (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Тепловой баланс процесса растворения

Приход				Расход			
Статьи прихода	кДж/ч	кВт	%	Статьи расхода	кДж/ч	кВт	%
1 Q (U ₃ O ₈)	3331,93	0,926	1,58	1 Q (UO ₂ (NO ₃) ₂)	174634,686	48,510	83
2 Q (40% HNO ₃)	55307,8	15,363	26,29	2 Q (NO ₂)	1818,95	0,505	0,86
3 Q _{гр.п}	151760	42,156	72,13	3 Q _{гр.п} ^к	28134,4	7,815	13,37
				4 Q _{ПОТЕРИ}	5811,694	1,614	2,77
Итого	210399,7	58,445	100	Итого	210399,73	58,444	100
	3						

Таким образом, видно, что тепловой баланс сошелся. Значит, расчеты были произведены верно.

2.4.2 Основное уравнение теплопередачи

Основное уравнение теплопередачи определяет количество переданного тепла от горячего теплоносителя к холодному и имеет вид [5]:

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

где Q – количество переданного тепла, Дж;

k – коэффициент теплопередачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

F – поверхность теплопередачи, $м^2$;

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

τ – время, с.

Тепловой поток, или тепловая мощность аппарата определяется по формуле [5]:

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

а удельный тепловой поток [5]:

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

Из основного уравнения теплопередачи определяется поверхность теплообмена по формуле:

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

2.4.3 Расчет средней разности температур и средних температур теплоносителей

Средняя разность температур между теплоносителями определяется по формуле [5]:

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

где $\Delta t_{cp.}$ – средняя разность температур между теплоносителями, $^{\circ}C$;

$t_{I cp.}$ – средняя температура первого горячего теплоносителя (пара), при которой выбираются его физико-химические константы, $^{\circ}C$;

$t_{II cp.}$ – средняя температура второго холодного теплоносителя (раствора), при

которой выбираются его физико-химические константы, °С.



Рисунок 2.2 – Схема процесса теплообмена

В случае конденсации пара в гладкой рубашке средняя температура первого теплоносителя равна температуре конденсации пара [7]:

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

Средняя температура второго теплоносителя равна температуре раствора в аппарате [5]:

$$t_{II \text{ ср.}} = t_{\text{аппарата}} = 70 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Средняя разность температур равна:

$$\Delta t_{\text{ср.}} = 119,6 - 70 = 49,6 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

2.4.4 Расчет коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке

При пленочной конденсации насыщенного пара на вертикальной поверхности высотой H в паровой рубашке аппарата при ламинарном движении пленки конденсата средний коэффициент теплоотдачи определяется по формуле Нуссельта [5]:

$$\alpha_I = 1,15 \left[\frac{\lambda_k^3 \cdot \rho_k^2 \cdot r \cdot g}{\mu_k \cdot H \cdot (t_{\text{конд.}} - t_{\text{ст.1}})} \right]^{0,25} ,$$

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

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

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

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

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

$\mu_{\hat{e}}$ – динамический коэффициент вязкости конденсата, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

H – высота поверхности, м ;

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

$t_{\text{см.1}}$ – температура стенки, $^{\circ}\text{C}$.

Принимаем следующие значения физико-химических констант при температуре конденсации [7]:

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

$$\rho_k = 943 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$r = 2208 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$\mu_k = 231 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с};$$

$$H = 1,065 \text{ м.}$$

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

Для построения нагрузочной характеристики аппарата задаемся рядом значений температуры стенки со стороны горячего теплоносителя $t_{\text{см.1}}$, для каждого значения температуры стенки рассчитываем значение коэффициента теплоотдачи для горячего теплоносителя α_1 по формуле $\alpha_1 = f(t_{\text{см.1}})$ и удельного теплового потока по формуле [5]:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot (t_{\text{т.сп.}} - t_{\text{см.1}}).$$

Результаты расчета приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчета $t_{\text{см.1}}$, α_1 и q_1

i	1	2	3	4	5	6
$t_{ct,1}, ^\circ C$	119	115	110	105	100	95
$\alpha_I,$ Вт/(м ² ·К)	16480	9903	8238	7418	6891	6511
$q_I, \text{Вт/м}^2$	9888	45550	79080	108300	135100	160200

По полученному значению q_I из уравнения теплопроводности для плоской стенки [5]:

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

рассчитывают соответствующий ряд значений температуры стенки со стороны холодного теплоносителя $t_{ct,1}$:

$$t_{cm.2} = t_{cm.1} - \frac{q_I \cdot \delta_{cm.}}{\lambda_{cm.}},$$

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

$\delta_{ct.}$ – толщина стенки аппарата, м.

По рекомендациям [7] принимаем следующие значения:

$$\lambda_{cm.1} = 17,5 \frac{Вт}{м \cdot К}; \quad \delta_{cm.} = 0,005 \text{ м.}$$

Результаты расчета температуры стенки со стороны холодного теплоносителя приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчета $t_{cm.2}$

i	1	2	3	4	5	6
$t_{\dot{n}0,2}, ^\circ C$	116,175	101,986	87,406	74,057	61,4	49,229

2.4.5 Расчет коэффициента теплоотдачи при перемешивании жидкостей мешалками

Коэффициент теплоотдачи в аппаратах с рубашками и пропеллерной мешалкой рассчитывается по критериальным уравнениям [5]:

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

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

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

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

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

где Nu – критерий Нуссельта;

Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля;

D – диаметр аппарата, м;

d_m – диаметр мешалки, м;

c – теплоемкость жидкости, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$;

μ_{∞} – динамический коэффициент вязкости жидкости при температуре стенки рубашки, $Па \cdot c$;

μ – динамический коэффициент вязкости жидкости при средней температуре, $Па \cdot c$.

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

Значения констант c и m равны для аппаратов с рубашками [5]:

$$d_i = 0,36;$$

$$m = 0,67.$$

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

Принимаем следующие значения [7]:

$$\mu = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot c;$$

$$c = 3014 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$\lambda = 0,55 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$\rho = 1280 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\text{Re} = \frac{1280 \cdot 4,16 \cdot 0,36^2}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 8,626 \cdot 10^5;$$

$$\text{Pr} = \frac{3014 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{0,55} = 4,384;$$

$$\Gamma = \frac{1,2}{0,36} = 3,33;$$

$$\text{Nu} = 0,36 \cdot 862600^{0,67} \cdot 4,384^{0,33} \cdot 1^{0,14} \cdot 3,33^{-1} = 1670.$$

Значение коэффициента теплоотдачи α_{II} равно [5]:

$$\alpha_{II} = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d_m} = \frac{1670 \cdot 0,55}{0,36} = 2551 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Удельный тепловой поток определяем по формуле [5]:

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

а результаты расчета приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты расчета q_{II}

i	1	2	3	4	5	6
$q_{II}, \text{Вт/м}^2$	117800	81600	44400	10350	-21940	-52990

По результатам таблиц 2.4 и 2.6 строим график зависимости удельных тепловых потоков q_I и q_{II} от температуры стенки 1 (рисунок 2.3.).

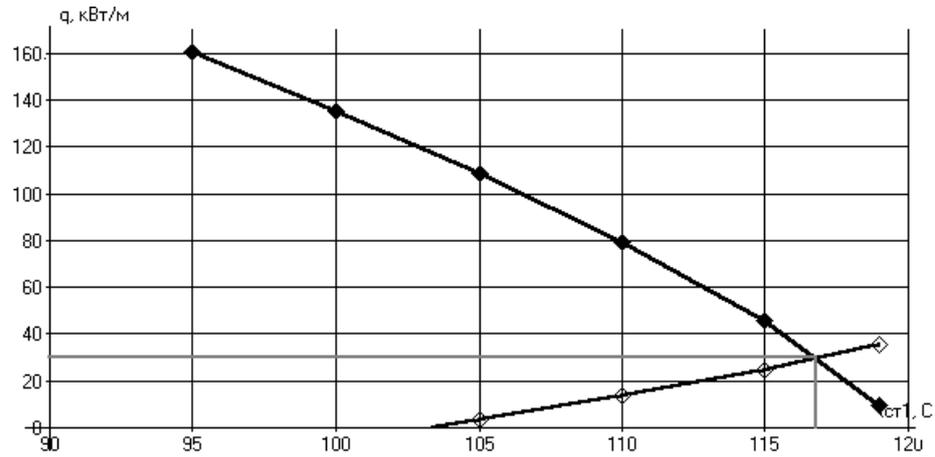


Рисунок 2.3. – Зависимость удельных тепловых потоков от температуры стенки 1

Из графика получаем:

$$q_{уст.} = 30102 \frac{Вт}{м^2};$$

$$t_{ст.1} = 116,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем истинные значения параметров [5]:

$$\alpha_{I\text{ уст.}} = \frac{q_{уст.}}{t_I - t_{II}} = \frac{30102}{119,6 - 116,8} = 10750,7 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$t_{ст.2} = t_{ст.1} - q_{уст.} \left(\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = 116,8 - 30102 \cdot \frac{0,005}{17,5} = 108,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{II\text{ уст.}} = \frac{q_{уст.}}{t_{ст.2} - t_{II}} = \frac{30102}{108,2 - 70} = 788,1 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$k = \frac{q_{уст.}}{\Delta t_{ср.}} = \frac{30102}{49,6} = 607 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$F = \frac{Q'}{q_{уст.}} = \frac{151760}{30102} = 5,04 \text{ } м^2.$$

Для обеспечения нормального теплообмена при заданных условиях должно выполняться условие:

$$F_{корп.аппар} > F$$

$$6,2 \text{ } м^2 > 5,04 \text{ } м^2.$$

Условие нормального теплообмена обеспечено.

2.5 Конструктивный расчет

2.5.1 Определение высоты и диаметра

Объемный расход жидкости в аппаратах определяется по формуле [5]:

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

где v_1 – объемный расход природного U_3O_8 , $m^3/ч$;

v_2 – объемный расход раствора HNO_3 , $m^3/ч$.

$$v_{U_3O_8} = \frac{G_{U_3O_8}}{\rho_{U_3O_8}} = \frac{589,635}{8390} = 0,0703 \frac{m^3}{ч};$$

$$v_{HNO_3} = \frac{G_{HNO_3}}{\rho_{HNO_3}} = \frac{970,585}{1310} = 0,741 \frac{m^3}{ч};$$

$$v_{\Sigma} = 0,0703 + 0,741 = 0,8112 \frac{m^3}{ч}.$$

Суммарный объем аппарата определяется по формуле [5]:

$$V_{\Sigma} = \frac{v_{\Sigma} \cdot \tau}{\varphi} = \frac{0,8112 \cdot 2}{0,6} = 2,028 \text{ м}^3.$$

где τ – время осаждения, ч;

φ – коэффициент заполнения аппарата.

Объем аппарата также определяется по формуле:

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

Учитывая, что для аппаратов с мешалкой применимо отношение:

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

определим диаметр аппарата по формуле:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_l}{1,5 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,35}{1,5 \cdot 3,14}} = 1,198 \text{ м};$$

$$H = 1,5 \cdot 1,047 = 1,797 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений принимаем следующие размеры:

1) корпуса аппарата:

- вместимость аппарата $V_{\text{н.м.}} = 2,8 \text{ м}^3$;
- диаметр аппарата $D = 1200 \text{ мм}$;
- длина корпуса $l = 2500 \text{ мм}$;
- площадь поверхности теплообмена $F = 3,8 \text{ м}^2$;

2) корпуса наклонного трубопровода:

- вместимость аппарата $V'_{\text{н.м.}} = 0,2 \text{ м}^3$;
- диаметр аппарата $D' = 250 \text{ мм}$;
- длина корпуса $l' = 3500 \text{ мм}$;
- площадь поверхности теплообмена $F' = 2,4 \text{ м}^2$;

3) конического днища ($2\alpha = 60^\circ$):

- высота $H_\delta = 500 \text{ мм}$;
- вместимость $V_\delta = 0,6 \text{ м}^3$;

4) рубашки аппарата при ее высоте:

$$H_1 = 0,4 \cdot H_{\text{аппарата}} = 0,4 \cdot 2500 = 1000 \text{ мм};$$

- диаметр рубашки $D_1 = 1300 \text{ мм}$;
- вместимость рубашки $V = 0,2 \text{ м}^3$;
- площадь поверхности теплообмена $F = 4,1 \text{ м}^2$;
- высота рубашки $H_1 = 1000 \text{ мм}$;

5) рубашки наклонного трубопровода при ее высоте:

$$H'_1 = 0,85 \cdot H_{\text{аппарата}} = 0,85 \cdot 3500 = 3000 \text{ мм};$$

- диаметр рубашки $D'_1 = 300 \text{ мм}$;
- вместимость рубашки $V = 0,06 \text{ м}^3$;
- площадь поверхности теплообмена $F = 2,8 \text{ м}^2$;
- высота рубашки $H'_1 = 3000 \text{ мм}$.

По рекомендациям [5] для механической тихоходной лопастной мешалки

применимо соотношение:

$$\frac{D}{d_m} = 1,4 \dots 1,7.$$

Отсюда определяем диаметр мешалки по формуле:

$$d_m = 0,625 \cdot D = 0,625 \cdot 1200 = 750 \text{ мм.}$$

Расстояние от конца мешалки до дна аппарата принимаем по рекомендациям [5] по формуле:

$$\frac{h}{d_m} = 0,4 \dots 1;$$
$$h = 0,6 \cdot d_m = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ мм.}$$

Высоту мешалки принимаем по рекомендациям [5] по формуле:

$$\frac{h_m}{d_m} = 0,1;$$
$$h_m = 0,1 \cdot d_m = 0,1 \cdot 750 = 75 \text{ мм};$$
$$\frac{b}{d_m} = 0,1;$$
$$b = 0,1 \cdot 750 = 75 \text{ мм.}$$

2.5.2 Определение объемных расходов реагентов

Объемный расход греющего пара равен:

$$V_{\text{пара}} = \frac{D}{\rho_{\text{пара}}}; = \frac{56}{3600 \cdot 1,107} = 0,014052 \text{ м}^3/\text{с}.$$

а объемный расход конденсата греющего пара равен:

$$V_{\text{конд.}} = \frac{D}{\rho_{\text{конд.}}} = \frac{56}{3600 \cdot 943} = 0,000016496 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2.5.3 Расчет диаметров патрубков

Диаметр патрубков определяем из уравнения расхода [5]:

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

где V – объемный расход теплоносителя, м³/с;

W – скорость движения теплоносителя, м³/с;

d – внутренний диаметр патрубка, м [5].

Патрубок для ввода раствора 40%-ной HNO₃:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,741}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,023 \text{ м.}$$

Патрубок для ввода природного U₃O₈:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0703}{3,14 \cdot 0,01 \cdot 3600}} = 0,050 \text{ м.}$$

Патрубок для ввода греющего пара:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 10}} = 0,042 \text{ м.}$$

Патрубок для вывода конденсата:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000016496}{3,14 \cdot 0,1}} = 0,014 \text{ м.}$$

Патрубок для вывода продуктов:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8112}{3,14 \cdot 0,15 \cdot 3600}} = 0,044 \text{ м.}$$

Патрубок для удаления реагентов принимаем конструктивно:

$$d_6 = 0,05 \text{ м.}$$

По ОСТ 26-1404-76 – ОСТ 26-1410-76 принимаем штуцера стандартные приварные фланцевые (рисунок 2.4.), основные размеры которых приведены в таблице 2.7 [2].

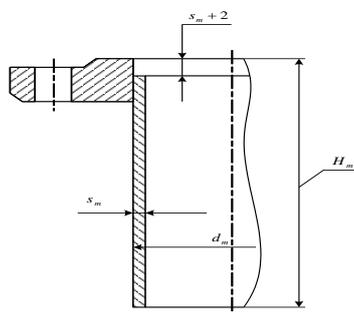


Рисунок 2.5. – Стандартный стальной фланцевый тонкостенный штуцер

Таблица 2.7 – Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров

Наименование патрубка		$D_y, мм$	$d_m, мм$	$s_m, мм$	$H_m, мм$	Давление условное $p_y, МПа$
1	Подача горячего теплоносителя	50	57	3	155	0,6
2	Удаление конденсата	25	32	3		
3	Подача U_3O_8	50	57	3		
4	Подача HNO_3	25	57	3		
5	Вывод продуктов	50	57	3		
6	Слив реагентов	50	57	5		

2.6 Прочностной расчет

2.6.1 Данные для прочностного расчета

Исходные данные для проведения прочностного расчета приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Исходные данные для прочностного расчета

Диаметр аппарата, мм	1200
Диаметр рубашки, мм	1300
Диаметр наклонного трубопровода, мм	250
Диаметр рубашки наклонного трубопровода, мм	300
Давление в аппарате, МПа	0,2
Давление в наклонном трубопроводе, МПа	0,2
Давление пара в рубашке, МПа	0,2
Давление пара в рубашке наклонного трубопровода, МПа	0,2
Температура раствора в аппарате, °С	70
Срок службы аппарата, лет	10

Прочностной расчет аппарата производим в соответствии с [4].

2.6.2 Определение характеристик аппарата

За расчетную температуру стенки аппарата принимают наибольшее значение температуры стенки, поэтому для корпуса и рубашки аппарата расчетные температуры стенок соответственно равны:

$$t_p = \max \{t_{\text{среды}}; 20 \text{ } ^\circ\text{C}\} = \max \{70; 20\} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

Для всех элементов аппарата принимаем конструкционный материал – сталь 12Х18Н10Т, имеющую скорость коррозии $\Pi = 0,1$ мм/год.

