

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление 18.03.01 Химическая технология \_\_\_\_\_  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М Кижнера \_\_\_\_\_

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование аппарата ИТН для производства аммиачной селитры</b>

УДК 661.525-9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугоффор угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан.В.В	д.х.н, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук. И. В	к.т.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемискина М.С.	к.т.н, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев.В.М	к.т.н, доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01 выпуска 2020 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять базовые математические и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК- 1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; 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.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия , общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК- 3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р9	Активно ладеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Беляев В.М  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Комилову Муроджону Абдугоффор угли

Тема работы:

<b>Проектирование аппарата ИТН для производства аммиачной селитры</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.02.2020г., № 58-47/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является химический реактор для нейтрализации раствора нитрата аммония (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) марка А, высший сорт (ГОСТ 2-2013)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Производительность по продукту, т/год – 450000;</i></li> <li><i>2. Состав сырья: Газообразный аммиак (NH<sub>3</sub> 99-99.9%), азотная кислота (HNO<sub>3</sub> 57-58 %);</i></li> <li><i>3. Продукт: аммиачная селитра марки А высший сорт (ГОСТ 2-2013)</i></li> <li><i>4. Способ организации процесса: непрерывный;</i></li> <li><i>5. Годовой фонд рабочего времени, дн – 333.</i></li> </ol>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы</li> <li>2. Технологическая схема установки по производству аммиачной селитры</li> <li>3. Технологические расчеты реактора для синтеза аммиачной селитры</li> <li>4. Выбор конструкционных материалов</li> <li>5. Механический расчет реактора ИТН</li> <li>6. Поверочный расчет реактора ИТН</li> <li>7. Результаты расчётов реактора синтеза аммиачной селитры</li> <li>8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>9. Социальная ответственность</li> </ol> <p>Заключение</p> <p>Список публикаций студента</p> <p>Список использованных источников</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технологическая схема (А1)</li> <li>2. Реактор. Сборочные единицы (А1)</li> <li>3. Крышка (2)</li> <li>4. Днища (2)</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Конструктивно-механический раздел</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	17.04.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан Владимир Вилорьевич.	д.х.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО		Подпись	Дата
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугоффор угли			

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугоффор угли

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>НОЦ Н.М.Кижнера</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НК РФ)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ. SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и</i> 3. <i>внедрения (НИ)</i>	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Определение финансового и научно-технического эффекта

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценка конкурентоспособности НИ</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Диаграмма Ганта</i> 4. <i>Бюджет НИ</i> 5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>	
---	--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н, ДОЦЕНТ		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугоффор угли		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугоффор угли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

<b>Проектирование аппарата ИТН для производства аммиачной селитры</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является химический реактор с колпачковые тарелками для производства аммиачной селитры.. Аммиачная селитра широко принимается в сельском хозяйстве.</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<i>1.В соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации даны рекомендации по обеспечению компенсаций работникам вредного производства. Предложен закрытый тип компоновки производства. Дан перечень помещений производственного и общественного назначения, необходимых на предприятии. Даны рекомендации по организации эвакуационных выходов. ГОСТ 12.1.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ.</i>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Отклонение показателей микроклимата в помещении</li> <li>- Превышение шума</li> <li>- поражение органов дыхания</li> <li>- поражение кожи.</li> <li>- поражение глаз.</li> <li>- поражение желудочно-кишечного тракта</li> <li>- пожаро- и взрывоопасность</li> <li>- механические травмы</li> <li>- шум и вибрации</li> </ul>

	- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>3. В соответствии с нормами по охране окружающей среды необходимо предусмотреть следующие решения:</p> <p>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); , азот оксид, аммиачный соковый пар , углерод.</p> <p>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы ) отходы; полипропиленовые мешки</p> <p>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы) порошок магнетита, пластиковые контейнеры, полиэтиленовые мешки</p> <p>– организация отвала для вывоза твёрдых осадков аммиачной селитры ,получаемых при чистке и ремонте оборудования (защита атмосферы).</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	4 В качестве возможных чрезвычайных ситуаций для производства определены: пожар, взрыв, химическая авария. В качестве наиболее типичной ЧС выбран пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Комилов Муроджон Абдугаффор угли		

## Оглавление

Реферат .....	12
Введение.....	14
1. Литературный обзор .....	17
1.1 Сырье для получения аммиачной селитры.....	17
1.2 Нейтрализация азотной кислоты при атмосферном давлении.....	20
1.3 Нейтрализация с помощью вакуум-испарителя .....	22
1.4. Нейтрализация азотной кислоты при повышенном давлении .....	25
1.5. Возможные конструкции аппаратов ИТН.....	28
2 Технологический раздел .....	31
2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования .....	31
2.1 Технологический расчет .....	35
2.1.1 Материальный баланс.....	35
2.1.2 Расчет высоты аппарата ИТН .....	39
2.1.3 Расчет диаметров основных штуцеров .....	42
2.1.4 Тепловой расчет аппарата ИТН .....	44
2.1.5 Расчет толщины слоя изоляции .....	47
2.1.6 Расчет вспомогательного оборудования.....	48
3 . Механический расчет.....	53
3.1 Конструирование аппарата .....	53
3.2 Выбор конструкционных материалов.....	55
3.3 Расчёт основных характеристик материала .....	56
3.4 Расчет цилиндрической обечайки .....	58
3.5 Расчет толщины стенки эллиптического крышка и днища .....	60
3.6 Расчет фланца штуцера вывода сокового пара .....	62
3.7 Расчет укрепления отверстия.....	64
3.8 Расчет толщины стенки конического днища .....	67

3.9	Основные полученные результаты .....	68
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	69
4.1.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований .....	69
4.1.2	Потенциальные потребители результатов исследования. Сегментация рынка .....	70
4.1.3	Оценка перспективности разработки.....	72
4.1.4	SWOT-анализ разработки.....	75
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	78
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	78
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	82
4.3	Бюджет научно-технического исследования .....	86
4.3.1	Расчёт материальных затрат НТИ .....	86
4.3.2	Основная заработная плата исполнителей темы .....	89
4.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	91
4.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	91
5.	Накладные расходы и формирование бюджета .....	92
5.1	Оценка научно-технического эффекта разработки .....	95
6.	Социальная ответственность .....	98
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	98
6.1.1	Специальные нормы трудового законодательства.....	98
6.1.2	Компоновка оборудования.....	99
6.2	Производственная безопасность.....	101
6.3	Экологическая безопасность.....	105
6.3.1	Защита селитебной зоны .....	105
6.3.2	Защита атмосферы .....	105

6.3.3 Защита гидросферы.....	106
6.3.4 Защита литосферы .....	106
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
Заключение .....	110
Список использованных источников .....	111

## Реферат

Данная бакалаврская работа состоит из графической части и пояснительной записки, была выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013, графическая часть выполнена в программе Компас 2018. Графическая часть состоит из двух листов формата А1 и одного листа формата А2. Пояснительная записка состоит из 113 страниц, содержит 17 таблиц, 26 рисунков, основана на 77 источниках литературы.

Ключевые слова: аммиачная селитра, реактор, аммиак, азотная кислота, магнезит, нейтрализация, выпарка.

Цель работы – расчет и выбор реактора для нейтрализации аммиачной селитры, который будет удовлетворять всем условиям технологического процесса. Производительность реактора по целевому продукту 450000 т/год

Произведены материальный, тепловой, конструктивный и механический расчеты. Разработана технологическая схема и конструкция основного реактора. В конструктивно механическом расчете были произведены расчеты толщин стенок обечайки, крышки и днища, штуцеров, фланцевых соединений, на прочность, жесткость. Рассчитано шпоночное соединение.

Область применения: предприятия в области промышленного неорганического синтеза.

Экономическая значимость работы: разработанный реактор является наиболее оптимальным средством для проведения реакции нейтрализации аммиачной селитры в суспензии тяжелого растворителя.

## ABSTRACT

This bachelor's work consists of a graphic part and an explanatory note, was made in the Microsoft Word 2013 text editor, the graphic part was made in the Compass 2018 program. The graphic part consists of two sheets of A1 format and one sheet of A2 format. The explanatory note consists of 113 pages, contains 17 tables, 26 figures, based on 77 literature sources

Key words: ammonium nitrate, reactor, ammonia, nitric acid, magnesite, neutralization, evaporation.

The purpose of the work is the calculation and selection of a reactor to neutralize ammonium nitrate, which will satisfy all the conditions of the technological process. The performance of the reactor for the target product 450,000 t / year

Material, thermal, structural and mechanical calculations were made. The technological scheme and design of the main reactor are developed. In a structurally mechanical calculation, shell wall, cover and bottom wall thicknesses, fittings, flange joints were calculated for strength and rigidity. The keyed connection is calculated.

Scope: enterprises in the field of industrial inorganic synthesis.

The economic importance of the work: the developed reactor is the most optimal means for carrying out the neutralization reaction of ammonium nitrate in a suspension of a heavy solvent.

## Введение

“ Farg’onaazot ” акционерное общество "Азот" является одним из крупнейших производителей минеральных удобрений в Республике Узбекистан.

На предприятии производятся следующие виды продукции:

Аммиак безводный сжиженный

Двуокись углерода газообразная и жидкая в баллонах

Кислород технический газообразный в баллонах

Аммиачная селитра гранулированная

Карбамид гранулированный

Удобрения жидкие азотные (КАС)

Азотно-фосфорное удобрение (АФУ)

Жидкие азотно-кальциевые удобрения (ЖАКУ)

Суперфосфат

Аммиачная селитра (нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) широко применяется в сельском хозяйстве как простое азотное удобрение и является перспективным компонентом для приготовления комплексных удобрений.

Для нормального развития растений требуются многие химические элементы. Особенно большая роль принадлежит азоту. Без него не может нормально развиваться ни одно растение. При выращивании высокоурожайных культур значение азотных удобрений резко возрастает. Аммиачная селитра является самым распространенным видом азотных удобрений. Ее применяют практически под все технические культуры (хлопчатник, сахарная свекла, лен, чай и др.), а также под зерновые и овощные культуры.