Для выбранного конструкционного материала при расчетной температуре определяем допускаемые напряжения по формуле:

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

где η – поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

σ^* – нормативное допускаемое напряжение, МПа.

Для корпуса, крышки и днища корпуса:

$$[\sigma] = 0,83 \cdot 177,75 = 147,53 \text{ МПа};$$

а для рубашки и днища рубашки:

$$[\sigma]_1 = 0,83 \cdot 170,353 = 141,39 \text{ МПа.}$$

Для марки стали 12Х18Н10Т при расчетной температуре модуль продольной упругости равен:

– для корпуса, крышки и днища корпуса

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа;}$$

– для рубашки и днища рубашки

$$E_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Выбор коэффициента прочности сварного шва производим по [4]. С учетом специфики сварного шва принимаем $\varphi = 0,9$.

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

Исполнительная толщина стенки элемента сосуда и аппарата равна:

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

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

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

Так как суммарное значение ($C_2 + C_3$) не превышает 5 % номинальной толщины листа, то ими пренебрегаем. Тогда прибавка к расчетным толщинам равна:

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

Расчетное давление в корпусе

$$P_{\text{рас1}} := (P_1 + P_{\text{гид1}}) = 2,245 \times 10^5 \text{ Па} \quad P_{\text{гид1}} = P_{\text{гН}}$$

$$P_{\text{рас2}} := (P_2 + P_{\text{гид2}}) = 2,098 \times 10^5 \text{ Па} \quad P_{\text{гид2}} = P_{\text{гН}}$$

Давление гидростатического столба жидкости $P_{\text{гид1}} = 2,445 \cdot 10^4 \text{ Па}$

Плотность воды при гидроиспытаниях $\rho = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Высота аппарата $H = 2,5 \text{ м}$

Давление гидростатического столба жидкости в рубашке $P_{\text{гид2}} = 9,87 \cdot 10^3 \text{ Па}$

Рабочее избыточное давление в аппарате $P_1 = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Рабочее избыточное давление в рубашке $P_2 = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Допускаемое напряжение материала при температуре

20градусов $\sigma_{\text{Д20}} := 184 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Рабочая температура среды аппарата $t = 70 \text{ градусов}$

$\sigma_{\text{Д}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб}}, \sigma_{\text{таб}}, t_{\text{р}}), 0.5) = 1.778 \times 10^8 \text{ Па}$

Давление при гидроиспытаниях

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 2.904 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 2.714 \times 10^5 \text{ Па}$$

2.7 Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

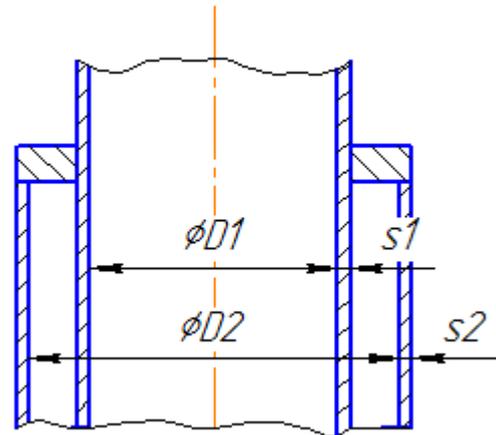


Рис. 2.6. Расчетная схема цилиндрической обечайки. [9]:

$$D := 1200 \quad \text{мм}$$

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д} - P_{рас1}}}{P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д_и20} - P_{и1}}} \right) \right) = 0.949 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 1.949 \quad \text{мм}$$

2.7.1. Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении:

Коэффициент В для цилиндрической оболочки:

$$H_{руб_ц} := 1000 \quad \text{мм}$$

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \left(\frac{P_{и2}}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{руб_ц}}{D} \right)^{0.4} \right] = 1$$

2.7.2. Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внешнем давлении, согласно [9]:

$$s_{p2} := \max \left[1.06 \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{P_{и2}}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{H_{руб_ц}}{D} \right)^{0.4}, \frac{P_{и2} \cdot D \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_D - P_{и2}} \right] = 5.855 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 6.855 \quad \text{мм}$$

2.7.3. Исполнительная толщина корпуса обечайки, учитывающая внешнее и внутреннее давление:

$$s_{\text{максисп1}} := \max(s_{и1}, s_{и2}) = 6.855 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов: из ряда стандартных толщин

$$s_1 := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

Пров₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.059 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости:

$$B_1 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D}{H_{руб_ц}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(s_1 - c)}} \right] = 1$$

$$P_{дЕ1} := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{H_{руб_ц}} \cdot \left[\frac{100(s_1 - c)}{D} \right]^{2.5} = 0.581 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$P_{д2} := \frac{P_{дП1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дП1}}{P_{дЕ1}}\right)^2}} = 0.559 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внешнего давления:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_{и2} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"}$$

2.8 Расчет толщины стенки обечайки рубашки

Наружный диаметр обечайки: [9]

$$D_H := 2 \cdot s_1 + D = 1.216 \times 10^3 \quad \text{м}$$

Внутренний диаметр рубашки принимаем на 40-100 мм больше диаметра аппарата:

$$\text{Диаметр рубашки: } D_{руб} := D_2 = 1.3 \times 10^3 \quad \text{М}$$

Расчетная толщина стенки рубашки: [9]

$$s_{p3} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot \frac{D_{руб}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{рас2}}}{P_{и2} \cdot \frac{D_{руб}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д_и20} - P_{и2}}} \right) \right) = 0.961 \quad \text{ММ}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата: [9]

$$s_{и3} := s_{p3} + c = 1.961 \quad \text{ММ}$$

Принимаем исполнительную толщину рубашки:

$$s_2 := 8$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условия применения безмоментной теории формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D_{\text{руб}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D_{\text{руб}}} > 0.1 \end{cases}$$

$\text{Пров}_5 = \text{"Условия применения безмоментной теории формул выполняются"}$

Допускаемое избыточное давление в рубашке: [9]

$$P_{\text{дб}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D_{\text{руб}} + (s_2 - c)} = 0.817 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок рубашки:

$$\text{Пров}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{дб}} > P_{\text{и2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{дб}} < P_{\text{и2}} \end{cases}$$

$\text{Пров}_6 = \text{"Условие прочности выполняется"}$

2.9 Расчет толщины стенки конического днища

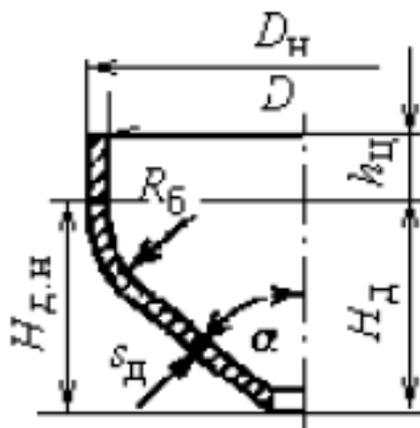


Рис. 2.7. Коническое днище

2.9.1. Расчетная толщина стенки конического днища при внутреннем давлении: [9]

Угол конусности

$$\alpha_1 := \frac{\pi \cdot 45}{180} = 0.785 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки днища, без тороидального перехода:

$$s_{p4} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д-рас1}} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha_1)}}{P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д_и20-и1}} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha_1)}} \right) \right) = 1 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки днища:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 2.342 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину конического днища:

$$s_4 := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$\text{Пров}_7 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } 0.001 \leq \frac{s_4 \cdot \cos(\alpha_1)}{D} \leq 0.05 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₇ = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д7} := \frac{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д} \cdot (s_4 - c)}{\frac{D}{\cos(\alpha_1)} + (s_4 - c)} = 1.458 \quad \text{Па}$$

$$P_{ди7} := \frac{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д_и20} \cdot (s_4 - c)}{\frac{D}{\cos(\alpha_1)} + (s_4 - c)} = 2.062 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, конического днища:

$$\text{Пров}_8 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенок днища выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{ди7} > P_{и1} \\ P_{д7} > P_{рас1} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₈ = "Условие прочности стенок днища выполняется"

2.10 Расчет толщины стенки наклонной трубы

$$s_{p5} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot \frac{d_{тр1}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{рас1}}}{P_{и1} \cdot \frac{d_{тр1}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д_и20} - P_{и1}}} \right) \right) = 0.198 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата: [9]

$$s_{и5} := s_{p1} + c = 1.949 \quad \text{мм}$$

2.10.1. Расчетная толщина стенки трубы при наружном давлении:

Коэффициент В для цилиндрической оболочки:

$$H_{p_тр} := 300 \quad \text{мм}$$

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \left(\frac{P_{и2}}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{p_тр}}{d_{тр1}} \right)^{0.4} \right] = 1.129$$

2.10.2. Расчетная толщина стенки накл. трубы при внешнем давлении, согласно [9]:

$$s_{p6} := \max \left[1.06 \frac{10^{-2} \cdot d_{тр1}}{B} \cdot \left(\frac{P_{и2}}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{H_{p_тр}}{d_{тр1}} \right)^{0.4}, \frac{P_{и2} \cdot d_{тр1} \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_D - P_{и2}} \right] = 3.14 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки накл. трубы:

$$s_{и6} := s_{p6} + c = 4.14 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина корпуса трубы наклонной, учитывающая внешнее и внутреннее давление:

$$s_{\max.исп2} := \max(s_{и5}, s_{и6}) = 4.14 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину стенки:

$$s_5 := 4 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$\text{Пров}_9 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_5 - c}{d_{тр1}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_5 - c}{d_{тр1}} > 0.1 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_9 = \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д8} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_5 - c)}{d_{тр1} + (s_5 - c)} = 4.209 \quad \text{МПа}$$

$$P_{ди8} := \frac{2 \cdot \sigma_{д_и20} \cdot \phi \cdot (s_5 - c)}{d_{тр1} + (s_5 - c)} = 5.953 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_{10} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{д8} > P_{рас1} \\ P_{ди8} > P_{и1} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{10} = \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"}$$

2.10.3. Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости:

$$B_1 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{d_{\text{тр}1}}{H_{\text{р-тр}}} \cdot \sqrt{\frac{d_{\text{тр}1}}{100(s_5 - c)}} \right] = 0,719 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{дЕ1}} := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{d_{\text{тр}1}}{H_{\text{р-тр}}} \cdot \left[\frac{100(s_5 - c)}{d_{\text{тр}1}} \right]^{2.5} = 0.341 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$P_{\text{дП1}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot (s_5 - c)}{d_{\text{тр}1} + (s_5 - c)} = 4,209 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$P_{\text{д2}} := \frac{P_{\text{дП1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{дП1}}}{P_{\text{дЕ1}}} \right)^2}} = 0.34 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внешнего давления:

$$\text{Пров}_{11} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{\text{дн}2} > P_{\text{к}2} \\ P_{\text{д}2} > P_{\text{рас}2} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁₁ = "Условие прочности выполняется"

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляются по формуле:

$$F_{\text{дП}} := \pi \cdot (d_{\text{тр}1} + s_5 - c) \cdot (s_5 - c) \cdot \sigma_{\text{Д}} = 4.232 \times 10^5$$

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot H_{\text{р-тр}}}{d_{\text{тр}1} + s_5 - c} = 33.557$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$F_{дЕ1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot d_{тр1}^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_5 - c)}{d_{тр1}} \right]^{2.5} = 2.738 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие, из условия общей устойчивости:
Гибкость:

$$F_{дЕ2} := \frac{[\pi \cdot (d_{тр1} + s_5 - c) \cdot (s_5 - c)] \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 1.872 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости вычисляют по формуле:

$$F_{дЕ} := \begin{cases} F_{дЕ1} & \text{if } \frac{H_{р-тр}}{d_{тр1}} < 10 \\ \min(F_{дЕ1}, F_{дЕ2}) & \text{otherwise} \end{cases} = 1.872 \times 10^6$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{д} := \frac{F_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{дП}}{F_{дЕ}} \right)^2}} = 4.128 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетное осевое сжимающее усилие от давления на обечайку:

$$F := \pi \cdot \frac{d_{тр1}^2}{4} \cdot P_{и2} = 1.45 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Проверка условия устойчивости аппарата от действия наружного давления:

$$\text{Пров}_{12} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости обечайки выполняется"} & \text{if } \left[\left(\frac{P_{и2}}{P_{д2}} \right) + \left(\frac{F}{F_{д}} \right) \right] \leq 1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁₂ = "Условие устойчивости обечайки выполняется"

2.11 Расчет толщины стенки рубашки наклонной трубы

Наружный диаметр обечайки:

$$d_H := 2 \cdot s_5 + d_{тр1} = 258 \quad \text{М}$$

Внутренний диаметр рубашки принимаем на 40-100 мм больше диаметра аппарата:

Диаметр рубашки:

$$d_{руб} := d_{тр2} = 300 \quad \text{м}$$

Расчетная толщина стенки рубашки трубы: [9]

$$s_{р7} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot \frac{d_{руб}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{рас2}}}{P_{и2} \cdot \frac{d_{руб}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д_и20} - P_{и2}}} \right) \right) = 0.222 \quad \text{ММ}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и7} := s_{р7} + c = 1.222 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину рубашки наклонной трубы:

$$s_6 := 8$$

Проверка условий применимости формул без моментной теории:

$$\text{Пров}_{13} := \begin{cases} \text{"Условия применения безмоментной теории формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_6 - c}{d_{руб}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_6 - c}{d_{руб}} > 0.1 \end{cases} \quad \text{ММ}$$

$$\text{Пров}_{13} = \text{"Условия применения безмоментной теории формул выполняются"}$$

Допускаемое избыточное давление в рубашке:

$$P_{д9} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д} \cdot \phi \cdot (s_6 - c)}{d_{руб} + (s_6 - c)} = 3.515 \quad \text{МПа}$$

$$P_{ди9} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д_и20} \cdot \phi \cdot (s_6 - c)}{d_{руб} + (s_6 - c)} = 4.97 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки:

$$Пров_{13} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P_{ди9} > P_{и2} \\ P_{д9} > P_{рас2} \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁₃ = "Условие прочности выполняется"

2.12 Расчет плоской крышки

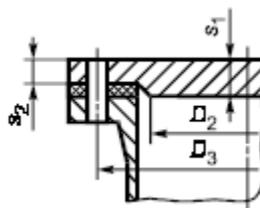


Рис. 2.8. Эскиз плоской крышки аппарата.

Коэффициент К берем из таблицы согласно [9, стр. 30, табл. 2.4]

$$K := 0.4$$

Диаметр штуцера подачи U_3O_8 в аппарат:

$$d_1 := 5C \quad \text{мм}$$

Диаметр штуцера вывод NO_2 из аппарата:

$$d_2 := 5C \quad \text{мм}$$

Коэффициент:

$$K_o := \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{d_1 + d_2}{D}\right)^3}{1 - \left(\frac{d_1 + d_2}{D}\right)}} = 1.044$$

Расчетная толщина крышки: [9]

$$s_{p8} := \max \left(\left(\begin{array}{l} K \cdot K_0 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{pac1}}{\phi \cdot \sigma_D}} \\ K \cdot K_0 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{и1}}{\phi \cdot \sigma_{D20}}} \end{array} \right) \right) = 19.926 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки крышки:

$$s_{и8} := s_{p8} + c = 20.926 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки:

$$s_7 := 30 \text{ мм}$$

Толщина фланца крышки:

$$D_2 := 1190 \text{ мм} \text{ - смотри рис. 2.8. (Диаметр зазора)}$$

$$s_{p9} := \max \left[0.7(s_7 - c), (s_7 - c) \cdot \sqrt{\frac{(D - D_2) \cdot D_2}{D_2^2}} \right] = 20.3 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина фланца крышки:

$$s_{и9} := s_{p9} + c = 21.3 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину фланца крышки:

$$s_8 := 25 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$\text{Пров}_{15} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{s_8 - c}{D} \leq 0.11 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁₅ = "Условия выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д10} := \left[\frac{(s_8 - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_D = 0.407 \text{ МПа}$$

$$P_{ди10} := \left[\frac{(s_8 - c)}{(K \cdot K_o \cdot D)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д_и20} = 0.576 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенки крышки:

```
Пров12 := "Условие прочности стенки крышки выполняется" if  $\begin{cases} P_{ди10} > P_{и1} \\ P_{д10} > P_{рас1} \end{cases}$ 
           "Условие прочности НЕ выполняется" otherwise
Пров13 = "Условие прочности стенки крышки выполняется"
```

2.13 Расчет фланцевого соединения

Подбираем фланцы исходя из того, что среда взрывоопасна.

Тип фланца: плоский фланец.

Тип уплотнительной поверхности: шип-паз

Материал фланца: Сталь 12X18H10T

Исходные данные:

Диаметр обечайки аппарата:

$$D_1 = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Давление для расчета фланцевого соединения:

$$P_{усл1} := 0.232 \text{ МПа} \quad P_{и1} := 0.290 \text{ МПа}$$

$$P_{макс1} := \max(P_{усл1}, P_{и1}) = 0.29 \text{ МПа}$$

Для дальнейшего расчета принимаем максимально возможное давление, которое может быть оказано на фланцы.

Диаметр болтов: принимаем конструктивно.

$$d_{\sigma} := 20 \text{ мм}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (неизолированного):

$$t_{\phi} := t_p \cdot 0.96 = 67.2 \text{ градусов}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\sigma} := t_p \cdot 0.85 = 59.5 \text{ градусов}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта согласно [8]:

$$t_{\text{таб3}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ градусов} \quad \sigma_{\text{б3}} := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб3}}, \sigma_{\text{б3}}, t_{\text{б}}), 0.5) = 230 \text{ МПа}$$

материал для фланцевого соединения Сталь 12Х18Н10Т

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для фланцев согласно [8]:

$$t_{\text{таб4}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ градусов} \quad \sigma_{\text{ф4}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ф}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб3}}, \sigma_{\text{ф4}}, t_{\text{ф}}), 0.5) = 178 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при испытаниях при температуре 20 градусов [8]:

$$\sigma_{\text{ф20}} := 184 \text{ МПа}$$

Материал прокладки: *Паронит*.

Применяется для неподвижных соединений типа «гладкие», «шип-паз», «выступ-впадина» (среда агрессивная).

Толщина прокладки: (задаемься)

$$h_{\text{п}} := 3 \text{ мм}$$

Ширина прокладки плоской неметаллической согласно таблице 2.9:

$$b := 15 \text{ мм}$$

Таблица 2.9 Размер прокладок

Прокладки	Диаметр аппарата D , мм	Ширина прокладки b , мм
Плоские неметаллические	$D \leq 1000$ $1000 < D \leq 2000$ $D > 2000$	12—15 15—25 25
Плоские металлические	$D \leq 1000$ $D > 1000$	10—12 12—15
Плоские в металлической оболочке и зубчатые металлические	$D \leq 1600$ $D > 1600$	12—18 13—25
Овального и восьмиугольного сечения для $p \geq 6,4$ МПа	$D \leq 600$ $600 < D \leq 800$ $800 < D \leq 1000$ $1000 < D \leq 1600$	12—13 16—22 18—23 22—42

Расчет фланцевого соединения: Расчет проводим согласно [12]:

Конструктивно подбираем плоские фланцы, с уплотнительной поверхностью типа шип-паз.

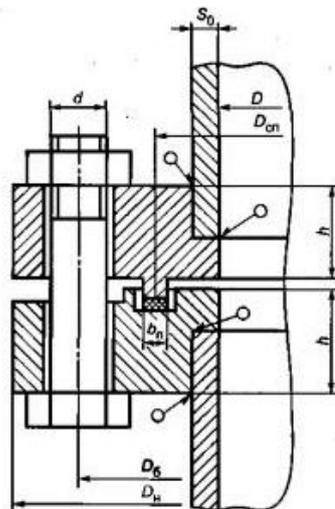


Рис. 2.9. Плоский фланец, с уплотнительной поверхностью типа шип-паз. нормативный зазор между гайкой и обечайкой:

$$u := 8 \quad \text{мм}$$

Ширина прокладки:

$$b_{\text{п}} := 15 \quad \text{мм}$$

Эффективная ширина прокладки: - для плоских прокладок:

$$b_{\text{пр}} := \begin{cases} b_{\text{п}} & \text{if } b_{\text{п}} \leq 0.015 \\ 3.8 \sqrt{b_{\text{п}}} & \text{if } b_{\text{п}} > 0.015 \end{cases} = 14.71 \quad \text{мм}$$

Конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для гаек шестигранных (обычных), смотри таблицу 2.10.

$$a := 4C \quad \text{мм}$$

Нормальный параметр e , для плоских прокладок:

$$e := 3C \quad \text{мм}$$

Таблица 2.10 Вспомогательные величины для определения размеров фланца.

Диаметр болта d_6 , мм	Диаметр отверстия под болт d , мм	Конструктивная добавка a , мм		Нормативный параметр e , мм	
		для гаек шестигранных (обычных)	для гаек шестигранных с уменьшенным размером под ключ	для плоских прокладок	для прокладок овального или восьмиугольного сечения
20	23	40	36	30	50
22	25	42	40	32	52
24	27	47	42	34	57
27	30	52	47	37	60
30	33	58	52	41	64
36	40	60	63	48	71
42	46	80	69	55	78
48	52	92	80	61	84
52	58	97	86	65	88
56	60	110	—	—	195
60	66	115	—	—	240
64	70	120	—	—	240

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 8 \quad \text{мм} \quad s_5 := s_1 = 8 \quad \text{мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = 1 \quad \text{мм}$$

Эффективная ширина прокладки: - для плоских прокладок:

$$b_0 := b = 15 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D_1 + 2 \cdot (2 \cdot s_5 + d_6 + u) = 1.288 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца.

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D := D_6 + a = 1.328 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} := D_0 - e = 1.258 \times 10^3 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = 1.243 \times 10^3 \text{ мм}$$

Удельное давление обжатия прокладки, смотри таблицу 2.11:

$$q_{\text{обж}} := 2c \text{ МПа}$$

Таблица 2.11 Характеристика плоских неметаллических прокладок.

Материал прокладки	Коэффициент $k_{\text{пр}}$	Давление обжатия прокладки, МПа		Модуль упругости $E_{\text{п}}$, МПа
		минимальное $p_{\text{пр}}$	допускаемое $[p_{\text{пр}}]$	
Резина с твердостью по прибору ТШР от 0,76 до 1,2 МПа	0,5	2	18	3 $[1 + b/(2h_{\text{п}})]$
Резина с твердостью по прибору ТШР свыше 1,2 МПа	1	3	20	4 $[1 + b/(2h_{\text{п}})]$
Картон асбестовый толщиной 3 мм	2,5	20	130	2000
Паронит толщиной ≥ 1 мм	2,5	20 *	130	2000
Фторопласт-4 толщиной 1—3 мм	2,5	10	40	2000

* Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы и т. п.) $p_{\text{пр}} = 35$ МПа.

Усилие для смятия прокладки при затяжке [12]:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 5.857 \times 10^5 \text{ Н}$$

Прокладочный коэффициент: смотри таблицу 2.11:

$$k_{\text{пр}} := 2.5$$

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_{\text{п}} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot k_{\text{пр}} \cdot P_{\text{макс1}} = 4.253 \times 10^4 \text{ Н}$$

шаг расположение болтов, согласно таблице 2.12 (до 0.3 МПа):

$$t_{\text{ш}} := 4.2 \cdot d_0 = 84 \text{ мм}$$

Таблица 2.12 Рекомендуемый шаг расположения болтов.

Давление в аппарате p_p , МПа	Шаг расположения болтов $t_{ш}$
До 0,3	(4,2 ÷ 5) d_b
0,3—0,6	(3,8 ÷ 4,8) d_b
0,6—1,0	(3,5 ÷ 4,2) d_b
1,0—1,6	(3,0 ÷ 3,8) d_b
1,6—2,5	(2,7 ÷ 3,5) d_b
2,5—4,0	(2,3 ÷ 3,0) d_b
4,0—10,0	(2,1 ÷ 2,8) d_b

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_b := \pi \cdot \frac{D_b}{t_{ш}} = 48.171$$

Примем количество болтов (принимая кратное четырем):

$$n_b := 52 \quad \text{болтов}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов согласно таблице 2.13, для болтов диаметром 20 мм:

$$f_b := 2.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$f_b := 235 \text{ мм}^2$$

Таблица 2.13 Площадь поперечного сечения болта.

d_b , мм	20	22	24	27	30	36
f_b , 10^{-4} , м ²	2,35	2,95	3,4	4,45	5,4	7,9
d_b , мм	42	48	52	56	60	65
f_b , 10^{-4} , м ²	10,9	14,4	18,2	19,65	23,0	26,0

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_b := n_b \cdot f_b = 1.222 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot P_{\text{макс1}} \cdot D_{\text{сп}}^2 = 3.524 \times 10^5 \text{ Н}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев: смотри [12, стр. 32]

$$b_{\text{фл}} := 0.5 \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{сп}}) = 22.5 \text{ мм}$$

Высота фланца:

Коэффициент для фланцев приваренных встык при условном давлении, смотри рис. 2,10, с условным давлением. $p_{\text{макс1}} = 0.29 \text{ МПа}$

$$\lambda_{\text{фл}} := 0.3 \xi$$

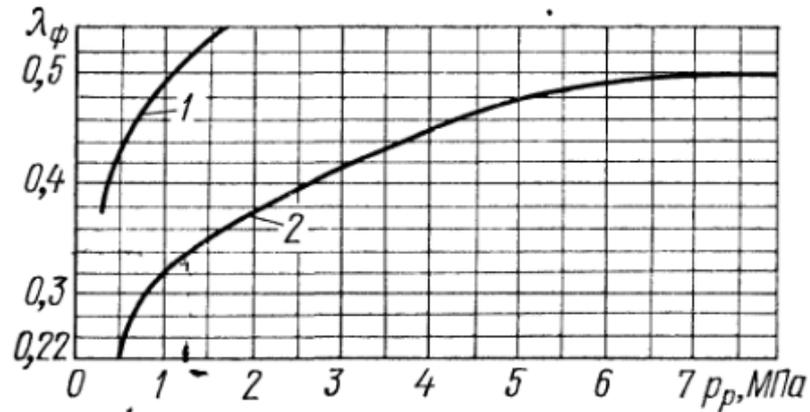


Рис. 2.10 График для определения коэффициента.

1-Плоские фланцы

2-Фланцы приварные встык

Задали высоту фланца конструктивно, чтоб выполнялось условие Условие фланца

$$h_{\text{фл}} := 4C \text{ мм}$$

$$\text{Условие фланца} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{\text{фл}} \geq \lambda_{\text{фл}} \cdot \sqrt{D_1 \cdot s_0} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Условие фланца} = \text{"Условия выполняются"}$$

Плечо усилий от давления на фланец :

$$D_{\text{сп}} = 1.243 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_{\text{фл}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D_1 - s_0) = 17.5 \text{ мм}$$

По приложению И [8] для паронитовой прокладки:

коэффициент обжатия прокладки: $K_{\text{обж}} := 0.9$

модуль продольной упругости: $E_{\text{II}} := 0.02 \cdot 10^5$

толщина прокладки: $h_{\text{II}} := 3 \text{ мм}$

Податливость прокладки: $b_0 := 15 \text{ мм}$

$$y_{\text{II}} := \frac{h_{\text{II}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{II}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} = 2.305 \times 10^{-8}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{\text{ГО}} := 2 \cdot h_{\text{ф}} + h_{\text{II}} = 83 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта:

$$l_{\text{б}} := (l_{\text{ГО}} + 0.28 \cdot d_{\text{б}}) = 88.6 \text{ мм}$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали 35х

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{\text{б20}} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$y_{\text{б}} := \frac{l_{\text{б}}}{E_{\text{б20}} \cdot f_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}} = 3.372 \times 10^{-8}$$

Параметр длины обечайки:

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{НП}}}{D_1} = 1.048$$

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.550.43429 \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945K^2) \cdot (K - 1)} = 1.893$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.550.43429 \ln(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 44.811$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K-1} \cdot \left[0.69 + 5.72 \frac{K^2 \cdot (0.43429 \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 41.206$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 21.201$$

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.5 \xi$$

Поправочный коэффициент:

$$f := 1$$

Вычислим коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_{\phi} + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h_{\phi}^3}{\beta_U \cdot l_0} = 8.742$$

Модуль упругости материала фланца 12X18H10T согласно [8, стр. 27, таблица В1] для низколегированных сталей, при температуре 20 градусов:

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре t_{ϕ} :

$$t_{\text{таб5}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ градусов} \quad E_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб5}}, E_{\text{таб1}}, t_{\phi}), 0.5) = 1.943 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре t_{σ} градусов (Сталь 35X теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$t_{\text{таб6}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ градусов} \quad E_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.15 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E_{\sigma} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб6}}, E_{\text{таб2}}, t_{\sigma}), 0.5) = 2.15 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 4.588 \times 10^{-11}$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\sigma} \cdot \frac{E_{\sigma 20}}{E_{\sigma}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 9.583 \times 10^6$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 12Х18Н10Т согласно [8, стр. 28, таблица Г1]

$$\alpha_{\phi 1} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х согласно [3, стр. 286, таблица XI]:

$$\alpha_2 := 13.1 \cdot 10^{-6}$$

Усилия, возникающие от температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\phi 1} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi} - 20) - \alpha_2 \cdot (h_{\phi} - h_{\sigma}) \cdot (t_{\sigma} - 20)] = 6.007 \times 10^5 \text{ Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b^2} = 1.015$$

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

$$P_{\sigma 1} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \sigma_{\sigma} \cdot A_{\sigma}) = 1.124 \times 10^6 \text{ Н}$$

При рабочих условиях:

$$P_{\sigma 2} := \alpha_2 \cdot Q_d + R_n = 4.253 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения

$$P_{\sigma m} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) = 1.124 \times 10^6 \text{ Н}$$

В рабочих условиях

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бМ}} + (1 - \alpha) \cdot Q_{\text{д}} + Q_{\text{т}} = 1.72 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бМ}}}{A_{\text{б}}} = 92 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} = 140.72 \quad \text{МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при рабочей температуре:

$$\sigma_{\text{б}} = 230 \quad \text{МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при гидро испытаниях:

$$\sigma_{\text{б20}} := 230 \text{ МПа}$$

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{бМ}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_1 = \text{"Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} \leq \sigma_{\text{бр}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_2 = \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"}$$

Паронит - мягкая прокладка, поэтому в соответствии с [8, стр.12] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} = 19.193 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое удельное давление определяется по приложению И согласно [8] для паронита при не более 2-3 мм:

$$q_{\text{д}} := 130 \text{ МПа}$$

$$\text{Услов}_{\text{прочности_прокладки}} := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{if } q \leq q_{\text{д}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_{\text{прочности_прокладки}} = \text{"Условия прочности прокладки выполняются"}$$

2.14 Подбор стандартных штуцеров

Подбор осуществляем согласно [13]

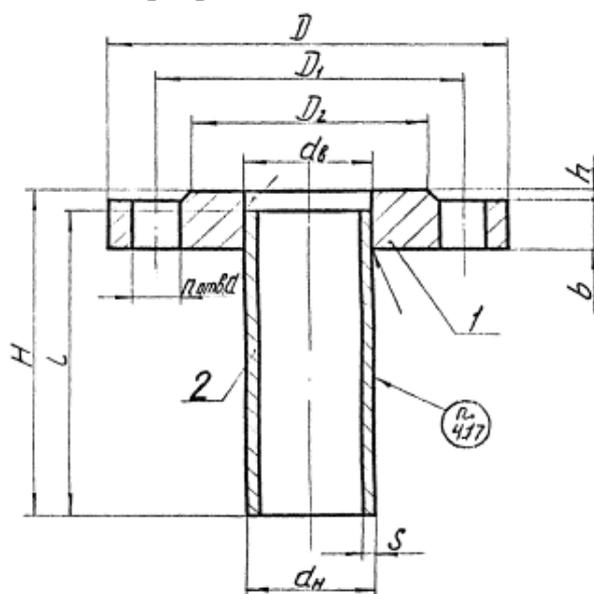


Рис.2.11. Штуцер с плоским фланцевым соединением с гладкой уплотнительной поверхностью

Таблица 2.14. конструктивные размеры штуцеров.

Штуцер	D_y мм	$D_ф$ мм	$D_в$ мм	D_1 мм	b мм	$d_в$ мм	n	S мм	P_y МПа
Подача U_3O_8	50	140	110	90	13	14	4	4	0.6
Подача теплон.	50	140	110	90	13	14	4	4	0.6
выхода конденсата	25	100	75	60	12	11	4	3.5	0.6
Выхода $UO_2(NO_3)_2$	100	205	170	148	15	18	8	6	0.6
Вход NO_2	50	140	110	90	13	14	4	4	0.6

2.15 Расчет укрепления отверстий

Расчетный диаметр: [13]

$$D_{p1} := D = 1.2 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

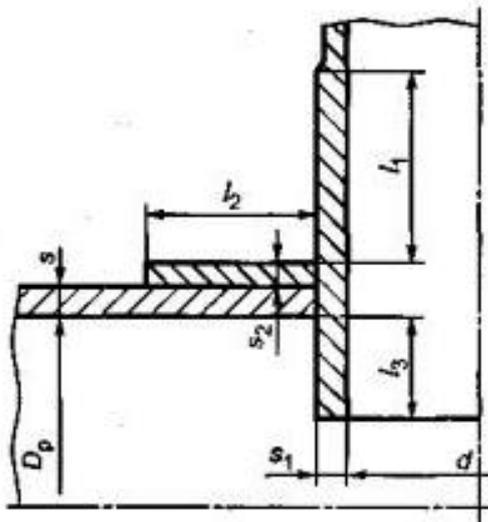


Рис. 2.12. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда:[13]

Расчетный диаметр:

$$D_{p1} := 1200 \quad \text{мм}$$

$$D_{p2} := 1300 \quad \text{мм}$$

$$s_2 := 4 \quad \text{мм}$$

$$s_1 = 8 \quad \text{мм}$$

Определение наибольшего допускаемого диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 1.205 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p3}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_2 - c)} = 289.998 \quad \text{мм}$$

Так как расчетная толщина стенки не большая, диаметр отверстия не требующего укрепления получился большой.