Аммиачная селитра имеет ряд преимуществ перед другими азотными удобрениями. Она содержит 34,5% азота и в этом отношении уступает только карбамиду  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , содержащему 46% азота. Однако каждое из азотных удобрений содержит азот только в одной форме - аммонийной или нитратной. Аммиачная селитра является универсальным азотным удобрением, так как содержит одновременно и аммонийную и нитратную

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат







Конечная цель производства - получение твердого нитрата аммония, поэтому на этапе нейтрализации необходимо получать наиболее концентрированные растворы  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . В дальнейшем, это позволит упростить и удешевить процесс выпаривания раствора до качества безводного плава. Для проведения процесса нейтрализации оптимальные

условия определяются при анализе совместного влияния концентрации азотной кислоты, температуры и давления в реакторе. Растворы высокой концентрации получают с использованием азотной кислоты высокой концентрации и подогревом исходных реагентов. Новейшие технологии получения аммиачной селитры позволяют полностью использовать тепло реакции нейтрализации для выпаривания воды из раствора аммиачной селитры [1].

Использование азотной кислоты очень высокой концентрации (63%) и подогрева (100-110°C) исходных реагентов позволяет получать в процессе нейтрализации безводные плавы. Тем не менее, вероятность использования данного процесса лимитируется развивающейся в нейтрализаторе высокой температурой. При увеличении температуры нейтрализации начинают повышаться потери азота вследствие процессов разложения азотной кислоты и аммиачной селитры. При высоких температурах такое существенное повышение давления паров аммиачной селитры приводит к ее уносу с соковым паром в аэрозольной форме [3].

Повышенные температуры процесса нейтрализации обуславливают особые требования к коррозионной устойчивости материала реактора. Если температура в зоне реакции не более 140 °C, то допустимым материалом может быть сталь 08X18НГ10Т. В интервале температур 140-170°C используют более дорогостоящую низкоуглеродистую хромоникелевую сталь 03X18Н11. Для более высоких температур требуется использовать титан [5].

Давление в процессе нейтрализации определяет температуру в зоне реакции. В этом случае имеет смысл снижение температуры в зоне реакции, и,

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

таким образом, целесообразно осуществлять нейтрализацию в условиях низких давлений и вакуума [4].

В самых распространенных аппаратах процесс нейтрализации реализуют при давлениях, близких к атмосферному, когда избыточное давление сокового пара составляет 5-20 кПа). К особенностям технологии нейтрализации под атмосферным давлением относят простоту схемы и применение газообразного аммиака, подаваемом из цеха синтеза аммиака выдается под давлением (>200–300 кПа). При атмосферном давлении процесса и при концентрации азотной кислоты < 50% соковый пар можно применять в стадии дополнительного упаривания растворов под вакуумом, таким образом дважды используя теплоту реакции нейтрализации [1].

В аппаратах часто используют аммиаксодержащие газовые смеси (танковые, продувочные газы аммиачного производства или газы дистилляции производства карбамида [3]. Усложнение схемы стадии нейтрализации ограничивает возможности осуществления процесса нейтрализации в условиях вакуума. Кроме того, в данном случае полезное использование тепла сокового пара не возможно, что, в конечном итоге, уменьшает конкурентоспособность процесса.

Довольно часто нейтрализацию азотной кислоты аммиаком проводят под повышенным давлением. Здесь имеются преимущества, связанные с возможностью уменьшения размеров нейтрализаторов, промывателей сокового пара, получения сокового пара с более высоким потенциалом. Эти преимущества, как правило, экономически нецелесообразны, так как требуется использовать не газообразный, а жидкий аммиак. Следует учесть аспект усложнения схемы и снижения возможности использования сокового пара.

С другой стороны, при использовании 47-49%-ной азотной кислоты реально двукратно использовать тепло реакции нейтрализации, когда давление сокового пара близком к атмосферному, при этом получают растворы  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  концентрацией 82-85%.

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Использование более концентрированной азотной кислоты (58 –60% HNO<sub>3</sub>) с предварительным подогревом исходного сырья дает возможность при атмосферном давлении получить раствор высокой концентрации (до 92–95% NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Поэтому в настоящее время нейтрализация под повышенным давлением не получила широкого распространения в промышленности [9].

Однако дальнейшее укрупнение единичной мощности агрегатов для получения аммиачной селитры, а также необходимость изыскания путей полезного использования тепла сокового пара, который в случае применения 58 –60%-ной азотной кислоты получается в большом количестве и не может быть полностью использован в производстве аммиачной селитры, делают все более актуальной разработку рациональной схемы нейтрализации азотной кислоты аммиаком под повышенным давлением. Целью такой разработки должен явиться как выбор оптимального давления процесса нейтрализации, так и схемы очистки сокового пара от примесей аммиачной селитры, следов аммиака и азотной кислоты[4].

## 1.2 Нейтрализация азотной кислоты при атмосферном давлении

Наиболее распространенная в нашей стране схема нейтрализации: под атмосферным давлением изображена на рисунке 1.1.

Согласно данной схеме, подача азотной кислоты (47÷54%) осуществляется в напорный бак 1. Далее посредством автоматического регулятора расхода поступает в аппарат ИТН 4. Из цеха синтеза аммиака подается газообразный аммиак (P=200÷300 кПа). Затем аммиак проводят через сепаратор 3 и подогреватель 2, чтобы избежать попадания жидкого аммиака в ИТН.

На входе в цех стабилизация давления газообразного аммиака осуществляется с использованием автоматического регулятора. Автоматическое регулирование расхода аммиака в нейтрализаторе производится из соотношения с азотной кислотой, а корректировка происходит с учетом pH раствора на выходе из ИТН.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Изм. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Литературный обзор	Лист
						20
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		

Название аппарата ИТН (использование тепла нейтрализации) связано с новыми технологиями, когда стали применять тепло реакции отводилось для упаривания растворов [11].

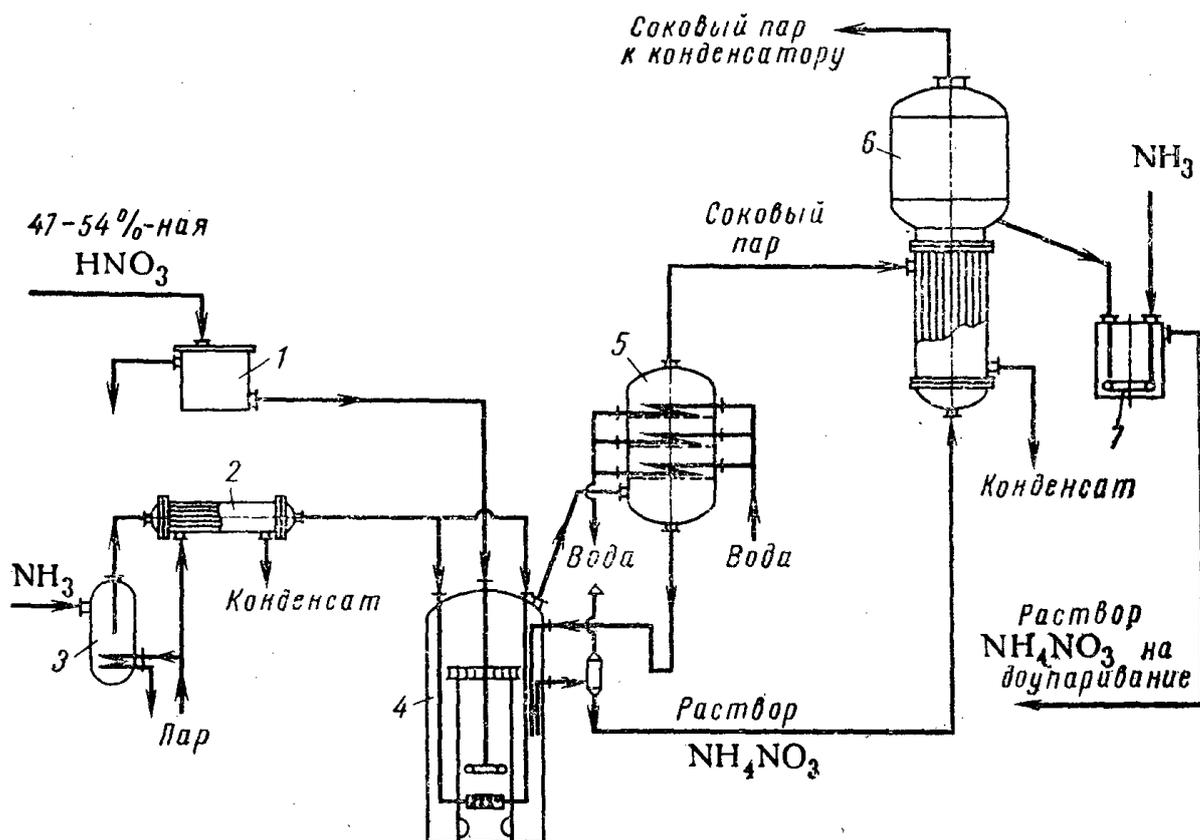


Рис. 1.1 – Нейтрализация  $\text{HNO}_3$  при атмосферном давлении:

1 – бак для азотной кислоты; 2 – подогреватель аммиака; 3 – сепаратор жидкого аммиака; 4 – аппарат ИТН; 5 – ловушка-промыватель сокового пара; 6 – вакуумный выпарной аппарат I степени; 7 – донейтрализатор.

Так как стабильно поддерживать стехиометрическое соотношение  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NH}_3$  на входе в аппарат ИТН проблематично, то для решения данной проблемы на выходе в растворе оставляют определенный избыток (порядка  $2 \div 3$  г/л) азотной кислоты. Избыток аммиака в выходящем растворе приводит к значительному загрязнению сокового пара. Полное поглощение аммиака производится за счет

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

избытка азотной кислоты. При слабощелочном режиме пары азотной кислоты существенно меньше загрязняют соковый пар значительно ниже, чем аммиак [12].

Избыток азотной кислоты контролируется и поддерживается автоматически с использованием рН-метра, который входит в схему автоматического дозирования азотной кислоты. Раствор аммиачной селитры поступает из нейтрализатора ИТН в вакуумный выпарной аппарат. Соковым паром из ИТН упаривается около 82–86%. Исходя из условий безопасности, для дальнейшего доупаривания необходимо подавать нейтральный или слабощелочной раствор селитры. Поэтому раствор подвергается донейтрализации аммиаком в аппарате 7 после выпаривания I ступени. Система автоматического контроля рН-среды помогает поддерживать избыток аммиака на выходе из донейтрализатора < 0.1 г/л [14].