Диаметр штуцера входа U_3O_8 :

$$d_1 := 50 \text{ мм}$$

Диаметры штуцеров выхода $UO_2(NO_3)_2$:

$$d_2 := 100 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера выхода конденсата:

$$d_3 := 25 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера входа теплоносителя:

$$d_4 := 50 \text{ мм}$$

Необходимость укрепления отверстия:

$$\text{Укрепш}_{\text{отверст}} := \begin{cases} \text{"необходимо укреплять"} & \text{if } \begin{cases} d_{01} < d_1 \\ d_{01} < d_2 \\ d_{02} < d_3 \\ d_{02} < d_4 \end{cases} \\ \text{"нет необходимости"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{Укрепш}_{\text{отверст}} = \text{"нет необходимости"}$$

2.16 Определение напряжений от действия краевых сил и моментов сопряжения конического днища и цилиндрической обечайки

Для материала 12Х18Н12Т при наличии статической нагрузки в случае преобладания напряжений изгиба разрешается увеличивать допускаемые напряжения для краевых зон на 30% по сравнению с обычным [3]:

Для определения эквивалентных напряжений составляем эквивалентную схему сопряжения оболочек, которая представлена на рисунке 2.13

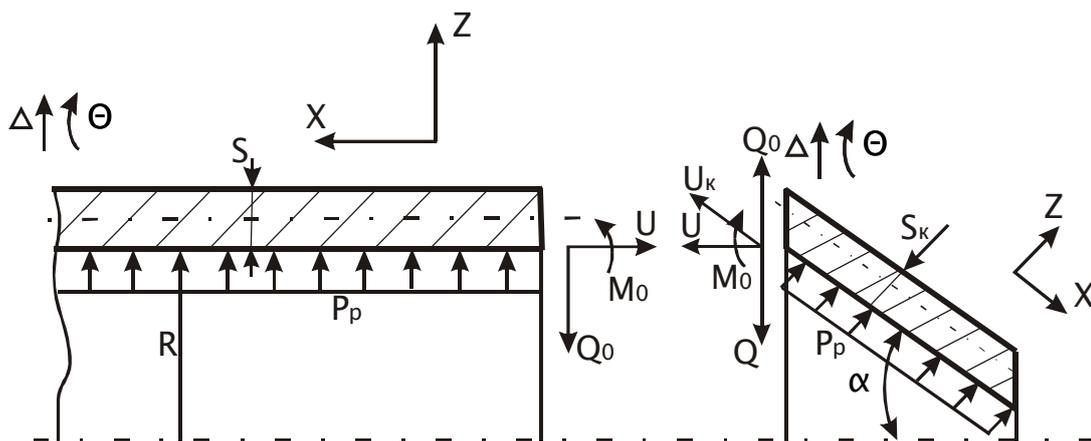


Рисунок 2.13 – Расчетная схема сопряжения конического днища и цилиндрической обечайки

Уравнения совместности деформаций для места стыка конического днища и цилиндрической обечайки.

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u &= \Delta_p^\varepsilon + \Delta_{(Q_0-Q)}^\varepsilon + \Delta_{M_0}^\varepsilon; \\ -\theta_p^u + \theta_{Q_0}^u - \theta_{M_0}^u &= \theta_p^K + \theta_{(Q_0-Q)}^K + \theta_{M_0}^K \end{aligned} \right\}$$

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

$\Delta_p^K, \Delta_{(Q_0-Q)}^K, \Delta_{M_0}^K, \theta_p^K, \theta_{(Q_0-Q)}^K, \theta_{M_0}^K$ - соответственно радиальные и угловые деформации края конической обечайки под действием нагрузок P_p, Q_0, M_0 .

Подставляем соответственно значения деформаций из [3] в уравнения, получим:

$$\left.
\begin{aligned}
& \frac{(2-\mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s-C)} \cdot P_p - \frac{2 \cdot \beta \cdot R^2}{E \cdot (s-C)} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{E \cdot (s-C)} \cdot M_0 = \\
& = \frac{(2-\mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s_K - C) \cdot \cos \alpha} \cdot P_p + \frac{2 \cdot \beta_K \cdot R^2}{E \cdot (s_K - C)} \cdot (Q_0 - Q) + \frac{2 \cdot \beta_K^2 \cdot R^2}{E \cdot (s_K - C) \cdot \cos \alpha} \cdot M_0; \\
& -0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{E \cdot (s-C)} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{E \cdot (s-C)} \cdot M_0 = \\
& = \frac{3 \cdot R \cdot \sin \alpha}{2 \cdot E \cdot (s_K - C) \cdot \cos^2 \alpha} \cdot P_p + \frac{2 \cdot \beta_K^2 \cdot R^2}{E \cdot (s_K - C) \cdot \cos \alpha} \cdot (Q_0 - Q) + \frac{4 \cdot \beta_K^3 \cdot R^2}{E \cdot (s_K - C) \cdot \cos^2 \alpha} \cdot M_0.
\end{aligned}
\right\}$$

где

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

$$\beta_K = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{\frac{R \cdot (s_K - C)}{\cos \alpha}}};$$

$$Q = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha};$$

$$R = \frac{D}{2}.$$

Подставляем в систему уравнений известные значения геометрических размеров аппарата и физических свойств материала согласно данным, полученным выше, находим:

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{0,6 \cdot (0,008 - 0,001)}} = 5,05 \quad 1/м;$$

$$\beta_K = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{\frac{0,6 \cdot (0,008 - 0,001)}{\cos 30^\circ}}} = 18,63 \quad 1/м;$$

$$Q = \frac{0,2 \cdot 0,6}{2 \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ} = 0,035 \text{ MH/м};$$

$$R = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ м}.$$

$$\left. \begin{aligned}
& \frac{(2-0,3) \cdot 0,6^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot 0,2 - \frac{2 \cdot 5,05 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot 5,05^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot M_0 = \\
& = \frac{(2-0,3) \cdot 0,6^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001) \cdot \cos 30^0} \cdot 0,2 + \frac{2 \cdot 18,63 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot (Q_0 - 0,035) + \\
& + \frac{2 \cdot 18,63^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001) \cdot \cos 30^0} \cdot M_0; \\
& - 0 + \frac{2 \cdot 5,05^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot 5,05^3 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001)} \cdot M_0 = \\
& = \frac{3 \cdot 0,6 \cdot \sin 30^0}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001) \cdot \cos^2 30^0} \cdot 0,2 + \frac{2 \cdot 18,63^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10^5 \cdot (0,008-0,001) \cdot \cos 30^0} \cdot (Q_0 - 0,035) + \\
& + \frac{4 \cdot 18,63^2 \cdot 0,6^2}{E \cdot (0,008-0,001) \cdot \cos^2 30^0} \cdot M_0.
\end{aligned} \right\}$$

откуда

$$Q_0 = 0,02 \text{ МН};$$

$$M_0 = 0,0004 \text{ МН} \cdot \text{м/м}.$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки следующие:

- меридиональное напряжение

$$\begin{aligned}
\sigma_{mo} &= \sigma_{mo}^p - \sigma_{mo}^{Q_0} + \sigma_{mo}^{M_0} = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot (s-C)} - 0 \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s-C)^2} = \\
&= \frac{0,2 \cdot 0,6}{2 \cdot (0,008-0,001)} - 0 \pm \frac{6 \cdot 0,0004}{(0,008-0,001)^2} = (8,6 \pm 48,98) \text{ МПа}; \\
\sigma_{mo}^{\max} &= 57,58 \text{ МПа};
\end{aligned}$$

- кольцевое напряжение

$$\begin{aligned}
\sigma_{to} &= \sigma_{to}^p - \sigma_{to}^{Q_0} + \sigma_{to}^{M_0} = \frac{P_p \cdot R}{(s-C)} - \frac{2 \cdot \beta \cdot R \cdot (Q_0 - \beta \cdot M_0)}{(s-C)} \pm \\
&\pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s-C)^2} = \frac{0,2 \cdot 0,6}{2 \cdot (0,008-0,001)} - \frac{2 \cdot 5,05 \cdot 0,6 \cdot (0,02 - 5,05 \cdot 0,0004)}{(0,008-0,001)} \pm \\
&\pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot 0,0004}{(0,008-0,001)^2} = (1,58 \pm 14,7) \text{ МПа}; \\
\sigma_{to}^{\max} &= 16,28 \text{ МПа}.
\end{aligned}$$

Суммарные напряжения на краю конической оболочки (днища) следующие:

- меридиональное напряжение

$$\begin{aligned}\sigma_{mk} &= \sigma_{mk}^p - \sigma_{mk}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{mk}^{M_0} = \frac{P_p \cdot R}{(s_K - C) \cdot \cos \alpha} + \frac{(Q_0 - Q) \cdot \sin \alpha}{(s_K - C)} \pm \frac{6 \cdot M_0}{(s_K - C)^2} = \\ &= \frac{0,2 \cdot 0,6}{(0,008 - 0,001) \cdot \cos 30^0} + \frac{(0,02 - 0,035) \cdot \sin 30^0}{(0,008 - 0,001)} \pm \frac{6 \cdot 0,0004}{(0,008 - 0,001)^2} = \\ &= (8,82 \pm 48,98) \text{ МПа};\end{aligned}$$

$$\sigma_{mk}^{\max} = 57,8 \text{ МПа.}$$

- кольцевое напряжение

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= \sigma_{tk}^p - \sigma_{tk}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{tk}^{M_0} = \frac{P_p \cdot R}{(s_K - C) \cdot \cos \alpha} + \frac{2 \cdot \beta_K \cdot R \cdot (Q_0 - Q)}{(s_K - C)} + \frac{2 \cdot \beta_K^2 \cdot R \cdot M_0}{(s_K - C) \cdot \cos \alpha} \pm \\ &\pm \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s_K - C)^2} = \frac{0,2 \cdot 0,6}{(0,008 - 0,001) \cdot \cos 30^0} + \frac{2 \cdot 18,63 \cdot 0,6 \cdot (0,02 - 0,035)}{(0,008 - 0,001)} + \\ &+ \frac{2 \cdot 18,63^2 \cdot 0,6 \cdot 0,0004}{(0,008 - 0,001) \cdot \cos 30^0} \pm \frac{6 \cdot 0,3 \cdot 0,004}{(0,008 - 0,001)^2} = (45,64 \pm 14,69) \text{ МПа};\end{aligned}$$

$$\sigma_{tk}^{\max} = 60,33 \text{ МПа.}$$

Максимальное напряжение на краю:

- цилиндрической обечайки

$$\sigma_{\max o} = \max \{ \sigma_{mo}^{\max}; \sigma_{to}^{\max} \};$$

$$\sigma_{\max o} = \max \{ 57,58 \text{ МПа}; 16,28 \text{ МПа} \} = 57,58 \text{ МПа};$$

$$57,58 \text{ МПа} \leq 0,9 \cdot 191,79 = 172,61 \text{ МПа};$$

- конического днища

$$\sigma_{\max k} = \max \{ \sigma_{mk}^{\max}; \sigma_{tk}^{\max} \};$$

$$\sigma_{\max k} = \max \{ 57,8 \text{ МПа}; 60,33 \text{ МПа} \} = 60,33 \text{ МПа};$$

$$60,33 \text{ МПа} \leq 172,61 \text{ МПа.}$$

Условие прочности в месте сопряжения конического днища и цилиндрической обечайки выполняется.

2.17 Расчет вертикального вала

Для определения диаметра консольного вала произведем его расчет на виброустойчивость, жесткость и прочность согласно [3].

Данные для расчета вертикального вала сведены в таблицу 2.15.

Таблица 2.15. – Исходные данные для расчета вертикального вала

Длина вала, мм	2500
Координаты центра тяжести мешалки, мм	800
Координаты опасных сечений, мм:	
по жесткости	200
по прочности	200
Угловая скорость вращения вала, рад/с	18,85
Материал вала	Сталь 15ХМ
Диаметр мешалки, м	0,75
Масса мешалки, кг	82
Мощность, передаваемая валом, кВт	2,8
Рабочая температура, °С	70

2.17.1 Расчет мешалки

После выбора и расчета основных размеров мешалки определяется мощность, потребляемая на перемешивание, для чего используется критериальное уравнение мощности (K_N) от модифицированного критерия Рейнольдса (Re_M) и конструктивных особенностей перемешивающего устройства [5]:

$$K_N = f(Re_M),$$
$$Re_M = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot n \cdot d^2}{\mu_{\text{ж}}} = \frac{1280 \cdot 0,16 \cdot 0,75^2}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 1,44 \cdot 10^5,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность перемешиваемой жидкости, кг/м³;

n – скорость вращения мешалки, с⁻¹;

d – диаметр мешалки, м;

$\mu_{\text{ж}}$ – динамический коэффициент вязкости.

Согласно [7] $K_N = 0,7$.

Расчетная мощность, потребляемая на перемешивание жидкости в данном аппарате, равна [5]:

$$N_M = K_N \cdot \rho_{жс} \cdot n^3 \cdot d^5 = 0,7 \cdot 1280 \cdot 0,16 \cdot 0,75^5 = 158,59 \text{ Вт}.$$

Мощность привода мешалки определяем по формуле [5]:

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

где k_n – коэффициент, учитывающий перегородки ($k_n = 1,25$ – для аппаратов без перегородок);

k_y – коэффициент, учитывающий высоту уровня жидкости в аппарате, по рекомендациям [5] равный:

$$k_y = \left(\frac{H_{жс}}{D} \right)^{0,5} = \left(\frac{2}{1,2} \right)^{0,5} = 1,29;$$

$$H_{жс} = H \cdot \varphi = 2500 \cdot 0,8 = 2,0 \text{ м};$$

k_i – коэффициент, учитывающий наличие в аппарате внутренних устройств. При наличии гильзы термопары, трубы переливания или уровнемера $k_i = 1,1 \dots 1,2$ [5];

η – к.п.д. привода мешалки $\eta = 0,85 \dots 0,9$ [5].

Тогда

$$N_{np} = \frac{1,25 \cdot 1,29 \cdot 1,2 \cdot 158,59}{0,9} = 340,96 \text{ Вт}.$$

Принимаем минимальную мощность привода $N_{np} = 1,0 \text{ кВт}$.

По рекомендациям [5] выбираем мотор-редуктор МПЗ-31,5 по ГОСТ 21355-75 с номинальной мощностью 1,0 кВт, частотой вращения $n_{н.м} = 280 \text{ об/мин}$ (эл. двигатель 4А100S2P3), масса мотор-редуктора 55 кг.

Для определения минимального диаметра вала мешалки определяем расчетный крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{N_{np}}{\omega} = \frac{1000}{1,046} = 956,02 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Минимальный диаметр вала рассчитываем по формуле:

$$d_g = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{[\tau]}} = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{956,02}{54 \cdot 10^6}} = 0,045 \text{ м.}$$

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

Принимаем $d_g = 50 \text{ мм}$.

2.17.2 Расчет вала на виброустойчивость.

Для виброустойчивого вала выполняется условие:

$$\omega / \omega_{\text{св}} \leq 0,7,$$

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

Диаметр вала в опорном сечении B с учетом его собственной массы и массы мешалки равен:

$$\begin{aligned} d_A &= \sqrt{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}}; \\ A_5 &= 0,25 \cdot \xi \cdot L_1^2; \\ A_6 &= \frac{8 \cdot m_l \cdot \xi \cdot L_1}{\pi \cdot \rho}, \end{aligned}$$

где ξ – безразмерный коэффициент, учитывающий приведенную массу вала:

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

m_M – масса мешалки, кг.

Тогда

$$\xi = \frac{16 \cdot 7850 \cdot 18,85^2 \cdot 0,8 \cdot 2500}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 1,487 \cdot 10^{-4};$$

$$A_5 = 0,25 \cdot 1,487 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8^2 = 0,24 \cdot 10^{-4};$$

$$A_6 = \frac{8 \cdot 82 \cdot 1,487 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8}{3,14 \cdot 7850} = 3,2 \cdot 10^{-6}.$$

$$d_B = \sqrt{0,24 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(0,24 \cdot 10^{-4})^2 + 3,2 \cdot 10^{-6}}} = 0,042 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 0,05 \text{ м}$.

Критическую скорость вала с учетом собственной массы определяем по формуле:

$$\omega_{\text{эд}1} = \frac{\alpha_1^2}{L_1^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_{\text{л}}}},$$

где α_1 – корень частотного уравнения, определяемый по рекомендациям [3];

I – момент инерции сечения вала, м^4 ;

$m_{\text{л}}$ – масса единицы длины вала, кг/м :

$$m_{\text{л}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 7850}{4} = 22,18 \text{ кг/м};$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,05^4}{64} = 6,36 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

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

$$\omega_{\text{сп}1} = \frac{1,74^2}{0,8^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 6,36 \cdot 10^{-7}}{22,18}} = 51,99 \text{ рад/с}.$$

Проверим условие виброустойчивости:

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

2.17.3 Расчет вала на жесткость.