Аммиачная селитра, аммиак или пары азотной кислоты могут загрязнять соковый пар на выходе из нейтрализатора. Промыватель (5) с тремя тарелками ситчатого типа, на которых уложены водоохлаждаемые змеевики, используется для очищения сокового пара. Часть сокового пара конденсируется, на тарелках создается слой конденсата, барботируя через который соковый пар промывается. Эмпирически установлено, что после промывка сокового пара позволяет снижать содержание аммиачной селитры не выше 0,5÷1 г/л [15].

В СНГ крупнотоннажные аппараты строят для производства аммиачной селитры с использованием нейтрализации азотной кислоты при атмосферном давлении [13].

### 1.3 Нейтрализация с помощью вакуум-испарителя

При использовании вакуума в процессе нейтрализации азотной кислоты особенность взаимодействия аммиака с азотной кислотой связана тем, что оно разделено со стадией выпаривания воды из раствора за счет тепла реакции нейтрализации [17]. Данный подход дает возможность избежать попадания непрореагировавших инертных газов в соковый пар. Таким образом более

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

эффективно проходит его конденсация и снижается уровень необходимой производительности вакуум-насосов.

В данном случае процесс нейтрализации аммиака организуется при атмосферном давлении, в то время как испарение воды из раствора аммиачной селитры производится в вакуум-испарителе. Следует отметить циркуляцию значительных потоков раствора между нейтрализатором и вакуум-испарителем.

Количество циклов циркуляции раствора может рассчитываться исходя из допущения, что температура раствора в нейтрализаторе, которые нагревается за счет тепла реакции нейтрализации, меньше температуры кипения раствора аммиачной селитры при атмосферном давлении. Как правило, речь идет о 10÷45 объемов на 1 объем получаемого раствора. Таким образом удастся избежать кипение раствора в зоне реакции.

В вакуум-испарителе происходит испарение воды: раствор аммиачной селитры вскипает, перегретый по отношению к температуре кипения при подобранное глубине вакууме (80–87 кПа) [17].

В случае применения чистого газообразного аммиака подобные схемы нейтрализации не применяются, в связи с тем, что невозможно использование тепла сокового пара, удаляемого из раствора под вакуумом. В то же время, применение аммиак-содержащих газовых смесей (газов дистилляции из цехов карбамида, продувочных газов) делает применение таких вариантов возможным:

- соковый пар смешивается с инертными газами исходных газовых смесей и все равно не может быть использован;
- при применении вакуум-испарителя и снижении температуры в зоне реакции инертные газы после поглощения аммиака выбрасываются в атмосферу с меньшим содержанием вредных примесей; повышается степень поглощения аммиака [15].

Получение раствора аммиачной селитры с использованием газов дистилляции из цеха карбамида в качестве сырья схематично представлено на

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	<i>Литературный обзор</i>

рис.1.2. Аналогично технология построена при применении танковых и продувочных газов производства аммиака.

В скруббер-нейтрализатор 1 с насадкой из колец Рашига (полуфарфор, сталь) под давлением (20-30 кПа) подаются аммиакосодержащие газы [1].

Циркулирующий раствор аммиачной селитры, смешанный в аппарате 2 с азотной кислотой (47-49%), поступает сверху противотоком. Температура смеси на входе - 70-75°C. В нейтрализаторе поддерживается температура 90-100 °С, т. е. ниже температуры кипения 62-64%-ного циркулирующего раствора.

Из скруббера-нейтрализатора 1 раствор аммиачной селитры стекает в гидрозатвор 3, разделенный вертикальной перегородкой на две части. Из гидрозатвора раствор засасывается в вакуум-испаритель 4, в котором поддерживается вакуум 80-87 кПа. Здесь происходит вскипание раствора и охлаждение его до 70-75°C (температура кипения 63-66%-ного раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  при вакууме 80-87 кПа). Охлажденный раствор стекает в сборник 5, откуда насосом 6 подается в скруббер-нейтрализатор [2].

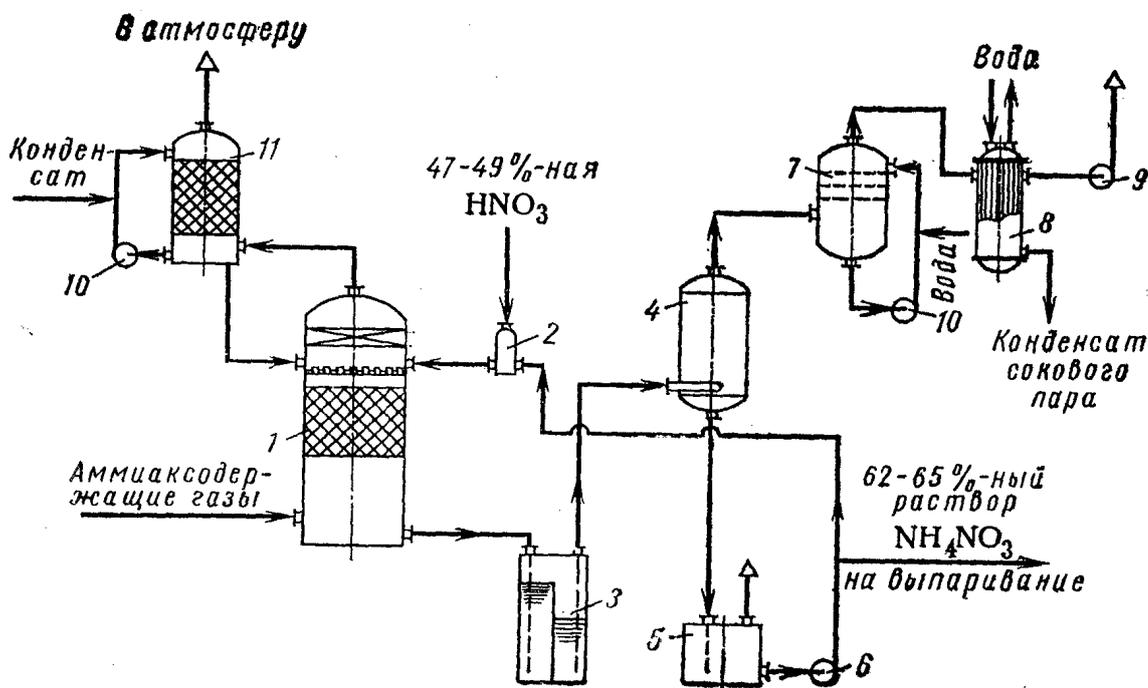


Рисунок 1.2 – Схема нейтрализации с использованием вакуум-испарителя:

1 – скруббер-нейтрализатор; 2 – смеситель; 3 – гидрозатвор с воздушником; 4 – вакуум-испаритель; 5 – сборник; 6 – насос; 7 – промыватель

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

сокового пара; 8 –конденсатор; 9 – вакуум-насос; 10 – циркуляционный насос;  
11 – промыватель.

Часть раствора, соответствующая выработке, из линии нагнетания насоса 6 отбирается на дальнейшую переработку (донецитрализацию, упаривание и гранулирование). Соковый пар из вакуум-испарителя направляется в промыватель 7 для очистки от примесей аммиачной селитры, затем поступает в конденсатор 8.

В скруббере 1 инертные газы попадают в брызгоотбойники. Далее проходят в промыватель 11, где очищаются от брызг селитры, от аммиака или паров азотной кислоты, после чего выходят в атмосферу.

Для концентрирования раствора аммиачной селитры в технологии с вакуум-испарителем подразумевается полное использование тепла реакции нейтрализации. При использовании вакуум-испарителя концентрация получаемого раствора, когда концентрации азотной кислоты и одинаковой степени подогрева исходных реагентов одинаковы, может быть немного больше, чем при нейтрализации в ИТН. Тем не менее, тепло сокового пара в данном случае не используется [4].

#### 1.4. Нейтрализация азотной кислоты при повышенном давлении

На промышленных предприятиях СНГ подобные подходы получения аммиачной селитры не используются на данный момент. В том же время, некоторые иностранные компании применяют аппараты, где нейтрализация в зависимости от концентрации азотной кислоты от 49 до 57% проводится при  $P=350-600$  кПа. Наиболее применяемый вариант, когда нейтрализацию осуществляют при давлении 350 кПа, используя при этом концентрации азотной кислоты порядка 56-57 % [3].

На рисунке 1.3 изображена принципиальная схема нейтрализации 56%-ной азотной кислоты под давлением 350 кПа.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Азотная кислота поступает в нейтрализатор 1 без предварительного подогрева. Жидкий аммиак испаряется в испарителе 2 атмосферным воздухом (ох-лажденный воздух используется для охлаждения гранул аммиачной селитры в аппарате с псевдооживленным слоем) или в испарителе 3 конденсатом сокового пара. В нейтрализаторе 1 при температуре около 180 °С образуется раствор концентрацией примерно 78%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , который направляется в выпарной аппарат 5, обогреваемый соковым паром из нейтрализатора 1. Соковый пар предварительно проходит сепаратор 4.

В выпарном аппарате поддерживается вакуум (остаточное давление около 30 кПа). Раствор упаривается до 95%, стекает в сборник 6, откуда насосом 7 подается на доупарочные аппараты, установленные в верхней части грануляционной башни.

Соковый пар из выпарного аппарата 5 конденсируется в водяном конденсаторе 8.

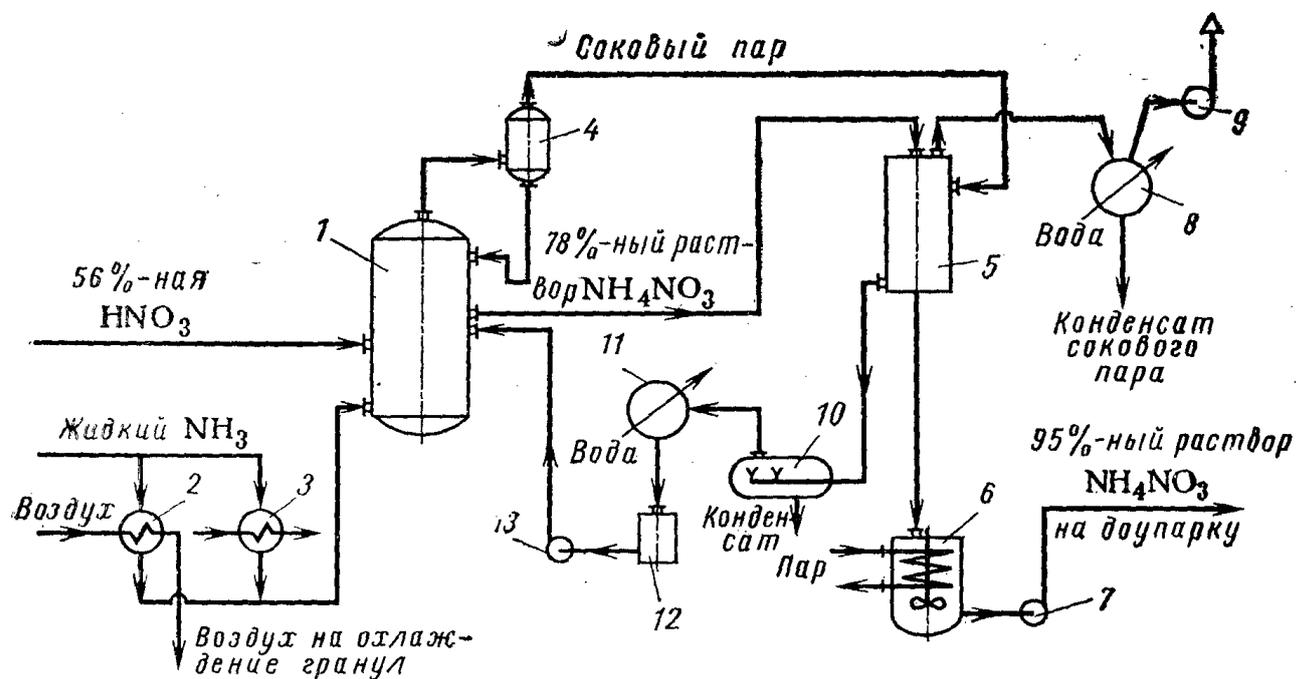


Рисунок 1.3 – Организация нейтрализации азотной кислоты под давлением:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

1 – нейтрализатор; 2, 3 – испарители аммиака; 4 – сепаратор; 5 – выпарной аппарат; 6 – сборник; 7 – насос; 8 – конденсатор; 9 – вакуум-насос; 10. – сборник; 11 – конденсатор вторичного пара; 12 – сборник; 13 – насос.

Процессы нейтрализации азотной кислоты при повышенном давлении характеризуются необходимостью сохранения в нейтрализаторе щелочной среды. Это дает возможность снизить коррозионное влияние среды на материал нейтрализатора. Кроме того повышает безопасную составляющую процесса, однако приводит к значительному повышению содержания аммиака в соковом паре [8].

Из выпарного аппарата конденсат сокового пара дросселируется в сборник 10, в котором он вскипает. Таким образом, начинается процесс выпаривания.

Процесс организуется так, что растворенный аммиак подвергается удалению вместе с парами. Далее необходимо упомянуть процессы вторичного вскипания. Пар вторичного вскипания конденсируется в конденсаторе 11 и насосом 13 подается в нейтрализатор 1 с содержанием аммиака 10–12 г/л.

Основное количество конденсата сокового пара содержит до 2 г/л аммиака. После нейтрализации азотной кислотой конденсат сокового пара с содержанием до 10 г/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  направляется на орошение абсорбционных колонн производства азотной кислоты [8].

Расход аммиака на 1 т  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в такой установке достигает 220 кг, т. е. значительно выше, чем на отечественных установках с нейтрализацией под атмосферным давлением в кислой среде.

Этот процесс может быть усовершенствован. Например, соковый пар, выходящий из нейтрализатора, может быть подвергнут промывке в тарельчатом промывателе кислым раствором аммиачной селитры; соответственно будут снижены потери аммиака и загрязненность конденсата сокового пара [6].

В этом процессе выгодно также вести предварительный подогрев азотной кислоты за счет тепла сокового пара из нейтрализатора. Такой прием позволяет использовать азотную кислоту более низкой концентрации с получением в

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

конечном итоге (после выпаривания) раствора аммиачной селитры той же концентрации (95%).

Приведенные выше варианты связаны с возможным двукратного применения тепла нейтрализации при концентрации азотной кислоты на уровне 55÷57%. Это дает возможность экономить свежий пар в процессе доупаривания растворов [3].

### 1.5. Возможные конструкции аппаратов ИТН

Известны различные конструкции аппаратов использования теплоты нейтрализации. Рассмотрим аппарат ИТН, который представлен на рис. 1.4.

Он включает в себя цилиндрический сосуд 1, в котором установлен реакционный стакан 2. Азотная кислота и газообразный аммиак подаются в барботеры 3 и 4, расположенные в реакционном стакане друг над другом[1].

Особая роль в функционировании аппарата использования теплоты нейтрализации отводится барботерам. Эти элементы обеспечивают встречную подачу реагентов в диспергированном состоянии.

Следует отдельно рассмотреть конструкцию реакционного стакана в аппарате ИТН. Это часть аппарата внизу имеет отверстия 5, через которые в стакан подается циркулирующий раствор аммиачной селитры. Сверху реакционный стакан закрывается крышкой-завихрителем 6. Он предназначен для того, чтобы через его лопасти парожидкостная смесь подавалась в сепарационную зону аппарата использования теплоты нейтрализации. Использование такого приема позволяет придавать парожидкостной смеси направление движения в сторону периферийной части аппарата [1]. Таким образом организовано функционирование реакционного стакана.

В реакционной зоне соковый пар отделяется от раствора, который заполняет кольцевое пространство между корпусом аппарата и реакционным стаканом [2].

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

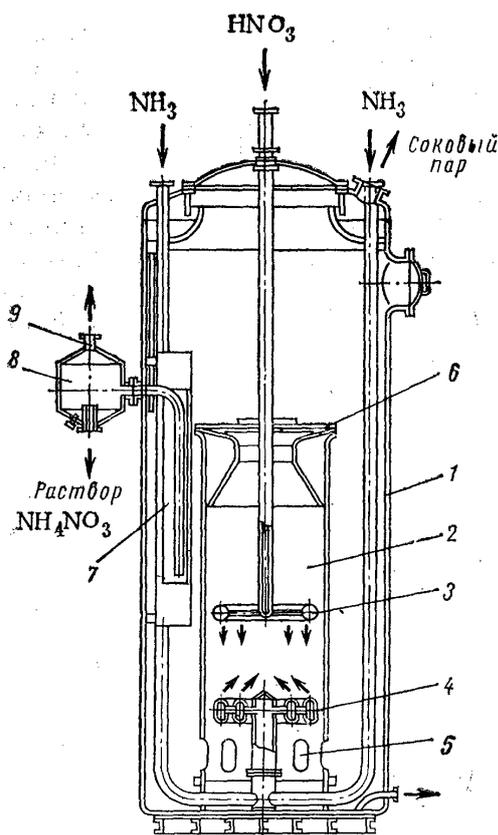


Рисунок 1.4 – Аппарат ИТН:

1 – корпус аппарата; 2 – реакционный стакан; 3 – барботер азотной кислоты; 4 – барботер аммиака; 5 – отверстия для циркуляции раствора; 6 – крышка-завихритель; 7 – гидрозатвор; 8 – сепаратор; 9 – штуцер вывода сокового пара.

Рассмотрим схему циркуляции раствора в аппарате ИТН современного типа. Раствор циркулирует за счет подъемной силы, возникающей в реакционной части за счет процессора парообразования. Кратность циркуляции зависит от интенсивности парообразования. Интенсивность может увеличиваться с ростом концентрации азотной кислоты. Кратность циркуляции также можно связывать с величиной зазора между крышкой и стаканом. Стоит отметить, что циркулирование в целом положительно влияет на полноту реакции нейтрализации. Однако необходимо отметить, что оптимальная кратность циркуляции и способы ее достижения зависят от конструкции аппарата, и параметров технологического режима [4].

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Движение сокового пара и раствора аммиачно селитры характеризуется следующими моментами. На выходе из аппарата ИТН соковый пар проходит через штуцер под давлением 5-20 кПа, при этом раствор аммиачной селитры выходит через гидрозатвор 7 и сепаратор 8.

Данная конструкция аппаратов использования теплоты нейтрализации характеризуется параметрами: производительность - до 600 т/сут  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  при наружном диаметре 2600 мм, до 750 т/сут - при диаметре 3200 мм. Эти параметры характерны для современных установок.

При использовании 47–49%-ной азотной кислоты без предварительного подогрева в аппарате ИТН получают раствор концентрацией 62–65%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , при использовании 54%-ной кислоты – 72–80%-ный раствор; температура нейтрализации соответственно ~ 120 и 130 °С [5].

На отечественных предприятиях по производству аммиачной селитры в установках типа АС-72 применяются аппараты использования теплоты нейтрализации другой конструкции. Один из них представлен на рис. 2.2.

За аналог была взята схема производства аммиачной селитры АС-72 (рис. 2.1) и аппарат ИТН с колпачковыми тарелками (рис.2.2), работающая на различных предприятиях СНГ. Данная схема хорошо зарекомендовала себя и работает достаточно эффективно.

Инв. № подп	Подп. и дата
	Взам. инв. №
	Инв. № дубл.
	Подп. и дата
	Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

## 2 Технологический раздел

### 2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования

Схема установки производства аммиачной селитры показана на рисунке 2.1.