Относительная координата центра тяжести перемешивающего устройства составляет:

$$\bar{l}_1 = l_1/L_2 = 0,8/0,8 = 1.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре тяжести перемешивающего устройства [3]:

$$\bar{y}_{z1} = \bar{y}_{11} = f(\bar{l}_1) = f(1) = 1.$$

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

$$\bar{z}_2 = z_2/L_2 = 0,2/0,8 = 0,25.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$\bar{y}_{z2} = \bar{y}_{l2} = f(\bar{z}_2) = f(0,25) = 0,025.$$

Эксцентриситет массы мешалки составляет:

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

Приведенная масса консольного вала равна:

$$m_{г. пр} = 0,5 \cdot m_a \cdot L_2 = 0,5 \cdot 22,18 \cdot 0,8 = 8,872 \text{ кг.}$$

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

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

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

Тогда

$$\Delta_{l1} = \Delta_{z1} = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,8 + 0,5) / 0,5 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ м;}$$

– в месте установки уплотнения вала

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

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

– в месте установки мешалки

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

где ε_C – начальная изогнутость вала в точке приведения С, равная по [3] при

$$L_2/d = 2,05/0,05 = 50, \quad \varepsilon_C = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

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

– в месте установки уплотнения вала

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

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

$$\Delta_C = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot L_2/L_1 - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,05/0,8 -$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с мешалкой равен:

$$e_{np} = \frac{m_M \cdot e}{m_M + m_{e,np}} + \Delta_C + \varepsilon_C = \frac{82 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4}}{82 + 8,872} + 15,75 \cdot 10^{-5} + 0,05 \cdot 10^{-3} = 4,14 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения С равен:

$$-0,03 \cdot 10^{-3} = 15,75 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

$$y_C = \frac{e_{np}}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1} = \frac{4,14 \cdot 10^{-4}}{(51,99/18,85)^2 - 1} = 0,62 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамическое смещение центра тяжести мешалки составляет:

$$A_{l1} = y_C \cdot \bar{y}_{l1} + \varepsilon_{l1} + \Delta_{l1} + e = 0,62 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 0,05 \cdot 10^{-3} + 1,82 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-4} = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

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

$$A_{z2} = y_C \cdot \bar{y}_{l2} + \varepsilon_{l2} + \Delta_{l2} = 0,62 \cdot 10^{-5} \cdot 0,025 + 1,25 \cdot 10^{-6} + 5,4 \cdot 10^{-5} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения С равно:

$$A_C = y_C + \varepsilon_C + \Delta_C = 0,62 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5} + 3,51 \cdot 10^{-5} = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Проверим условие жесткости:

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

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

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

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

2.17.4 Расчет вала на прочность.

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалку, равна:

$$F = m_M \cdot \omega^2 \cdot A_{I1} = 82 \cdot 18,85^2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-4} = 13,7 \text{ Н.}$$

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

$$F_{\text{с.нр}} = m_{\text{с.нр}} \cdot \omega^2 \cdot A_C = 8,872 \cdot 18,85^2 \cdot 0,92 \cdot 10^{-4} = 0,29 \text{ Н.}$$

Реакции опор равны:

$$R_A = \frac{(F + F_{\text{с.нр}}) \cdot L_1}{L} = \frac{(13,7 + 0,29) \cdot 0,8}{0,5} = 22,38 \text{ Н;}$$
$$R_B = \frac{(F + F_{\text{с.нр}}) \cdot L_2}{L} = \frac{(13,7 + 0,29) \cdot 2,5}{0,5} = 28,85 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении равен:

$$M_{И.В} = (F + F_{\text{с.нр}}) \cdot L_1 = (13,7 + 0,29) \cdot 0,8 = 13,86 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент сопротивления сечения в опасном по прочности сечении равен:

$$W_{\text{с}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,05^3}{32} = 2,45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Эквивалентное напряжение в этом сечении определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{экв } z2} = \frac{\sqrt{M_{И.В}^2 + M_{К.В}^2}}{W_{\text{с}}} = \frac{\sqrt{13,86^2 + 116,7^2}}{2,45 \cdot 10^{-5}} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,8 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение в опасном по прочности сечении равно:

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

где K_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжений; $K_{\sigma} = 1,3$ [3];
 n_{\min} – минимальный запас прочности вала; $n_{\min} = 2$;

ε_M – масштабный фактор; $\varepsilon_M = 0,8$ [3];

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

Тогда

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

Проверим условие прочности:

$$\sigma_{\text{экр. В}} \leq [\sigma]_B \quad (4,8 \text{ МПа} < 61,5 \text{ МПа}).$$

Таким образом, консольный вал диаметром 50 мм и длиной 2500 мм при заданной нагрузке является виброустойчивым, прочным и достаточно жестким в опасных сечениях.

2.18 Масса аппарата

2.18.1. Расчет массы корпуса аппарата:

Вес обечайки:

$$D_{\text{вн}} := 1,2 \text{ м} \quad D_{\text{нар}} := 1,216 \text{ м}$$

$$G_{\text{ц}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{нар}}^2 - D_{\text{вн}}^2}{4} \right) \cdot 2 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 4,54 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Внутренний объем конического днища:

$$V_{\text{кон1}} := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 0,5 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D}{2} \cdot \frac{0,2}{2} + \frac{0,2^2}{4} \right) = 0,225 \quad \text{м}^3$$

Наружный объем конического днища:

$$s_4 := 0,008 \text{ м}$$
$$V_{\text{кон2}} := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 0,5 \left[\frac{D_{\text{нар}}^2}{4} + \frac{D_{\text{нар}}}{2} \cdot \left(\frac{0,2 + 2 \cdot s_4}{2} \right) + \left(\frac{0,2 + 2 \cdot s_4}{2} \right)^2 \right] = 0,234 \quad \text{м}^3$$

Объем металла днища:

$$V_{\text{кон}} := V_{\text{кон2}} - V_{\text{кон1}} = 8,897 \times 10^{-3}$$

Вес конического днища:

$$G_{\text{дкон}} := V_{\text{кон}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 665,264 \quad \text{Н}$$

Вес рубашки аппарата:

$$D_{\text{руб}} := 1,3 \text{ м}$$

$$s_2 := 0,002 \text{ м}$$

$$G_p := \pi \cdot \left[\frac{(D_{\text{руб}} + s_2)^2 - D_{\text{руб}}^2}{4} \right] \cdot H_{\text{руб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 305.617 \quad \text{Н}$$

2.18.2. Вес пустого аппарата:

$$G_{\text{ап1}} := G_p + G_{\text{дкон}} + G_{\text{ц}} = 5.511 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри корпуса при гидро испытаниях:

$$G_{\text{жид}} := \left(\pi \cdot \frac{D_{\text{руб}}^2 - D^2}{4} \cdot H_{\text{руб}} + V_{\text{кон1}} + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 2 \right) \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 2.625 \times 10^4 \quad \text{Н=2}$$

Вес аппарата при гидро испытаниях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид}} = 3.176 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

2.19 Расчет опоры

В качестве принимаем опорные лапы подвесных сосудов и аппаратов согласно [10] (исполнения 2).

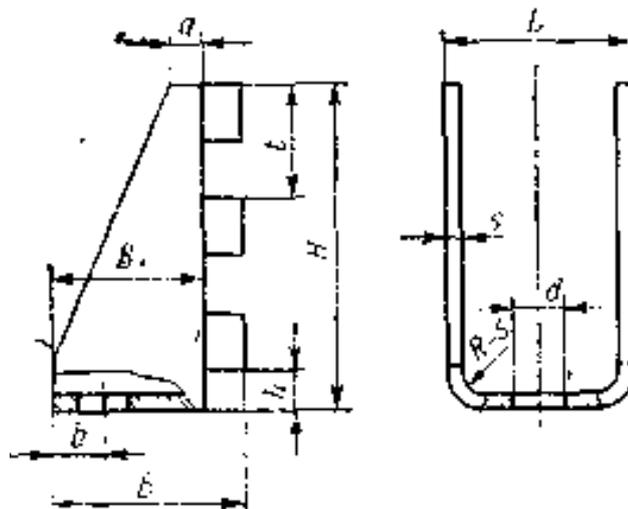


Рис.2.12 Опоры (лапы) для вертикальных цилиндрических стальных эмалированных аппаратов (по ОН 26-01-32—66)

Нагрузка, которая приходится на одну опору:

$K_H = 1,5 \dots 2$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между опорами, принимаем:

$$K_H := 1.5$$

Z - количество опор. Принимаем: Проверка прочности:

$$Z := 2$$

$$F_1 := \frac{G_{ан2} \cdot K_H}{Z} = 2.382 \times 10^4 \text{ Н}$$

Геометрические размеры опоры приведены в таблице 2.16. [10]

Таблица 2.16. Геометрические размеры опоры.

F	L	B	B ₂	H	h	S	a	b	t	b	масса
400000	170	220	180	45	380	24	12	30	28	100	12.9

Расчетные формулы справедливы, когда выполняются условия:

Расчет проводим согласно [11].

$$\text{проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.05 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

проверка₁ = "Условие выполняется"

$$\text{проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } |F_1| \leq F_D \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

проверка₂ = "Условие прочности выполняется"

Опорные лапы

расчетный диаметр $D_p := 1.21 \epsilon \text{ м}$

исполнительная толщина рубашки $s_2 := 0.008 \text{ м}$

расстояние между средними линиями ребер $g := 0.15 \text{ м}$

высота опорной лапы $h_1 := 0.38 \text{ м}$

ширина основной плиты опорной лапы, $b_4 := 0.17 \text{ м}$

сумма прибавок к расчетным толщинам $c := 0.00 \text{ м}$

вес сосуда $G := 3176 \text{ Н}$

внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища $D := 1.30 \text{ м}$

расчетный изгибающий момент, действующий на обечайку в сечении, где расположены опорные узлы, в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), $M := 1.931 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$

длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда $e_1 := 0.18 \text{ м}$

исполнительная толщина подкладного листа $s_3 := c$

предельное напряжение $\sigma := 177.5 \text{ МПа}$

расчетное внутреннее избыточное $p := 2.098 \times 10^5 \text{ Па}$

Условия применения расчетных формул $F := 1.58810^4 \text{ Н}$

$$\text{условия}_1 := \begin{cases} \text{" Расчетные формулы применяют} & \left| \begin{array}{l} \frac{s_2 - c}{D_p} \leq 0.05 \\ g \geq 0.2h_1 \\ 0.04 \leq \frac{b_4}{D_p} \leq 0.5 \end{array} \right. \\ \text{" Расчетные формулы НЕ применяют} & \text{otherwise} \end{cases}$$

условия₁ = Расчетные формулы применяют

Расчет усилия

Усилие, действующее на опорную лапу, вычисляют по формуле

$$F_{1.1} := \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + s_2 + s_3)} = 2.74 \times 10^4$$

Проверка несущей способности обечайки

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа должна удовлетворять условию коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба

$$\nu_1 := 0.3$$

мембранные напряжения в меридиональном направлении

$$\sigma_{m.x.} := \frac{p \cdot D_p}{4 \cdot (s_2 - c)} + \frac{1}{\pi \cdot D_p \cdot (s_2 - c)} \cdot \left(F + \frac{4 \cdot M}{D_p} \right) = 1.208 \times 10^7$$

$$K_2 := 1.05$$

$$\varphi := 1$$

коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями;

$$\nu_2 := \frac{\sigma_{m.x.}}{K_2 \cdot |\sigma \cdot 10^6| \cdot \varphi} = 0.065$$

$$K_1 := \frac{1 - \nu_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2 \right)^2 + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2 \right)^2 + (1 - \nu_2)^2 \cdot \nu_1^2}} = 1.221$$

предельное напряжение изгиба

$$\sigma_i := K_1 \cdot K_2 \cdot |\sigma| = 227.99 \text{ МПа}$$

так как

$$\frac{g}{h_1} = 0.416 \quad 0.416 < 0.5 \text{ ТО } F_{1 \text{ доп}} \text{ необходимо умножить на } \left(0.5 + \frac{g}{h_1}\right)$$

$$x := \ln \left[\frac{D_p}{2 \cdot (s_2 - c)} \right] = 4.464 \quad y := \ln \left(\frac{h_1}{D_p} \right) = -1.163$$

$$K_{7.1} := \exp \left[\begin{array}{l} -26.791 - 6.936x - 36.330y - 3.503x^2 - 3.357x \cdot y + 2.786y^2 + 0.2267x^3 \dots \\ + 0.2831x^2 \cdot y + 0.3851x \cdot y^2 + 1.37y^3 \end{array} \right] \cdot 10^{-2}$$

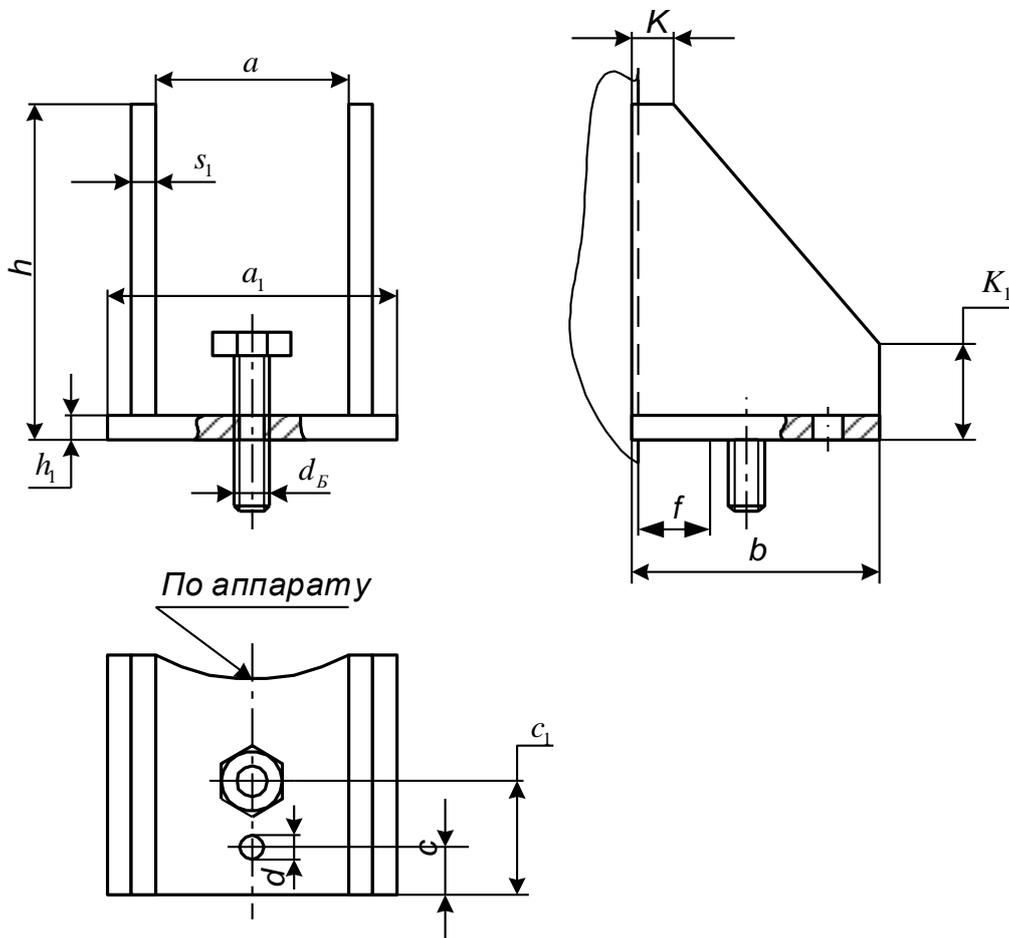
$$K_{7.2} := \exp \left[\begin{array}{l} -5.964 - 11.395x - 18.984y - 2.413x^2 - 7.286x \cdot y - 2.042y^2 + 0.1322x^3 \dots \\ + 0.4833x^2 \cdot y + 0.8469x \cdot y^2 + 1.428y^3 \end{array} \right] \cdot 10^{-2}$$

$$K_7 := \min(K_{7.1}, K_{7.2}) = 0.605$$

$$F_{1 \text{ доп}} = \frac{|\sigma_1 \cdot 10^6| \cdot h_1 \cdot (s_2 - c)^2}{K_7 \epsilon_1} \cdot \left(0.5 + \frac{g}{h_1}\right) = 3.573 \times 10^4 \text{ Н}$$

условия₂ := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"Проверка несущей способности обечайки выполняется"} \\ \text{"НЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ"} \end{array} \right. \text{ otherwise}$

условия₂ = "Проверка несущей способности обечайки выполняется"



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Рабочее место расположено в цехе. Месторождение находится в лесах Томской области. При ремонте оборудования могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Оказывается негативное воздействие на природу (атмосферу, гидросферу, литосферу) Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

Вредные факторы

1. Превышение уровня шума
2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
3. Климатические условия
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Опасные факторы

1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)
2. Электрическая дуга и искры при сварке
3. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов
4. Взрывоопасность и пожароопасность
5. Электрический ток

2. Экологическая безопасность:

При ремонте МГ воздействия оказывают как производственные процессы, так и объекты

	<p><i>постоянного и временного назначения. Ремонт трубопровода сопровождается:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>загрязнением атмосферного воздуха;</i> - <i>нарушением гидрогеологического режима;</i> - <i>загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод;</i> - <i>повреждением почвенно-растительного покрова;</i> <p><i>изъятием</i></p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Чрезвычайные ситуации в цехе могут возникнуть в результате внезапной остановки вентиляционных систем, пожара.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p><i>№117-ФЗ«О безопасности гидротехнических сооружений»;</i></p> <p><i>№22-ФЗ«О ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»;</i></p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Чешуяков Е.А.		

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Данный раздел посвящен таким социальным вопросам организации производства, как производственная и экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Так же описаны вредные вещества и опасные факторы.

3.1 Характеристика технологического процесса

В процессе экстракционной очистки концентратов природного урана, кроме опасности поражения организма вдыхаемыми радиоактивными пылью и газами, существует опасность химического поражения. Такое поражение может быть вызвано следующими химическими реагентами: азотная кислота, керосин, трибутилфосфат, природный уран, уранилнитрат и гидроксид натрия.

Также существует опасность нанесения вреда здоровью персонала от таких вредных и опасных факторов как инфракрасное излучение от нагретых поверхностей аппаратов (кожухотрубчатого теплообменника, выпарного аппарата); неблагоприятный микроклимат и освещенность, которая не соответствует санитарным нормам; электрический ток (токоведущая проводка привода электродвигателей); сосуды, работающие под давлением.

Установлено, что при правильной организации работы и соблюдении необходимых мер защиты работа на производстве становится безопасной.