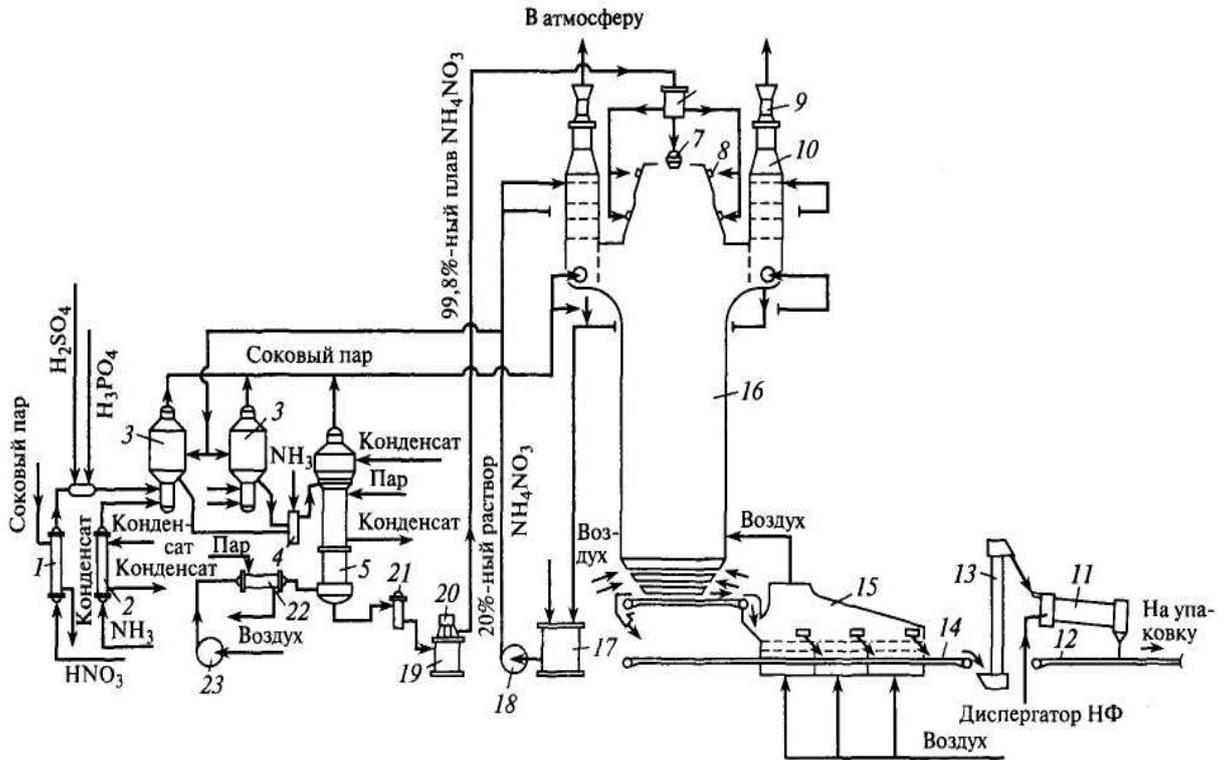


Рисунок 2.1 – Схема агрегата по производству аммиачной селитры АС–72:

- 1 – подогреватель кислоты; 2 – подогреватель аммиака; 3 – аппараты ИТН;  
 4 – донейтрализаторы; 5 – выпарной аппарат; 6 – напорный бак; 7,8 - грануляторы;  
 9,23 – вентиляторы; 10 – промывной скруббер; 11 – барабан; 12, 14 – транспортеры;  
 13 – элеватор; 15 – аппарат кипящего слоя; 16 – грануляционная башня;  
 17 – сборник; 18,20 – насосы; 19 – бак для плава; 21 – фильтр для плава; 22 –  
 подогреватель воздуха

По  
Взам  
И  
Подп. и дата  
ИЗВ

**ФЮРА.ИТН.00.00.00. ПЗ**

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Комилов.М.А		
Пров.		Ан.В.В		
Т. контр.		Беляев.В.М		
Н. контр.				
Уте.				

**Технологический раздел**

Лит	Лист	Листов
	31	

В современном крупнотоннажном агрегате по производству аммиачной селитры АС-72 мощностью 1360 т/сут. исходная 55 – 60 %-ная азотная кислота подогревается в подогревателе 1 до 70– 80 °С соковым паром из аппарата ИТН 3 и подается на нейтрализацию. Перед аппаратами 3 к азотной кислоте добавляют фосфорную и серную кислоты в таких количествах, чтобы в готовом продукте содержалась 0,3 – 0,5 %  $P_2O_5$  и 0,05 – 0,2 % сульфата аммония [6].

В агрегате установлены два аппарата ИТН, работающие параллельно. Кроме азотной кислоты в них подают газообразный аммиак, предварительно нагретый в подогревателе 2 паровым конденсатом до 120 – 130 °С. Количество подаваемых азотной кислоты и аммиака регулируют таким образом, чтобы на выходе из аппарата ИТН раствор имел небольшой избыток кислоты (2 – 5 г/л), обеспечивающий полноту поглощения аммиака.[3]

В нижней части аппарата происходит реакция нейтрализации при температуре 140 – 165 °С. Получается концентрированный раствор, содержащий 80– 85 %  $NH_4NO_3$ . В верхней части аппарата водяные пары (так называемый соковый пар) отмываются от брызг аммиачной селитры и паров азотной кислоты. Часть теплоты сокового пара используется на подогрев азотной кислоты. Затем соковый пар направляют на очистку и выбрасывают в атмосферу[6].

Кислый раствор аммиачной селитры направляют в донейтрализатор 4, куда поступает аммиак, необходимый для взаимодействия с оставшейся азотной кислотой. Затем раствор подают в выпарной аппарат 5. Полученный плав, содержащий 98 – 99 % селитры, при 175-185 °С проходит фильтр 21 и центробежным погружным насосом 20 подается в напорный бак 6, а затем в прямоугольную металлическую грануляционную башню 16.

В верхней части башни расположены грануляторы 7 и 8, в нижнюю часть которых подают воздух, охлаждающий падающие сверху капли селитры. Во время падения капель селитры с высоты 50 – 55 м при обтекании их потоком воздуха образуются гранулы удобрения. Температура гранул на выходе из башни равна 90 – 110 °С; горячие гранулы охлаждают в аппарате кипящего

Ине. № подл.	
Подп. и дата	
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	<b>Технологический раздел</b>	Лист
						32

слоя 15. Это прямоугольный аппарат, имеющий три секции и решетку с отверстиями. Под решетку вентиляторами подают воздух [3].

Создается псевдо-оживленный слой гранул селитры, поступающих по транспортеру из грануляционной башни. Воздух после охлаждения попадает в грануляционную башню. Гранулы аммиачной селитры транспортером 14 подают на обработку поверхностно-активными веществами во вращающийся барабан 11. Затем готовое удобрение транспортером 12 направляют на упаковку [3].

Воздух, выходящий из грануляционной башни, загрязнен частицами аммиачной селитры, а соковый пар из нейтрализатора и паровоздушная смесь из выпарного аппарата содержат не прореагировавший аммиак и азотную кислоту, а также частицы унесенной аммиачной селитры [4].

Для очистки этих потоков в верхней части грануляционной башни расположены шесть параллельно работающих промывных скрубберов тарельчатого типа 10, орошаемых 20–30 %-ным раствором аммиачной селитры, которая подается насосом 18 из сборника 17.

Часть этого раствора отводится в нейтрализатор ИТН для промывки сокового пара, а затем подмешивается к раствору селитры, и, следовательно, используется для выработки продукции. Очищенный воздух отсасывается из грануляционной башни вентилятором 9 и выбрасывается в атмосферу [1].

В отечественных установках производства аммиачной селитры используется аппарат, показанный на рисунке 2.2.

Реактор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из реакционной и сепарационной зон [1].

В реакционной зоне имеется стакан 1, в нижней части которого расположены отверстия для циркуляции раствора. Несколько выше отверстий внутри стакана размещен барботер 2 для подачи газообразного аммиака, над ним – барботер 3 для подачи азотной кислоты. Реакционная парожидкостная смесь выходит из верхней части реакционного стакана [2].

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Часть раствора выводится из аппарата ИТН и поступает в донейтрализатор, а оставшая часть (циркуляционная) вновь идет вниз. Выделившийся из парожидкостной смеси соковый пар отмывается на колпачковых тарелках от брызг раствора аммиачной селитры и паров азотной кислоты 20%-ным раствором селитры, а затем конденсат сокового пара [3].

Теплота реакции используется для частичного испарения воды из реакционной смеси. Разница в температурах в разных частях аппарата приводит к более интенсивной циркуляции реакционной смеси.

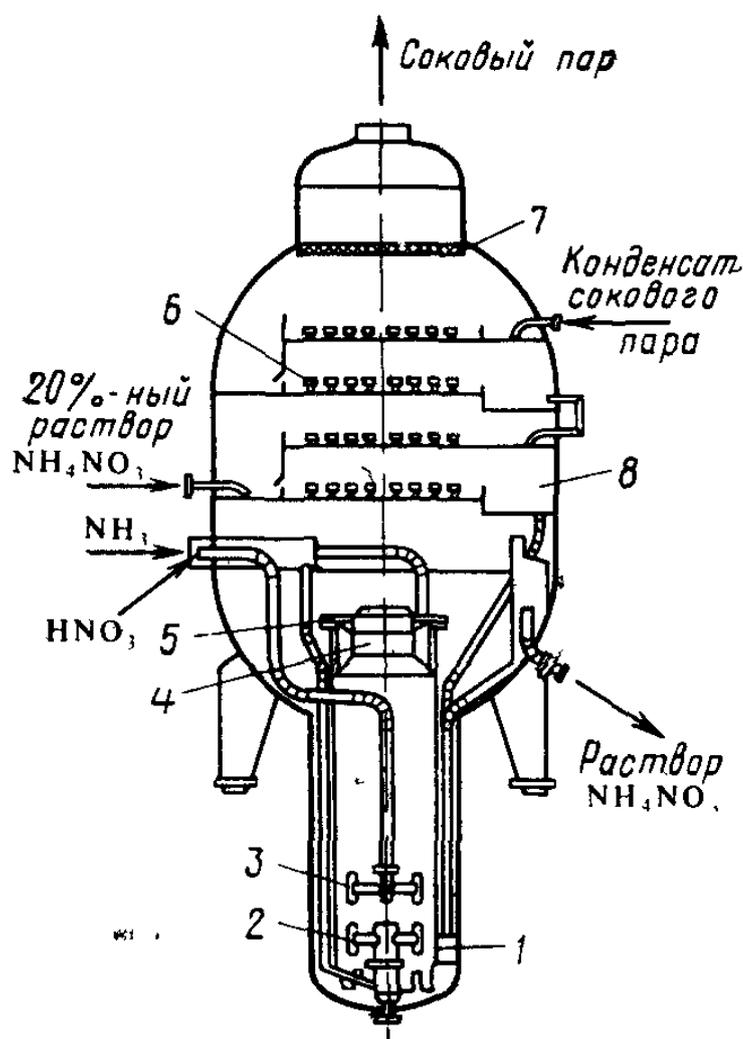


Рисунок 2.2 – Аппарат ИТН:

- 1 – реакционный стакан; 2 – барботер аммиака; 3 – барботер азотной кислоты;  
 4 – диффузор; 5 – завихритель, 6 – колпачковая тарелка; 7 – брызгоотбойник;  
 8 – промыватель

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

## 2.1 Технологический расчет

Так как в технологической схеме установлены два ИТН аппарата всей производительностью 50 т/ч, то получим материальный баланс процесса нейтрализации азотной кислоты 56% концентрации аммиака в одном аппарате ИТН производительностью 25 т/ч, для решения расходных коэффициентов исходных реагентов и для итога основных геометрических размеров аппарата ИТН.

### 2.1.1 Материальный баланс

Исходные данные:

Производительность одного аппарата ИТН – 25 т/ч;

Концентрации азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$  -56 %;)

Концентрации газообразный аммиак ( $\text{NH}_3$  -100 %;)

потери азотная кислота на 1000 кг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  -7-7,5 кг

Потери аммиак на 1000 кг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  -2- 2,5 кг;

Начальная температура аммиака ( $\text{NH}_3$ ) - 120 °С

Начальная температура азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) – 80 °С

Процесса нейтрализации схема к материального баланса показано на рисунке.2.3

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Технологический раздел	Лист
											35

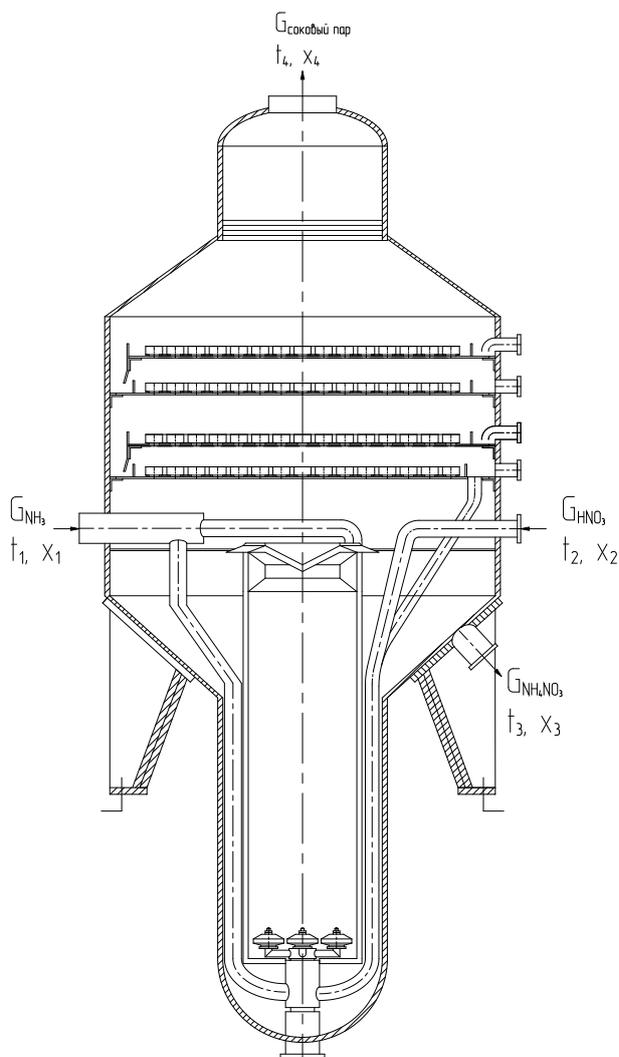
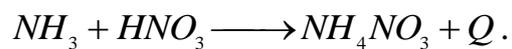


Рисунок 2.3 – Схема к материального баланса

По уравнения реакции нейтрализации [11]



Найдем расход аммиака и азотной кислоты на 1000 кг  $NH_4NO_3$ .

Расходы:

расход аммиака [9].

$$G_{NH_3} = \frac{1000M_{NH_3}}{M_{NH_4NO_3}}; \quad (2.1)$$

расход азотной кислоты [9].

$$G_{HNO_3} = \frac{1000M_{HNO_3}}{M_{NH_4NO_3}}, \quad (2.2)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

где  $M_{NH_3} = 17$  (H=1, N=14) – молекулярная масса  $NH_3$ ;

$M_{HNO_3} = 63$  (O = 16) – молекулярная масса  $HNO_3$ ;

$M_{NH_4NO_3} = 80$  – молекулярная масса  $NH_4NO_3$ .

Тогда:

$$G_{NH_3} = \frac{1000 \cdot 17}{80} = 212,5 \text{ кг};$$

$$G_{HNO_3} = \frac{1000 \cdot 63}{80} = 787,5 \text{ кг}.$$

Практический расход аммиака и кислоты будет отличаться от теоретического. Практический расход реагентов с учетом потерь: [5].

Аммиак:

$$G_{NH_3}^{\Pi} = G_{NH_3} + G_{NH_3}^{Пот}, \quad (2.3)$$

где  $G_{NH_3}^{Пот} = 2,5 \text{ кг}$  – потери аммиака на 1000 кг  $NH_4NO_3$

$$G_{NH_3}^{\Pi} = 212,5 + 2,5 = 215 \text{ кг}.$$

Азотная кислота:

$$G_{HNO_3}^{\Pi} = G_{HNO_3} + G_{HNO_3}^{Пот}, \quad (2.4)$$

где  $G_{HNO_3}^{Пот} = 7,5 \text{ кг}$  – потери  $HNO_3$  на 1000 кг  $NH_4NO_3$

$$G_{HNO_3}^{\Pi} = 787,5 + 7,5 = 795 \text{ кг}.$$

Для получения 25 т/ч аммиачной селитры требуется определенное количество аммиака и кислоты, найденное по формуле:

$$G^T = M_A \cdot G^{\Pi}, \quad (2.5)$$

где  $M_A$  – производительность аппарата, т/ч;

$G^{\Pi}$  – практический расход реагента;

$$G_{NH_3}^T = M_A \cdot G_{NH_3}^{\Pi} = 20 \cdot 215 = 4300 \text{ кг/ч} = 4,300 \text{ т/ч}; \quad (2.6)$$

$$G_{HNO_3}^T = M_A \cdot G_{HNO_3}^{\Pi} = 20 \cdot 795 = 15900 \text{ кг/ч} = 15,900 \text{ т/ч}. \quad (2.7)$$

При указанной часовой производительности потери аммиака составляет:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Технологический раздел	Лист
												37

$$G_{NH_3}^{IP} = G_{NH_3}^T - G_{NH_3} \cdot M_A = 4300 - 212,5 \cdot 20 = 50 \text{ кг/ч}; \quad (2.8)$$

Потери азотной кислоты: [8].

$$G_{HNO_3}^{IP} = G_{HNO_3}^T - G_{HNO_3} \cdot M = 15900 - 787,5 \cdot 20 = 150 \quad (2.9)$$

Расход 56% азотной кислоты: [8].

$$G_{HNO_3}^P = \frac{G_{HNO_3}^T}{0,56} = \frac{15900}{0,56} = 28392 \text{ кг/ч}; \quad (2.10)$$

В этом количестве кислоты содержится воды: [7].

$$G_{H_2O} = G_{HNO_3}^{IP} - G_{HNO_3}^T, \quad (2.11)$$

где  $G_{HNO_3}^{IP}$  и  $G_{HNO_3}^T$  в соответствии практический и теоретический расход  $HNO_3$ .

$$G_{H_2O} = 28392 - 15900 = 12492 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, количество реагентов, идущих в аппарат ИТН найдем по формуле:

$$G = G_{NH_3}^T + G_{HNO_3}^T = 4300 + 15900 = 20200 \quad (2.12)$$

Без учета испарения воды (вследствие выделения тепла нейтрализации) концентрация раствора аммиачная селитры в аппарате была бы равна:

$$x' = \frac{M_A}{G} \cdot 100\% = \frac{20000}{20200} \cdot 100\% = 99\%. \quad (2.13)$$

С учетом использования тепла нейтрализации на испарение воды, концентрацию раствора  $NH_4NO_3$ , выходящего из аппарата ИТН, принимаем 90%.

Правильность выбранной концентрации проверяем по тепловым расчетам.

Количество 90%-го раствора  $NH_4NO_3$ :

$$G_{NH_4NO_3}^B = \frac{M_A}{x_3} = \frac{20000}{0,9} = 22.222 \text{ кг/ч}, \quad (2.14)$$

где  $x_3$  – концентрация раствора  $NH_4NO_3$  выходящей из аппарата.

Содержание воды в растворе:

$$G_{H_2O}^B = G_{NH_4NO_3}^B - M_A = 22222 - 20000 = 2222 \text{ кг/ч} \quad (2.15)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Технологический раздел	Лист 38

В результате процесса нейтрализации из раствора испаряется воды:

$$G_{H_2O}^{ИСП} = G_{H_2O} - G_{H_2O}^B = 12492 - 2222 = 10270 \text{ кг/ч} \quad (2.16)$$

Результаты расчета материального баланса сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Материальный баланс нейтрализации

Приход, кг/ч		Расход, кг/ч	
Аммиак	4300	Раствор NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	22222
Азотная кислота	15900	Соковый пар	10270
Вода с азотной кислотой	12492	Потери:	
		Аммиак	50
		Азотная кислота	150
Итого	32692	Итого	32692

С учетом материального баланса выбираем аппарат ИТН с типовой производительностью по готовому продукту 20 т/ч. Так как производительность установки аммиачной селитры по готовому продукту 40 т/ч, то устанавливаем два аппарата ИТН параллельно производительностью 20 т/ч

Основные размеры типового аппарата ИТН:

- диаметр реакционной части аппарата 1500 мм;
- диаметр сепарационной части аппарата 3600 мм;
- общая высота аппарата 8400 мм;
- диаметр реакционного стакана 1100 мм;
- высота реакционного стакана 4000 мм;
- колпачковые тарелки диаметром 3300 мм, имеющие 150 колпачков диаметром 150 мм;
- избыточное давление в аппарате 20 кПа.