3.2 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных факторов. Мероприятия по защите

При очистке природного урана безопасность рабочего персонала и самого процесса обеспечивается путем выявления опасных и вредных факторов с последующим их устранением.

Основным источником профессиональных вредностей в химической промышленности являются химические вещества. Проникая в организм человека, они воздействуют на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушение процессов нормальной жизнедеятельности. Когда вызванные химическими веществами нарушения становятся явными и достаточно стойкими, их называют профессиональными отравлениями.

1 Вредные вещества

К химическим опасным и вредным веществам на проектируемой установке относятся азотная кислота, используемая для растворения природного урана в реакторах, гидроксид натрия, используемый для регенерации ТБФ, природный уран (как исходное вещество), ТБФ, используемый для экстракционного извлечения урана в виде уранилнитрата, получаемого в результате растворения химического концентрата, керосин (как разбавитель ТБФ). По данным веществам в таблице 7.1 приведены ПДК и классы опасности [31].

Таблица 6.1 – Предельно допустимые концентрации веществ

Наименование вещества	Значение ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Природный уран в виде оксидов	0,075	1
Уранилнитрат	0,015	1
Азотная кислота	5	2
Трибутилфосфат	0,5	2
Гидроксид натрия	4	2
Керосин	300	4

Азотная кислота, гидроксид натрия, природный уран, ТБФ, попадая на кожу, вызывают химические ожоги. Химические ожоги возникают при местном воздействии химически активных веществ на кожу, дыхательные пути, глаза. Степень ожога зависит от химической активности и токсичности вещества, его концентрации, температуры, продолжительности действия, а также чувствительности кожи пострадавшего.

Химические ожоги можно предупредить при правильном конструктивном оформлении аппаратуры и коммуникаций и при строгом соблюдении установленного режима и порядка эксплуатации оборудования.

Наиболее опасными участками для обслуживающего персонала являются коммуникации и арматура. Все трубопроводы, предназначенные для транспортировки кислот и кислых масс, должны быть проложены так, чтобы после очередного пользования ими остатки из труб могли свободно стекать в емкости. Для этого трубопроводы должны иметь соответствующие уклоны; не допускается образование «мешков», где могли бы накапливаться остатки жидкости. Для изготовления трубопроводов следует применять материалы, стойкие к кислотам, а также соответствующие арматуру и прокладки.

Ремонтные работы производят только после полного и тщательного удаления содержимого из аппаратов и особенно из коммуникаций. Аппаратуру, трубопроводы и другое оборудование, предназначенное для работы с ядовитыми, едкими и вредными жидкостями и газами, перед пуском подвергают испытанию на герметичность.

ТБФ – прозрачная маслянистая жидкость, температура вспышки которой равна 163 °С. ТБФ смешивается со всеми органическими растворителями. Химически устойчивое соединение, на воздухе не окисляется, не разлагается. Токсических соединений в воздушной среде не образует. Плотность при 20 °С равна 0,975 г/см³. При попадании на кожу вызывает химические ожоги.

В качестве разбавителя экстрагента в данном процессе используется керосин – прозрачная желтоватая жидкость с характерным запахом, имеет низкую вязкость, плотность при 20⁰С – 0,83 г/см³, медленно испаряется. Керосин может всасываться в организм при вдыхании паров и через рот. При кратковременном воздействии вещество слегка раздражает кожу и дыхательные пути. Проглатывание жидкости может вызвать аспирацию в легких с риском возникновения химического воспаления легких. Также керосин может оказывать действие на нервную систему. При долговременном или многократном воздействии керосин обезжиривает кожу. В результате вытекания керосина могут образоваться электростатические заряды.

Азотная кислота должна храниться в емкостях, которые устанавливают на

фундаментах таким образом, чтобы было удобно осматривать их наружные поверхности и своевременно ликвидировать течи. Полы складов делают из кислотоустойчивых материалов и оборудуют стоками на случай разлива кислоты. Емкости для хранения кислоты должны быть закрытыми. Разбавляя кислоту следует приливать ее в воду, а не наоборот во избежание вскипания воды и выброса кислоты из открытого сосуда, емкости и тому подобное и возможных ожогов. Кроме раздражения верхних дыхательных путей, затруднения дыхания, спазма голосовой щели, жжения в глазах, при более высоких концентрациях могут появиться кровавая мокрота, рвота. Позже – воспалительные заболевания бронхов и легких при остром отравлении.

При ожогах кислотами надо как можно быстрее и тщательнее (в течение 10-15 мин) промыть пораженное место обильной струей чистой воды. Поэтому к рабочим местам должны быть проведены шланги с наконечниками и легко открывающимися кранами. Для промывки глаз устанавливают фонтанчики. При отсутствии водопровода устанавливают емкости с водой. Следует помнить, что степень ожога в значительной мере зависит от правильной и своевременной обработки пораженных участков кожи.

Наиболее уязвимыми при ожогах являются органы зрения. Для защиты глаз от попадания брызг кислоты применяют защитные очки. Все работающие с агрессивными веществами должны пользоваться соответствующей спецодеждой. При работе с кислотой необходимо надеть предохранительные очки, резиновые перчатки, прорезиненный фартук, резиновые сапоги, куртку и брюки из шинельного сукна.

Пролитую кислоту немедленно засыпают песком, нейтрализуют известью, затем удаляют мокрый песок и смывают остатки водой [32, 33].

Уран и его соединения – вреднейшие токсические вещества, являющиеся исключительно сильными ядами для живых организмов. Особенно токсичны растворимые соли уранила (нитраты, ацетаты, сульфаты) как легко растворимые и хорошо усваиваемые организмом соединения. Соли урана вредно влияют на организм человека, поражая органы обмена, в первую очередь почки, и вызывая их заболевания – нефриты. Под действием солей урана нарушается кислотно-щелочное равновесие в крови, обнаруживаются изменения клеток печени и почек. При попадании солей урана в организм нарушается нормальное пищеварение, поражаются слизистые оболочки внутренних органов, ухудшается свертываемость крови.

При растворении урановых продуктов в кислотах в процессах осаждения, фильтрации, ионообменной сорбции и экстракции наряду с образованием пыли этих веществ возможно образование вредоносных аэрозолей урановых соединений, опаснейшего источника поражения людей. Попадая в легкие и желудок, тонкодисперсная пыль может там оставаться очень долго и непрерывно, днем и ночью, поражать организм. Пыль и аэрозоли опасны и тем, что постепенно накапливаются в организме, т. е. их действие носит кумулятивный характер. В связи с этим подбираем наиболее эффективные средства защиты органов дыхания и зрения:

– респиратор противогазовый РПГ-67. Он предназначен для защиты органов дыхания от вредных веществ, присутствующих в атмосфере в виде паров и газов.

Он комплектуется противогазовыми фильтрующими патронами.

Фильтрующие патроны респиратора специализированны по назначению в зависимости от физико-химических и токсичных свойств вредных примесей и различаются по составу поглотителей и маркировке;

– очки «Ультравижн» – плотноприлегающая модель (9301.714). Ацетатная линза, незапотевающая изнутри, выдерживает ударную нагрузку до 2,7Дж. Защита от царапин и УФ-излучения. Химически стойкие очки с непрямой вентиляцией. Обеспечивают хороший панорамный обзор. Защита от выплесков большинства вредных химических жидкостей и от мелкодисперсной пыли. Очки снабжены широкой переносицей и совместимы с оптическими очками.

Следовательно, физиологическая вредность урана огромна и всякое попадание этого сильнейшего промышленного яда в организм людей должно быть полностью и гарантированно исключено соответствующей организацией производственного процесса.

Первым условием успешного осуществления эффективной защиты персонала от вредных воздействий урановых продуктов бесспорно является правильное проектирование технологических процессов и оборудования.

Особое значение приобретает борьба с пылью и аэрозолями. Для борьбы с ними применяют следующие мероприятия:

1) применение закрытых герметичных систем, возможно полная, в идеале абсолютная изоляция ураносодержащих веществ от людей;

2) укрытия для оборудования, снабженные местной отсасывающей вентиляцией, даже при использовании герметичного оборудования;

3) исключение тесного размещения оборудования и приборов, доступность любой поверхности аппаратуры и помещений для частого и тщательного удаления пыли;

4) мощная общая вентиляция: приточная, подающая чистый отфильтрованный воздух в цех (зимой подогретый), и вытяжная, с очисткой удаляемого воздуха от пыли и аэрозолей;

5) местные отсосы, универсальные вытяжные шкафы для проведения пылящих операций;

6) максимальная механизация, автоматизация и дистанционное управление технологическим процессом;

7) исключение контактов персонала с продуктом;

8) обязательная очистка всех выбрасываемых в атмосферу газов.

Таким образом, для предупреждения отравлений и профессиональных заболеваний при работе с токсическими веществами, прежде всего, необходимо все стадии технологического процесса проводить в условиях, исключая их непосредственный контакт с работающими. Особое внимание должно быть обращено на комплексную механизацию и автоматизацию производства, на герметизацию оборудования и установку автоматических газоанализаторов и газосигнализаторов в рабочих помещениях.

Большое значение имеют дополнительные средства обеспечения безопасности производственных процессов и труда: вентиляционные устройства, средства индивидуальной защиты, спецодежда [2].

2 Опасные факторы

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Технология экстракционной очистки концентратов природного урана связана с потенциальной возможностью электропоражений, которые в свою очередь делятся на электротравмы и электроудары.

Электротравмы – это четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электродуги.

Различают следующие виды электротравм: электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Электроудар – это возбуждение живых тканей организма проходящим через них электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

Различают следующие четыре степени электрических ударов: судорожное сокращение мышц без потери сознания; судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца; потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе); клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.

В связи с этим предусматриваются различные защитные средства.

Защитными средствами в электроустановках называются приборы, аппараты, приспособления и устройства, служащие для защиты персонала, работающего на электроустановках, от воздействия электродуги и продуктов сгорания при коротком замыкании.

Все защитные средства, применяемые в электроустановках, делят на три группы [32]: изолирующие, ограждающие и вспомогательные.

Для электроустановок до 1000 В основные защитные средства – диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими ручками, указатели напряжения и изолирующие клещи; дополнительные защитные средства – диэлектрические калоши, резиновые коврики и изолирующие подставки.

Ограждающие защитные средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, а также для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами. К ним относятся переносные ограждения – шиты, ограждения – клетки, изолирующие накладки и колпаки, временные переносные заземления и предупредительные плакаты.

Вспомогательные защитные средства предназначены для индивидуальной защиты обслуживающего персонала от световых, тепловых и механических воздействий: защитные очки, специальные рукавицы, а также средства для работы на высоте (пояса, когти).

Средствами коллективной защиты в данном технологическом процессе в цехе предусматривают следующее: обеспечивают недоступность токоведущих частей, чтобы не было случайного прикосновения к ним; также применяют изоляцию корпуса; снижают напряжение до малой величины; используют защитное заземление и зануление; организуют безопасную эксплуатацию электроустановок. В данном дипломном проекте был произведен расчет защитного заземления, который приведен в приложении Г.

Для защиты человека от движущихся частей оборудования применяют оградительные, предохранительные системы. Все работающее технологическое оборудование должно быть оснащено оградительными устройствами, предотвращающими появление человека в опасной зоне (щиты, экраны, кожухи, решетки, сетки на жестком каркасе).

Защитные средства изготавливаются по установленным стандартам и имеют клеймо, указывающее, для каких напряжений эти средства предназначены.

При аффинаже природного урана неотъемлемой частью технологического процесса являются аппараты, работающие под давлением 0,1-0,5 МПа, которые в свою очередь способны разрушаться при определенных аварийных условиях. Причинами таких разрушений являются физические взрывы при потере механической прочности аппаратов, ударах, местных перегревах, превышения рабочего давления. При физическом взрыве потенциальная энергия сжатой среды выделяется в течение малого промежутка времени. При этом потенциальная энергия реализуется в кинетическую энергию движущихся осколков разрушенного аппарата.

Во избежание данных аварийных ситуаций на предприятии руководствуются следующими основными требованиями Госгортехнадзора по безопасной эксплуатации сосудов и аппаратов.

Администрация обязана обеспечить безопасное обслуживание, исправное состояние и надежность работы сосудов и аппаратов, работающих под давлением. На обслуживающий персонал возлагается обязательное выполнение инструкций по режиму работы сосудов и аппаратов и безопасному их обслуживанию, своевременная проверка исправности действия арматуры, КИП и предохранительных устройств.

При превышении давления в сосуде (аппарате) выше допустимого, неисправности предохранительных клапанов, КИП и средств автоматики, а также при обнаружении выпучин и трещин в основных элементах сосудов (аппаратов), возникновении пожара, угрожающего сосуду (аппарату), и в некоторых других случаях процесс, протекающий в аппарате, должен быть приостановлен.

Уран обладает специфическими свойствами, обусловленными его радиоактивностью. Известно, что уран обладает α -, β - и γ -активностью, что увеличивает опасность воздействия соединений урана на организм человека. Поэтому на урановых предприятиях кроме обычных источников профессиональной вредности и токсичности урана следует со всей серьезностью

учитывать и вредность излучения. Вредное действие α -, β - и γ -излучений обусловлено ионизацией атомов и молекул ткани организмов, что приводит к существенным изменениям ее химического состава, образованию новых соединений, словом, к разрушению белковой структуры ткани. А это вызывает коренное нарушение биохимических процессов в организме и расстройство обмена веществ. В зависимости от дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми и необратимыми. При небольшой дозе ткань восстанавливает свою функцию. Большая доза облучения может вызвать поражение отдельных органов или всего организма.

Ионизирующее излучение возможно как при внешнем облучении (источник находится вне организма), так и при внутреннем облучении (радиоактивное вещество попадает вовнутрь организма).

Степень чувствительности различных тканей к действию излучения неодинакова. Любой вид ионизирующего излучения оказывает вредное воздействие на человека, но свойства его различны. С точки зрения внешнего облучения наиболее опасны β - и γ -излучения. Но более опасны случаи, когда излучатели (в том числе и α -излучатели) попадают внутрь организма человека через органы дыхания (при вдыхании воздуха, зараженного радиоактивными элементами) и с зараженной пищей или водой, а также при проникновении через кожу и через открытые раны.

Допустимая объемная активность ^{238}U в воздухе рабочих помещений $4,0 - 10^{-2}$ Бк/м³. В соответствии с приложением П-4 НРБ-99, естественный уран по степени радиационной опасности относится к группе Г (радионуклиды с минимально значимой активностью 108 Бк и менее) [34].

В соответствии с данным проектом на оборудовании, контейнерах, транспортных средствах, приборах и аппаратах, помещениях, предназначенных для работы с применением радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений, должны быть знаки радиационной опасности.

Оборудование и рабочая мебель должны иметь гладкую поверхность, простую конструкцию и слабосорбирующие покрытия, облегчающие удаление радиоактивных загрязнений.

Для предупреждения накопления радиоактивных веществ в помещениях ежедневно делается влажная уборка. Качество уборки проверяется радиометрическим контролем, и при необходимости делается повторная уборка. Особенно тщательно проводится контроль на загрязнение α -частицами.

В случае загрязнения рабочих мест, аппаратуры или оборудования радиоактивными веществами их дезактивируют специальными растворами: неорганические кислоты (серная, азотная и соляная), 10-процентная щавелевая кислота, 3-процентный раствор карбоната натрия. После обработки дезактиваторами места загрязнения споласкивают водой. Отходы, содержащие радиоактивные вещества, собирают в специальные сменные контейнеры. Контейнеры доставляют на специальные пункты обезвреживания для захоронения в так называемых могильниках.

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц [34]:

– персонал (группы А и Б);

– все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведены в таблице 7.2;
- дополнительные уровни многофакторного воздействия, являются производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые объемные среднегодовые активности (ДОА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;
- контрольные уровни.

Таблица 6.2 – Основные пределы доз облучения

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

Для обеспечения безопасной работы с радиоактивными веществами необходима защита от внешнего и внутреннего облучения.

Для защиты от альфа-излучения нет необходимости рассчитывать толщину экрана, поскольку величина пробега даже высокоэнергетических частиц не превышает 55 мкм. Поглощать альфа-излучения можно стеклом, фольгой толщиной в сотые доли миллиметра.

Все лица, работающие с открытыми радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, при выполнении работ должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты.

Опыт работы с радиоактивными веществами показал, что при незначительных радиоактивных загрязнениях в качестве основной спецодежды можно применять халаты, шапочки, комбинезоны из неокрашенной хлопчатобумажной ткани.

При выполнении отдельных работ достаточно защищать лишь органы дыхания. В этом случае используются респираторами и противогазами. Для защиты глаз пользуются стеклами обычных очков.

Для защиты ног от загрязнений применяют специальную обувь (ботинки с верхом из искусственной кожи или лавсановой ткани, сапоги из специальной резины формованные, чуни резиновые формованные).

При использовании индивидуальных средств защиты следует обращать внимание на последовательность их одевания и снятия; несоблюдение этого ведет к загрязнению рук, одежды, оборудования.