### 2.1.2 Расчет высоты аппарата ИТН

Так как в современных агрегатах большой мощности применяются аппараты ИТН с различными диаметрами реакционной и сепарационной

Инт. № подл.	Подп. и дата
Инт. № дубл.	Взам. инв. №
Инт. № инв.	Подп. и дата
Инт. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

части, то рассчитаем соответственно высоту реакционной и сепарационной частей, чтобы найти общую высоту аппарата.

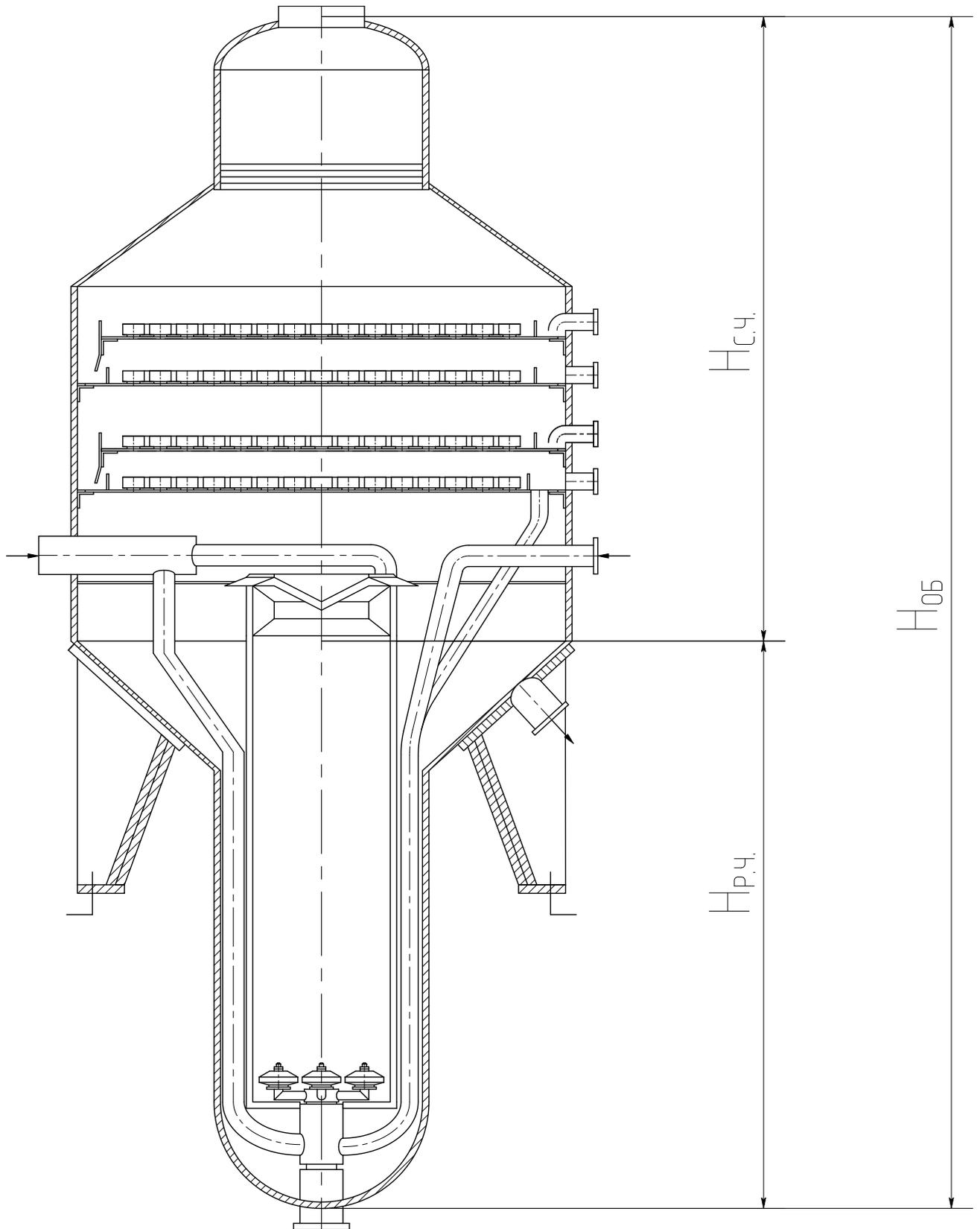


Рисунок 2.4 – Схема к расчету высоты аппарата ИТН

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Объемный расход плава [5].

$$V = \frac{G_{NH_4NO_3}}{\rho_{NH_4NO_3}}, \quad (2.17)$$

где  $\rho_{NH_4NO_3} = 1598 \text{ кг/м}^3$  - плотность жидкой аммиачной селитры

$$V = \frac{27777}{1598} = 13,9 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Объемный расход сокового пара

$$V_{\text{п}} = \frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (2.18)$$

где  $\rho_{\text{п}} = 0,750 \text{ кг/м}^3$  – плотность образующегося водяного пара

$$V_{\text{п}} = \frac{12839}{0,750} = 17120 \text{ м}^3/\text{ч} = 4,75 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход эмульсии в реакционной зоне

$$V_{\text{эм}} = V_{\text{пл}} + V_{\text{п}} = 13,9 + 17120 = 17134 \text{ м}^3/\text{ч} = 4,760 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем скорость движения эмульсии в реакционной части аппарата

$$\omega = 2.0 \text{ м/с}.$$

Согласно справочным данным [1], реакция протекает несколько секунд.

Принимаем время реакции нейтрализации

$$\tau = 2 \text{ с}.$$

Тогда расчетная высота реакционной части

$$H_{\text{рч}} = \omega \tau = 2,0 \times 2 = 4.0 \text{ м}. \quad (2.19)$$

Расчетный диаметр реакционной части [12].

$$D_{\text{рч}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{эм}}}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (4,7 \cdot \frac{60}{2})}{3,14 \cdot 2,0}} = 1420 \text{ мм}. \quad (2.20)$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_{\text{рч}} = 1500 \text{ мм}.$$

Ине. № дубл.	Ине. № инв.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Ине. № подл.	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Технологический раздел	Лист
												41

В сепарационной части аппарата устанавливается 4 колпачковых тарелки для очистки сокового пара от примесей аммиачной селитры, азотной кислоты и аммиака. Принимаем скорость движения пара в свободном сечении аппарата

$$\omega = 0,25 \text{ м/с.}$$

Тогда расчетный диаметр сепарационной части [12].

$$D_{сч} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{сп}}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (4,750/2)}{3,14 \cdot 0,25}} = 2560 \text{ мм.} \quad (2.21)$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_{сч} = 3600 \text{ мм.}$$

Высота сепарационной части определяется конструктивно.

### 2.1.3 Расчет диаметров основных штуцеров

Диаметр штуцера

$$D_{шт} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \omega_{шт}}}, \quad (2.22)$$

где  $\omega_{шт}$  - скорость движения потока в штуцере;

$V_c$  – расход потока среды через соответствующий штуцер.

Штуцер для ввода  $\text{HNO}_3$ . Расход потока  $\text{HNO}_3$

$$V_{жс} = \frac{G_{\text{HNO}_3} + G_{\text{H}_2\text{O}}}{3600 \cdot \rho_{жс}}, \quad (2.23)$$

где  $\rho_{жс}$  - плотность вводимой жидкости через штуцер

$$\rho_{жс} = \frac{1}{(0,44/1000 + 0,56/1530)} = 1240 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{жс} = \frac{15900 + 12492,8}{3600 \cdot 1240} = 0,006 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Диаметр штуцера

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----



## 2.1.4 Тепловой расчет аппарата ИТН

Тепловым расчетом проверяется, в какой мере принятая конечная концентрация раствора аммиачной селитры (90%) обеспечивает стабильный тепловой режим за счет теплоты реакции нейтрализации и отвода тепла с соковым паром.

Исходные данные:

Концентрация азотной кислоты – 56%;

Температура азотной кислоты – 80° С;

Температура аммиака – 120°С.

Поступает на нейтрализацию:

Азотной кислоты – 19875 кг/ч;

Аммиака – 5375 кг/ч.

Количество образующегося раствора:

Аммиачной селитры – 27777 кг/ч;

Концентрация раствора – 90%;

Количество испаряющейся воды – 12839 кг/ч;

Давление в аппарате – 20 кПа.

Схема к расчету показана на рисунке 2.5.

Приход тепла

Тепло, вносимое газообразным аммиаком: [3].

$$Q_1 = G_{NH_3}^P \cdot q_{NH_3} \cdot t_{NH_3} = 5375 \cdot 2,15 \cdot 120 = 1109400 \text{ кДж/ч}, \quad (2.26)$$

где  $q_{NH_3} = 2,15$  – теплоемкость аммиака, кДж/(кг · К);

$t_{NH_3} = 120^\circ \text{С}$  – температура аммиака на входе.