В аварийных ситуациях все сотрудники немедленно подвергаются дозиметрическому контролю. Помещения должны быть отдельными, изолированными от других помещений, специально оборудованными. Стены,

потолки и двери делают гладкими, все углы закругляют для облегчения уборки помещений от радиоактивной пыли, стены покрывают масляной краской на высоту 2 м. Полы изготавливают из плотных материалов, не впитывающих жидкость. Согласно СН 245-71 минимально допустимая высота производственных помещений составляет 3,2 м, объем производственных помещений на одного работающего – не менее 15 м³, площадь помещений – не менее 4,5 м². При остеклении световых проемов помещений учитывают соблюдение норм естественного освещения, установленных СНИП 23-05-71 [36]. В каждом производственном помещении для проветривания предусматривают открывающиеся створки переплетов и другие открывающиеся устройства в окнах площадью не менее 20 % общей площади световых проемов. Стены и потолки помещения, в котором размещен данный технологический процесс, так как идет выделение вредных веществ, должны иметь покрытия, предотвращающие сорбцию этих веществ и легко поддающиеся чистке. Для полов используют материалы, удовлетворяющие гигиеническим и эксплуатационным требованиям данного технологического процесса. Полы должны иметь стоки в канализацию. Особые требования предъявляются к планировке и конструкции наружных сооружений (установок, этажерок и т. д.).

Метеорологические условия производственной среды (рабочих помещений, производственных цехов) зависят от физического состояния воздушной среды и характеризуются следующими основными метеорологическими элементами: температурой, влажностью и скоростью движения воздуха, а также тепловым излучением от нагретых поверхностей теплообменника и выпарного аппаратов и химических реакций [31]. Совокупность этих факторов, характерных для данного участка, называется производственным микроклиматом.

Метеорологические факторы как каждый в отдельности, так и в различных сочетаниях, оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье. Для производственных условий в большинстве случаев характерно суммарное действие метеорологических факторов. Такое действие может быть или антагонистическими, когда воздействие одного или нескольких факторов ослабляются или полностью уничтожаются другими или же синергическими, когда воздействия неблагоприятных факторов усиливают друг от друга.

В связи с выше перечисленными проблемами существуют следующие оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений, согласно Сан ПиН 2.2.4.548-96, приведенные в таблице 7.3 [35].

Таблица 6.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более, м/с
Холодный	II а	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
Теплый	II а	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2

Для обеспечения нормативных метеорологических условий и поддержания теплового равновесия между телом человека и окружающей средой в цехе производится ряд мероприятий, основными из которых являются следующие:

- автоматизация погрузочных (разгрузочных) работ, выполнение которых сопровождается избыточным теплообразованием в организме человека;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами, что исключает необходимость пребывания работающих в зоне инфракрасного облучения;
- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов, излучающих на рабочие места конвекционное и лучистое тепло. Теплоизолирующее оборудование нужно размещать так, чтобы исключить совмещение потоков лучистой энергии на рабочих местах, а там где это возможно, установить его на открытых площадках, чтобы температура наружных стенок теплоизолирующего оборудования не превышала 45 градусов Цельсия;
- для предупреждения работающих от переохлаждения и простудных заболеваний в холодное время года у входа в цех устраивают тамбуры или создают тепловые воздушные завесы, которые направляют поток наружного холодного воздуха в верхнюю зону помещения.

Помимо указанных мер, связанных с совершенствованием технологии и рационализацией конструкций теплоизлучающего оборудования, существует и другое средство борьбы с оставшимися избыточными тепло и влаговыведениями – вентиляция помещений.

Одним из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих мест. При неправильном освещении помещений и рабочих мест резко снижается производительность труда, условия безопасности и повышается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется в производственной обстановке.

Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасной ситуации. В связи с этим существуют следующие нормативные параметры освещения [36]:

- при системе общего искусственного освещения равно 200 лк;
- при боковом естественно совмещенном освещении равно КЕО $e_n = 0,6 \%$.

Следует проверять уровень освещенности в контрольных точках производственного помещения не реже одного раза в год после очередной очистки светильников и замены перегоревших ламп. Фактическая освещенность

должна быть больше или равна нормируемой освещенности, умноженной на коэффициент запаса.

3.3 Безопасность в ЧС

Пожаровзрывоопасность производства определяется параметрами пожароопасности и количеством используемых в технологических процессах материалов и веществ, конструктивными особенностями и режимами работы оборудования, наличием возможных источников зажигания и условий для быстрого распространения и условий для быстрого распространения огня в случае пожаров.

Согласно [37] все объекты в соответствии с характером технологического процесса по взрывопожарной и пожарной опасности подразделяются на пять категорий.

Производство экстракционной очистки концентрата природного урана в соответствии с [37] подпадает под категорию В1, которая характеризуется горючими и трудно горючими веществами и материалами.

К возможным причинам пожаров и взрывов на предприятии относятся: нарушение технологического режима загрузки исходных веществ, неисправность электрооборудования аппаратов, износ и коррозия оборудования, искры при электро- и газосварочных работах.

Мероприятия по предупреждению пожаров и взрывов делятся на: организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий.

В качестве технических мер обеспечения безопасности труда и промсанитарии при проектировании предусматривается:

- применение герметичной аппаратуры с выводом сдувок через узел спецотсоса, содержащий газоочистное оборудование;
- возможность продувки аппаратов и трубопроводов азотом перед вскрытием для ремонта;
- применение конструкционных материалов для изготовления оборудования, устойчивых в среде азотной кислоты;
- теплоизоляция аппаратов и трубопроводов, нагреваемых выше 45 °С;
- применение местных отсосов от оборудования, периодически перекрываемого;

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные предприятия – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационные мероприятия – это ремонты и испытания технологического оборудования, а так же своевременные профилактические осмотры.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители типа ОП-5, ОП-10 и углекислотные типа ОУ-8.

В случае разлития азотной кислоты необходимо:

- наличие обмывочного пункта для экстренной санитарной обмывки трех человек;
- наличие отдельного санпропускника с душевыми, умывальниками, шкафчиками для личных вещей и спецодежды согласно требованиям СанПиН 2.6.1.012-03;

3.4 Экологическая безопасность

Анализ воздействия экстракционной очистки концентрата природного урана на биосферу

В технологии экстракционной очистки концентрата природного урана основную опасность для атмосферы имеют пары азотной кислоты, используемой для растворения природного урана в реакторах и отработанный вторичный пар в выпарном аппарате, несущий в своем составе частицы урана. Также существует опасность утечек отработанных растворов, содержащих в своем составе уран, азотную кислоту и различные другие примеси, отделившиеся в результате очистки природного урана в экстракционной, промывной и регенерационной колоннах.

Мероприятия по защите окружающей среды

Генеральный план химического предприятия составляют с учетом требований безопасности труда, а также санитарно-гигиенических требований.

При разработке генерального плана исходят из принципа локализации неблагоприятных производственных факторов, что позволяет предупредить распространение вредных и опасных пыли-, паровых и газовых выделений при авариях, а также огня при пожаре и ограничить разрушающее действие воздушной ударной волны при взрывах.

В решениях генерального плана в основы безопасности закладываются на стадии выбора площадки для предприятия, цехов, установок, железнодорожных путей, дорог и тротуаров. В решениях генерального плана учитывают следующие основные требования:

- объединение отдельных производств и вспомогательных служб с учетом их технологической связи, взрывоопасности и пожароопасности производств и характера выделяемых ими вредностей;
- определение безопасных санитарных и противопожарных разрывов с учетом возможного изменения технологии и реконструкции отдельных цехов и установок на основе санитарной классификации и категорирования производств по взрывной и пожарной опасности;
- обеспечение естественного проветривания территории и исключения застойных зон и скопления в них вредных и опасных выделений с учетом рельефа местности, направления и скорости ветра.

Таким образом, безопасность всего предприятия в условиях эксплуатации в

значительной степени зависит от обоснованности основных решений генерального плана при выборе территории и расположения на ней внутризаводских объектов. При решении этих вопросов следует руководствоваться общесоюзными строительными и санитарными нормами и правилами, отраслевыми правилами техники безопасности и противопожарными условиями проектирования.

Площадку для предприятия выбираем в соответствии с имеющимся или разрабатываемым проектом планировки развития данного промышленного узла.

Общие санитарные требования к генпланам направлены на поддержание в процессе эксплуатации санитарно приемлемого состояния воздушного бассейна и физической среды на территории предприятия и близлежащих населенных мест.

В решениях генпланов при выборе земельного участка находят отражение гидрологическая и геологическая характеристика и рельеф местности, сейсмичность географического района, чистота почвы и уровень грунтовых вод, устройство канализации и отвод поверхностных вод, возможность прямого солнечного освещения участка. Особое значение для химического предприятия имеют климатические условия, в частности направление и скорость ветра и рельеф местности, с тем, чтобы обеспечить естественное проветривание территории и отдельных производственных помещений и цехов. Химическое предприятие, потребляющие значительное количество воды, размещают вблизи природных или искусственных водоемов. Химическое предприятие, выделяющие производственные вредности в атмосферу, располагается с подветренной стороны с учетом преобладающего направления ветра по отношению к жилой застройке и на расстоянии, отвечающем санитарной классификации производств.

Данное предприятие с взрывоопасным и пожароопасным производством по соображениям безопасности не располагаем с наветренной стороны по отношению к соседним предприятиям или внутризаводским объектам. На территории предприятия объекты внутренней застройки размещают с учетом противопожарных разрывов в соответствии с категорией производств по взрывной и пожарной опасности. Это позволяет предотвратить переброску огня и распространения взрыва с соседних объектов и других предприятий при авариях. Поэтому нормативами установлены максимально допустимые расстояния между данными предприятием и другими предприятиями и населенными пунктами.

Минимально допустимое расстояние от предприятия до населенных мест (санитарно – защитная зона) зависит от характера и количества возможных производственных выбросов в атмосферу (пары, газы). Все химические предприятия в зависимости от выделяемых в атмосферу производственных выбросов делят в соответствии с санитарными нормами на пять классов [31].

Классификация учитывает условия технологического процесса, мероприятия по очистке вредных выбросов в атмосферу и масштабы производства.

В результате химическое предприятие по аффинажу природного урана относится к первому классу.

Химическое предприятие располагают, как этого требуют санитарные нормы, в пределах санитарно-защитной зоны. Ширина такой зоны для предприятия первого класса должна быть не менее 1000 метров [31].

Санитарно-защитной зоной считается территория между

производственными помещениями, складами или установками, выделяющими производственные вредности, и зданиями жилого района.

Сущность зонирования заключается в территориальном объединении в группы (зоны) различных объектов, входящих в состав предприятия, по признаку технологической связи и характеру присущих опасностей и вредностей.

Это достигается тем, что всю территорию предприятия разбивают на участки, называемыми зонами, в которых группируют производства и службы, имеющие сходства по функциональному назначению, условиями безопасности, санитарным условиям, транспортному обслуживанию.

Таким образом, в данном разделе рассмотрены опасные и вредные факторы при работе установки и предусмотрены меры по их устранению. Во избежание химических ожогов предусмотрена соответствующая спецодежда, мероприятия по защите от электрического тока заключаются в надежном заземлении, занулении токоведущих частей оборудования, обеспечении их недоступности, организации безопасной эксплуатации электроустановок, для защиты человека от движущихся частей оборудования применяют оградительные, предохранительные системы. Для защиты людей от поражения электрическим током был проведен расчет защитного заземления.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<i>3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>	
<i>2. Расчет технико-экономических показателей</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
Задание выдал консультант:	

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Чешуяков Евгений Александрович		

4 Экономический раздел

4.1. Потенциальные потребители

Целевой рынок – Атомная промышленность

4.2. SWOT-анализ

Анализ факторов макросреды представлен в Таблице 1

Таблица 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, в частности за счет увеличения производительности оборудования, контроль за расходами сырья и

			материалов (с целью уменьшения потерь), стимулирования персонала с целью увеличения производительности труда
	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
Научно-технический	1. Появление современных технологий (оборудования)	«+» увеличение чистого денежного потока (повышение стоимости предприятия), увеличение объемов производства, а соответственно и выручки от продаж	Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта. Увеличение производительности уже имеющегося оборудования. Осуществление постоянного контроля за техническим состоянием имеющегося оборудование, организация своевременных ремонтных работ
		«-» сокращение	-//-

		чистого денежного потока в случае внедрения НТП конкурентами	
Социо-технические	<p>1. Повышение уровня образования</p> <p>2. Повышение квалификации персонала предприятия и обмен опытом</p>	<p>1. «+» появление на рынке труда квалифицированных кадров</p> <p>2. «+» повышение работоспособности персонала</p>	<p>Прием на работу персонала высокой квалификации.</p> <p>Разработка эффективной программы мотивации и стимулирования для работников.</p> <p>Обеспечение постоянного повышения квалификации персонала предприятия.</p>

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.
	Улучшение деловой репутации среди потребителей	«+» возможность увеличения объемов реализации, увеличение прибыли, привлечение новых потребителей	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ
	Ухудшение деловой репутации среди потребителей	«-» снижение объемов реализации, уменьшение чистой прибыли компании	Контроль качества производимой продукции, эффективная маркетинговая
Поставщики	Увеличение стоимости сырья,	«-» перебои в поставках «-» увеличение	Рассмотрение новых форм сотрудничества, заключение

	комплектующих	себестоимости продукции «-» снижение конкурентоспособности	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
	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
Конкуренты	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 3

Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
---------------	-----------------	----------------

Маркетинг	1. Наличие постоянных потребителей 2. Достаточная доля рынка	1. Неэффективная программа продвижения продукции
Менеджмент	1. Наличие четкой стратегии развития предприятия 2. Четко поставленные цели и задачи 3. Наличие высококвалифицированных управленческих кадров, постоянное повышение квалификации	1. Высокий уровень текучести кадров 2. Отсутствие кадрового резерва
Кадры	1. Высокий уровень профессионализма кадров 2. Высокая рентабельность персонала 3. Высокая производительность персонала	1. Неэффективная система мотивации и стимулирования персонала 2. Высокий уровень текучести кадров. 3. Отсутствие кадрового резерва
Производство	1. Наличие современной технологии 2. Наличие современного оборудования 3. Конкурентноспособная позиция 4. Обеспечение бесперебойной поставки необходимого материала и сырья 5. Снижение себестоимости продукции	1. Отсутствие научно-технических разработок 2. Недозагрузка производственных мощностей
Корпоративная культура	1. Хорошая репутация у потребителей	1. Низкий уровень корпоративной культуры

Таблица 4

Матрица SWOT-анализа

	Возможности 1. Рост спроса на рынке 2. Повышение покупательской способности	Угрозы 1. Ужесточение конкуренции 2. Повышение налогов 3. Рост темпов инфляции
--	--	--

	<p>потребителя</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Выход на новые рынки или сегменты рынка 4. Увеличение объемов реализации 5. Снижение себестоимости продукции 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Ухудшение условий транспортировки 5. Нестабильность экономики в стране 6. Снижение покупательской способности потребителя 7. Ухудшение деловой репутации среди потребителей
<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конкурентоспособная позиция 2. Хорошая репутация у потребителей 3. Наличие дополнительных разведанных месторождений 4. Высокий уровень профессионализма кадров 5. Наличие современного оборудования 	<p>Поле СиВ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 	<p>Поле СЛиУ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 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
<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость от нестабильности экономики страны 2. Проблемы финансирования 3. Неплатежеспособность потребителей 4. Сокращение легко добываемой ресурсной базы 5. Высокий уровень текучести кадров. 	<p>Поле СиВ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение цен продукцию на внутреннем рынке 2. Совершенствование системы налогообложения 3. Адаптация к изменениям во внешней среде 	<p>Поле СЛиУ – рекомендации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Техническое переоснащение отрасли 2. Извлечение урана из месторождений с малыми запасами 3. Увеличение производительности оборудования

4.3. Анализ эффективности действующего производства

Произведем расчет производственной мощности и сформулируем выводы о степени загрузки производственной мощности.

Таблица 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)

$$M = P_{\text{час.}} * T_{\text{эф.}} * K_{\text{об.}},$$

где: $P_{\text{час.}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$ – количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}},$$

где: $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} = 360 - 104 - 12 = 244 \text{ (дн.)}$$

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}},$$

где: $T_{\text{ном.}}$ – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ППР}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета

$T_{\text{ППР}}$ необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте);

$T_{ТО}$ – время технологических остановок, в нашем случае принимаем равным 3 дням.

$$T_{эфф} = T_{ном.} - T_{шпр} - T_{ТО} = 244 - 6 - 3 = 235 \text{ (дн.)}$$

$$M = P_{час.} \cdot T_{эф.} \cdot K_{об} = 5 \cdot 1904 \cdot 2 = 19040 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

Коэффициент экстенсивности он характеризуется использованием основного оборудования по времени [18,с75]:

$$K_{экт} = T_{эфф.г} / T_{кал}$$

где

$K_{экт}$ – коэффициент экстенсивности;

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

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

По формуле 1.3 коэффициент экстенсивности равен:

$$K_{экт} = 1880 / 2880 = 0,66.$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности [16].

$$K_{инт} = P_{факт} / P_{техн}$$

где

$P_{факт}$ – фактическая производительность, м³/ч;

$P_{техн}$ – техническая норма производительности, м³/ч;

$$K_{инт} = 1416 / 1416 = 1$$

Коэффициент Парка рассчитываем по формуле:

$$K_{Парка} = N_{раб} / N_{уст},$$

где

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

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

$$K_{Парка} = 38 / 38 = 1$$

Коэффициент мощности:

$$K_M = K_{инт} \cdot K_{Парка} \cdot K_{экт},$$

где

$K_{экт}$ – коэффициент экстенсивности;

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

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

$$K_M = 0,66 \cdot 1 \cdot 1 = 0,66$$

Годовая программа выпуска до и после производительности

$$N_{\text{год}} = K_M \cdot M,$$

где

K_M – коэффициент мощности;

M – производственная мощность, млн. м³/год.

$$N_{\text{год}} = 28560 \cdot 0,66 = \mathbf{19040} \text{ (млн. м}^3\text{/год)}.$$

Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Проведем расчет численности персонала (Таблица 6):

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

Таблица 6

Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки	Число единиц оборудования	Явочная численность	Эффективное время рабочего	Коэффициент перехода
---------------------	--------------------	--------------------	---------------------------	---------------------	----------------------------	----------------------

	$N_{\text{обс}}$	S	n	$N_{\text{яв}}$	$T_{\text{эфф}}$	$K_{\text{пер.}}$
Основные рабочие	14	3	7	12	8	1,16
Вспомогател ьные рабочие	10	1	7	8	8	1,25
Итого	26	3	7	22	8	

Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника представлен в Таблице 7.

Таблица 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

Тарифный фонд заработной платы представлен в Таблице 8

Таблица 8

Тарифный фонд заработной платы

Наименование должности	Число штатных единиц	Зарплата за чел/день, руб	Трудоемкость, чел/дни	Тарифный фонд заработной платы, тыс.руб.
Научный руководитель	2	1465	97	284,21
Инженер-технолог I категории	4	1250	172	860,00
Инженер технолог-машиностроитель	1	970	42	40,74
Инженер-конструктор	1	950	52	49,40
Копировщик	2	650	17	22,10
Техник-лаборант	2	1020	9	18,36
Рабочий опытного производства	2	980	39	76,44
Слесарь-сборщик 5р.	4	820	39	127,92
Механик II категории	2	850	10	17,00
Главный инженер	1	1340	39	52,26
Основные рабочие	14	850	172	2046,80
Вспомогательные рабочие	10	670	124	830,80
Итого				4426,03

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

$$\text{Пр} = \text{Зтар} * 0,2 = 4426,03 * 0,2 = 885,21 \text{ (тыс.руб.)}$$

Наименование должности	Число штатных единиц	Зарботная плата за чел/день, руб	Доплата за выход на работу в праздничный день	Трудоемкость, чел/дни	Тарифный фонд заработной платы, тыс.руб.
Научный руководитель	2	1465	586	2	8,2
Инженер-технолог I категории	4	1250	500	2	14
Инженер-технолог-машиностроитель	1	970	388	2	2,72
Инженер-конструктор	1	950	380	2	2,66
Копировщик	2	650	260	2	3,64
Техник-лаборант	2	1020	408	2	5,71
Рабочий опытного производства	2	980	392	2	5,49
Слесарь-сборщик 5р.	4	820	328	2	9,18
Механик II категории	2	850	340	2	4,76
Главный инженер	1	1340	536	2	3,75
Основные рабочие	14	850	340	2	33,32
Вспомогательные рабочие	10	670	268	2	18,76
Итого					112,19

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составляет 40 %. В нашем случае весь вышеперечисленный персонал 2 раза (в 1 восьмичасовую смену) выходил праздничные дни. Расчет доплаты за праздничные дни представлен в Таблице 9.

Таблица 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 повременников:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}} = 4426,03 + 885,21 + 112,19 = 5423,43 \text{ (тыс.руб)}$$

Расчет районной надбавки

Районная надбавка рассчитывается по формуле:

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

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:

$$Z_{\text{осн}} = 5423,43 * 1,3 = 7050,46 \text{ (тыс. руб.)}$$

Дополнительная зарплата ($Z_{\text{доп}}$):

$$Z_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{н}} * Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эфф}}},$$

где $D_{\text{н}}$ — количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

$$Z_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{н}} * Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эфф}}} = 38 * 7050,76 / 206 = 1300,57 \text{ (тыс.руб.)}$$

Таким образом, общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 7050,76 + 1300,57 = 8351,33 \text{ (тыс. руб.)}$$

Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), то есть: $0,3 * 8351,33 = 2505,40$ (тыс.руб.)

Рассчитаем заработную плату производственных рабочих.

$$Z_{\text{тар}} = 14 * 850 * 172 = 2046,80 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{Пр} = Z_{\text{тар}} * 0,2 = 2046,80 * 0,2 = 409,36 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{Доплата за работу в праздничные дни: } 33,32 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2046,80 + 409,36 + 33,32 = 2489,48 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{\text{осн с учетом РН}} = 2489,48 * 1,3 = 3236,32 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = 38 * 3236,32 / 206 = 597 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, общий фонд заработной платы производственных рабочих составляет: $3236,32 + 597 = 3833,32$ тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды производственных рабочих составит: $3833,32 * 0,3 = 1150$ тыс.руб.

Рассчитаем заработную плату ремонтных рабочих.

$Зтар = 830,80$ тыс.руб.

$Пр = Зтар * 0,2 = 830,8 * 0,2 = 166,16$ тыс.руб.

Доплата за работу в праздничные дни: $18,76$ тыс.руб.

$Зосн = 830,8 + 166,16 + 18,76 = 1015,72$ тыс.руб.

$Зосн с учетом РН = 1015,72 * 1,3 = 1320,44$ тыс.руб.

$Здоп = 38 * 1320,44 / 206 = 243,58$ тыс.руб.

Таким образом, общий фонд заработной платы ремонтных рабочих составляет: $1320,44 + 243,58 = 1564,02$ тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды ремонтных рабочих составит: $1564,02 * 0,3 = 469,21$ тыс.руб.

Рассчитаем заработную плату ИТР:

$Зтар = 1548,43$ тыс.руб.

$Пр = Зтар * 0,2 = 1548,43 * 0,2 = 309,69$ тыс.руб.

Доплата за работу в праздничные дни: $60,11$ тыс.руб.

$Зосн = 1548,43 + 309,69 + 60,11 = 1918,23$ тыс.руб.

Отчисления на соц.нужды ИТР составит: $1918,23 * 0,3 = 575,47$ тыс.руб.

Расчет затрат на производство продукции

Таблица 10

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование материалов	Расход материалов, в год	
	количество, т/год	сумма, тыс.руб.
Сталь углеродистая	12	28,9
Сталь легированная	80	155,6
Электроды углеро-дистые	102,3	558,5
Обтирочный материал	73,1	73,1
Резина прокладочная	14,6	22,9
Паронит	102,4	102,4
Набивка асбестовая	14,6	22,9
Масло машинное	380,12	304,1
Краска масляная	43,8	131,5
Итого:		1399,90

Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 11

Расчет потребности электроэнергии

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Центрифуга (2 шт)	114240	1904	60
Экстрактор центробежный (2 шт)	190,4	1904	0,1
Емкостный аппарат	95,2	1904	0,05
Барабанный фильтр	7616	1904	4
Выпарной аппарат	5712	1904	3
Итого	127853,6	1904	67,15

При стоимости 1 кВт – 1,45 руб. сумма затрат на электроэнергию состави:
 $127853,6 * 1,45 = 185,39$ тыс.руб.

Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть: полную стоимость зданий, полную стоимость оборудования, нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 8. Полную стоимость зданий принимаем – 5000 тыс.рублей.

Таблица 12

Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб.
Здания	5000	2	100
Оборудование			
Центрифуга (2 шт)	230	5	11,5
Экстрактор центробежный (2 шт)	212	8	16,96
Емкостный аппарат	175	10	17,5
Барабанный фильтр	162	6	9,72
Выпарной аппарат	573,8	9	51,64
Итого:	6352,8		207,32

В Таблице 13 представлена калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства равном 19040 т/год. Затраты топлива на технологические нужды – 500 тыс.руб. Затраты на ремонт оборудования – 5% в год.

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (19040 м³/год)

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции, руб.	Затраты на весь объем, тыс.руб.
1. Сырье	тыс.руб.	73,52	1399,90
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	9,74	185,39
3. Топливо на технологические нужды	тыс.руб.	26,26	500,00
4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб.	201,33	3833,32
4.1. Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)		60,4	1150
Итого условно-переменных издержек	тыс.руб.	371,25	7068,61
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
- амортизация оборудования		10,89	207,32
- ремонт оборудования	тыс.руб.	3,55	67,64
- заработная плата ремонтного персонала		82,14	1564,02
- отчисления на соц.нужды ремонтного персонала (30%)		24,64	469,21
5.2. Заработная плата ИТР		100,75	1918,23
- отчисления на соц. нужды ИТР (30%)	тыс.руб.	30,22	575,47
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб.	252,19	4801,89
Цеховая (производственная) себестоимость	тыс.руб.	623,44	11870,5
Условно-переменные издержки	тыс.руб.	371,25	7068,61
Условно-постоянные издержки	тыс.руб.	252,19	4801,89

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

$$Ц = 623,44 * 1,2 = 748,13 \text{ руб.}$$

Анализ безубыточности по действующему производству

$$Q_{кр} = 4801,89 / (748,13 - 371,25) = 12741,16 \text{ м}^3$$

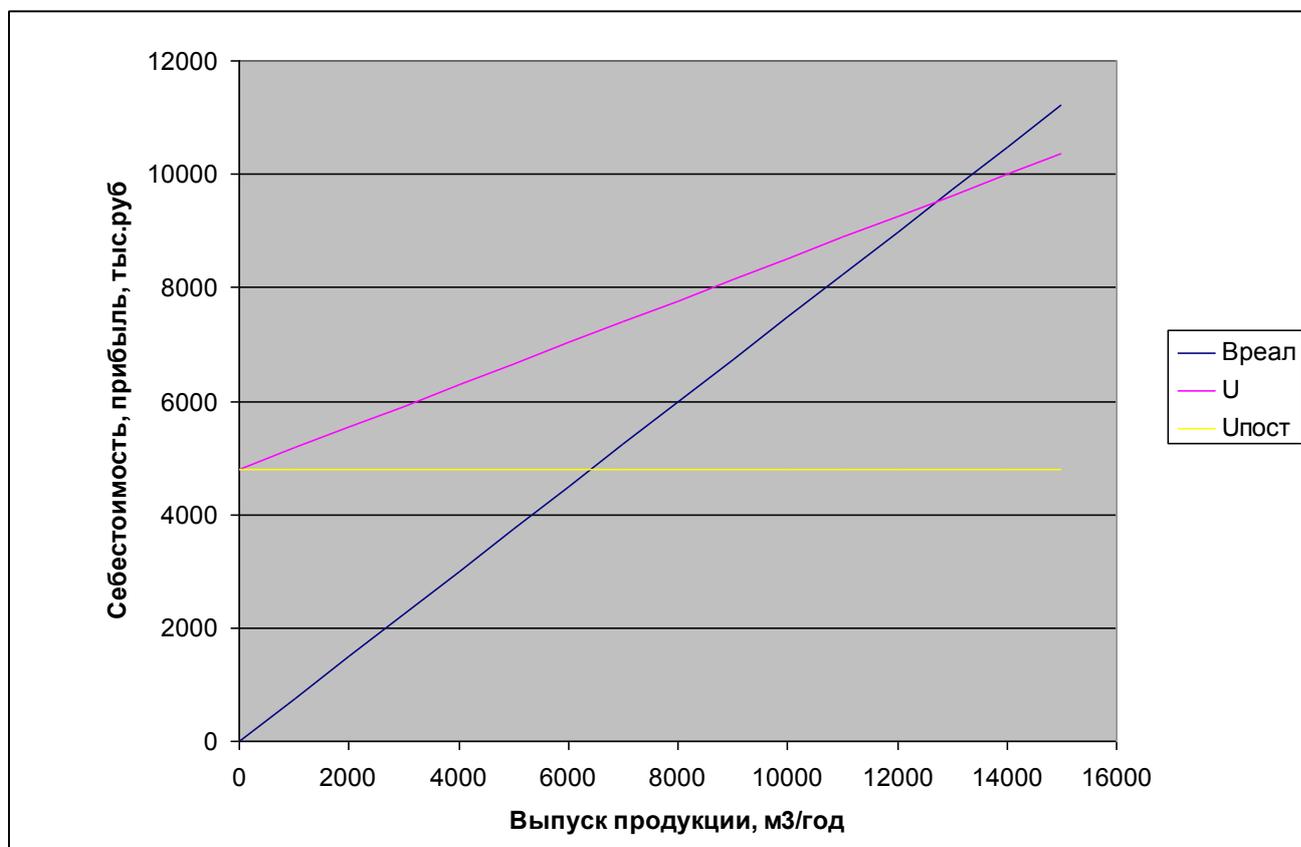


Рисунок 1. График безубыточности

Определение технико-экономических показателей

Таблица 14

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Плановый год
1. Объем производства	м ³	19040
2. Объем продаж	м ³	19040
3. Цена 1 м ³	тыс.руб.	748,13
4. Выручка от реализации	тыс.руб.	14244,40
5. Суммарные издержки	тыс.руб.	11870,5
5.1. Издержки переменные	тыс.руб.	7068,61
5.2. Издержк+и постоянные	тыс.руб.	4801,89
6. Операционная прибыль	тыс.руб.	2373,9
7. Налог на прибыль	тыс.руб.	474,78
8. Чистая прибыль	тыс.руб.	1899,12
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	623,44
10. Стоимость основных средств	тыс.руб.	6352,8
11. Численность основных рабочих	чел.	14
12. Фондовооруженность	тыс.руб./чел.	453,77
13. Фондоотдача	руб./чел.	2,24
14. Фондоемкость	руб./чел.	0,45
15. Производительность труда	тыс.руб./чел.	1017,46
16. Рентабельность производства	%	16
17. Рентабельность продаж	%	13,33
18. Критический объем	м ³	12741,16

продаж		
19. Критический объем продаж	тыс.руб.	9532,04

Вывод

Проведя анализ данной работы я произвел расчет сырья, материалов, оборудование, фонды оплаты труда, рентабельность продаж и показатели фонда отдачи.

1. себестоимости на 1 тонну с 623,44 по 600,53 (на 3,67 %)
2. выручки от реализации с 14244,40 по 15668,83 (на 10 %)
3. чистой прибыли с 1899,12 по 2473,18 (на 30,23 %)
4. выплат по налогам с 474,78 по 618,29 (на 30,23%)
5. показателя фондоотдачи с 2,24 по 2,47 (на 10 %)
6. производительности труда с 1017,46 по 1119,20 (на 10 %)
7. рентабельности производства с 16 по 19,66 (на 22,87 %)
8. рентабельности продаж с 13,33 по 15,78 (на 18,38 %)
9. Точка безубыточности постоянна.

ВЫВОДЫ

В результате выполненного дипломного проекта можно сделать следующие выводы:

1) выполнен обзор истории открытия урана, его применения, физических и химических свойств, приведена характеристика основных веществ, участвующих в процессе, а также рассмотрены вопросы о ядерной чистоте соединений урана и о необходимости очистки его соединений от примесей. Это проводится с помощью аффинажа урана. В связи с этим произведен критический обзор методов аффинажа природного урана, их преимущества и недостатки. Из перечисленных методов очистки урана наиболее технологически приемлемым способом является метод экстракционной очистки;

2) разработана аппаратурно-технологическая схема установки экстракционной очистки концентрата природного урана. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса;

3) спроектирована экстракционная пульсационная колонна с насадкой КРИМЗ и реактор растворения с перемешивающим устройством. Произведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчеты данных аппаратов. При проектировании этих аппаратов по возможности использованы стандартные элементы (фланцы, штуцера и т. д.), повышающие ремонтпригодность оборудования и снижающие затраты на их обслуживание;

4) в разделе безопасность и экологичность рассмотрены опасные и вредные факторы при работе установки и предусмотрены меры по их устранению. Во избежание химических ожогов предусмотрена соответствующая спецодежда, мероприятия по защите от электрического тока заключаются в надежном заземлении, занулении токоведущих частей оборудования, обеспечении их недоступности, организации безопасной эксплуатации электроустановок, для защиты человека от движущихся частей оборудования применяют оградительные, предохранительные системы. Для защиты людей от поражения электрическим током был проведен расчет защитного заземления;

5) в организационно-экономическом разделе произведено планирование планово-предупредительного ремонта основного оборудования, составлен SWOT-анализ производства

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. Учебник для вузов. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
- 2 Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. - 3-е изд., стер. - Москва : Альянс, 2008. - 752 с.
- 3 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалев. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.
- 4 ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 62 с.
- 5 Пишулин В.П., Зарипова Л. Ф., Трошкин В. П. Расчет насадочных колонных экстракторов. – Северск: СГТИ, 2004. – 44 с.
- 6 Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. Учебник для вузов. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
- 7 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 8-е, пер. и доп. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.
- 8 ГОСТ Р 52857.1-2007 "Общие требования"
- 9 ГОСТ Р 52857.2-2007 "НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ"
- 10 ГОСТ 26296-84 Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов.
- 11 ГОСТ Р 52857.5-2007 Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- 12 ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 13 ГОСТ Р 52857.3-2007 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 14 Семакина О.К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли. – Томск: ТПУ, 2002. – 38 с.
- 15 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалев. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.

- 17 Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, М.Б. Клюева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.: ил.
- 18 Ягодин Г. А. Основы жидкостной экстракции. – М.: Химия, 1981. – 400 с.
- 19 Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Часть 1, 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.
- 20 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. – 784 с.
- 21 Галкин Н. П., Тихомиров В. Б. Основные процессы и аппараты технологии урана. – М.: Госатомиздат, 1961. – 220 с.
- 22 Липшина И. И. Уранил и его соединения. – М.: Изд. АН СССР, 1959.
- 23 Аналитическая химия урана. Под ред. Д.И. Рябчикова. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 432 с.
- 24 Марков В.К., Верный Е.А. Уран. Методы его определения. – М.: Атомиздат, 1964. – 503 с.