Тепло, вносимое азотной кислотой: [3].

$$Q_2 = G_{HNO_3}^P \cdot q_{HNO_3} \cdot t_{HNO_3} = 19875 \cdot 2,8 \cdot 80 = 3561600 \text{ кДж/ч}, \quad (2.27)$$

где  $q_{HNO_3} = 2,8$  – теплоемкость 56% азотной кислоты кДж/ (кг · К).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Технологический раздел	Лист
												44

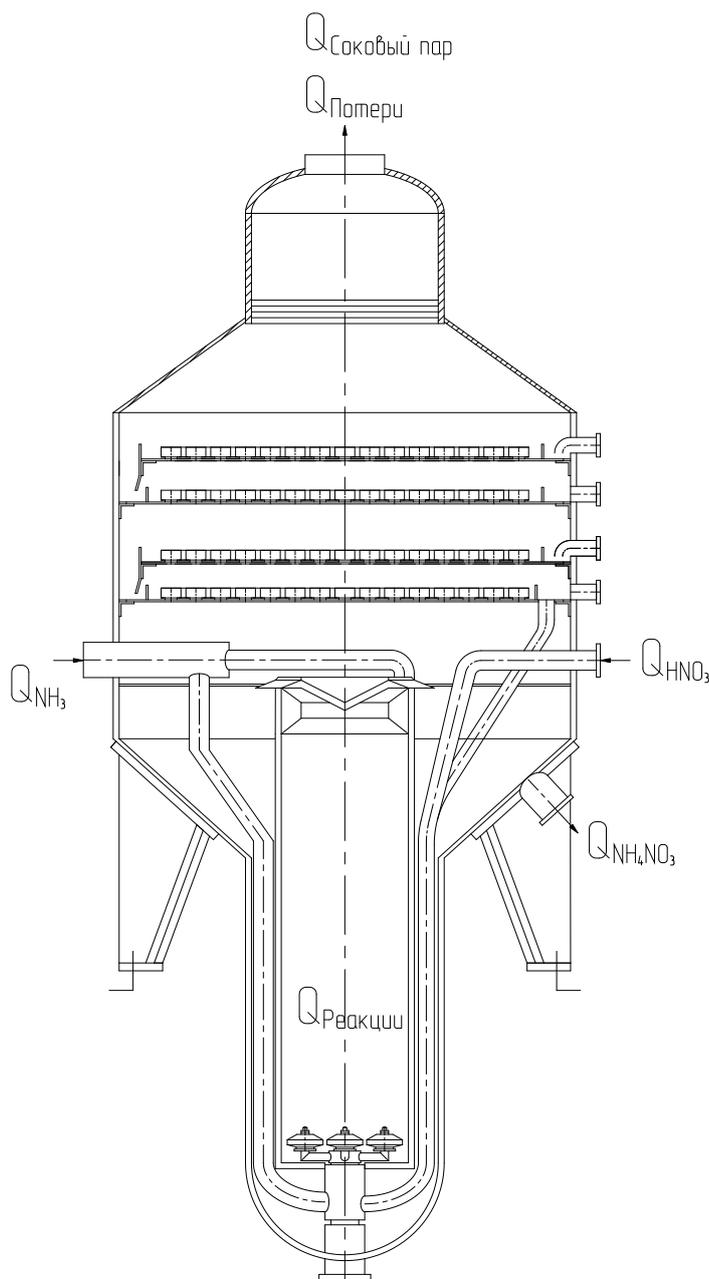


Рисунок 2.5 – Схема к расчету теплового баланса.

Тепло реакции образования нитрата аммония с учетом теплоты разбавления азотной кислоты до 56% находим по кривой I [1, приложение V]. Это тепло составляет 1500 кДж на 1 кг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , часть его расходуется на растворение аммиачной селитры. Согласно кривой II на образование 90%-го раствора уходит 160 кДж тепла на 1 кг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Таким образом, при образовании аммиачной селитры из 56% азотной кислоты с получением 90%-го раствора выделяется:

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$Q_3 = 1500 - 160 = 1340 \text{ кДж/ч.}$$

За час выделяется тепла:

$$Q_4 = 29200 \cdot 1340 = 39128000 \text{ кДж/ч.}$$

Общий приход тепла:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_4 = 1109400 + 3561600 + 39128000 = 43799000 \text{ кДж/ч. (2.28)}$$

Расход тепла

Тепло, уносимое раствором аммиачной селитры:

$$Q_1' = (G_{NH_4NO_3} + G_{NH_3}^{nom} + G_{HNO_3}^{nom}) \cdot q_{NH_4NO_3} \cdot t_{кип} = (27777 + 63 + 188) \cdot 1,98 \cdot t_{кип}, \quad (2.29)$$

где  $t_{кип}$  – температура кипения 90%-го раствора селитры. Определим ее при давлении в аппарате  $1,15 - 1,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ . При этом давлении температура насыщенного водяного пара равна  $103^\circ \text{ С}$ . При атмосферном давлении температура кипения 90%-го раствора аммиачной селитры составляет  $152,5^\circ \text{ С}$ .

Температурная депрессия:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 152,5 - 100 = 52,5^\circ \text{ С.} \quad (2.30)$$

Температура кипения  $NH_4NO_3$ :

$$t_{кип} = t_{нас пр} + \Delta \tau \cdot \eta, \quad (2.31)$$

где  $\eta$  – коэффициент температурной дисперсии при любом давлении.

При  $t = 103^\circ \text{ С}$ ,  $\eta = 1,03$ .

$$t_{кип} = 103 + 52,5 \cdot 1,03 = 157,1.$$

Тепло, уносимое раствором селитры

$$Q_1' = (27777 + 200) \cdot 1,98 \cdot 157,1 = 6974604,7 \text{ кДж/ч.}$$

2) Тепло, расходуемое на испарение воды:

$$Q_2' = G_{H_2O} \cdot H = 12875 \cdot 2682 = 27546285,6 \text{ кДж/ч,} \quad (2.32)$$

где  $H = 2682 \text{ кДж/ч}$  – энтальпия сухого пара при  $1,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;

1) Тепло, теряемое аппаратом в окружающую среду:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$Q_3 = Q - Q_1' - Q_2' = 43799000 - 6974604,7 - 27546285,6 = 9278109 \text{ кДж/ч};$$

(2.33)

где  $Q$  – общее количество тепла.

Эта величина составляет 7% от общего расхода тепла, что согласуется с техническими данными.

Расчетные данные сводим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Тепловой баланс нейтрализации

Приход, кДж/ч		Расход, кДж/ч	
С аммиаком	1109400	С раствором NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	6974604,7
С азотной кислотой	3561600	С соковым паром	27546285,6
Тепло реакции	39128000	Потери	9278109
Итого	43799000	Итого	43799000

### 2.1.5 Расчет толщины слоя изоляции

В качестве изоляции примем стеклянную вату, так как ее теплостойкость 450 °С, а температура стенки аппарата 170 °С. Схема к расчету показана на рисунке 2.6. Коэффициент теплопроводности стекловаты  $\lambda = 0,04-0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , примем  $\lambda = 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

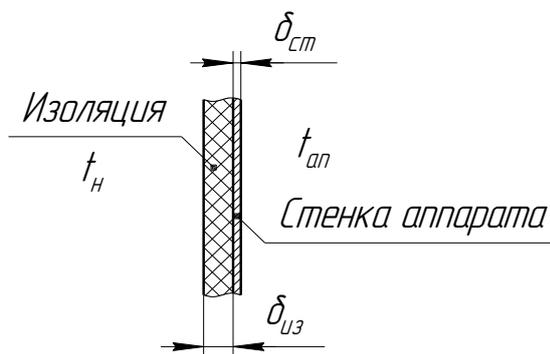


Рисунок 2.6 – Схема к расчету толщины слоя изоляции.

Необходимая толщина слоя изоляции:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda \cdot (t_{cm1} - t_{cm2})}{q}, \quad (2.34)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

где  $q$  – удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>.

$$q = B \cdot (\tau_{cm2} - \tau_{\epsilon}), \quad (2.35)$$

где  $B$  – суммарный коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к внешнему воздуху;

$t_{\epsilon}$  – температура окружающего воздуха, примем 20 °С;

$\Delta t$  – разность температур между наружной поверхностью изоляции и воздухом;  $t_{cm2}$  – температура внешнего слоя изоляции.

Тогда:

$$B = 9,3 + 0,058 \cdot t_{cm2}; \quad (2.36)$$

Принимаем:  $t_{cm2} = 40$  °С;

$$t_{\epsilon} = 20 \text{ °С.}$$

$$\beta_2 = 9,3 + 0,058 \cdot 40 = 11,62,$$

$$q = 11,62 \cdot (40 - 20) = 232,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Учитывая, что температура в аппарате (реакционной части) 170 °С, а основное тепловое сопротивление создает изоляция, можем считать, что температура внутреннего слоя изоляции  $t_{cm1} = 165$  °С, тогда толщина изоляционного слоя будет равна:

$$g = \frac{\lambda \cdot (t_{cm1} - t_{cm2})}{q} = 0,1 \cdot (165 - 40) / 232,4 = 0,054 \text{ м} = 54 \text{ мм}; \quad (2.37)$$

Примем толщину слоя изоляции 60 мм.

### 2.1.6 Расчет вспомогательного оборудования

Выполним расчет теплообменника. Перед поступлением в ИТН азотная кислота нагревается от 30 °С до 80 °С в теплообменнике за счет использования тепла конденсации сокового пара. Схема к расчету приведена на рисунке 2.7.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

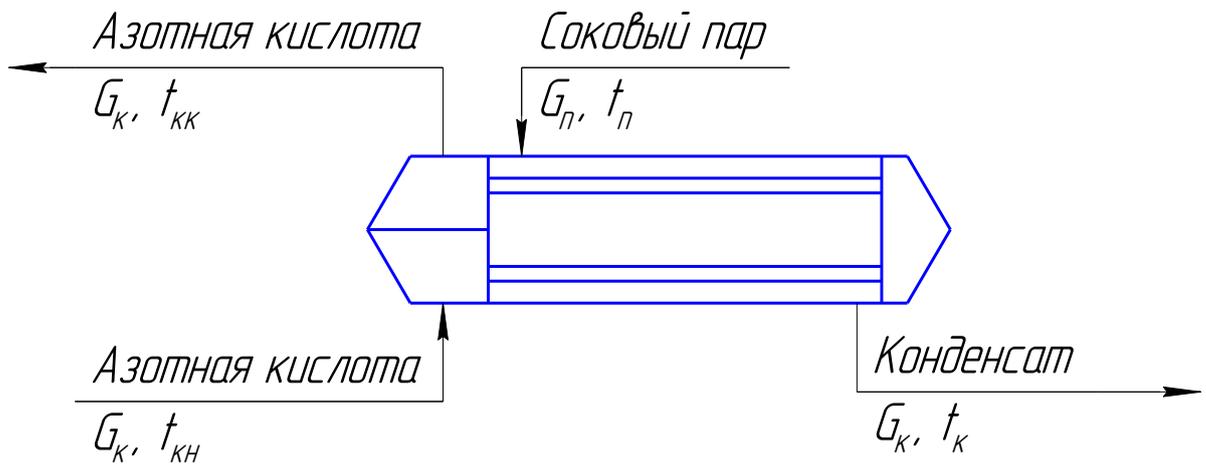


Рисунок 2.7 – Схема к расчету теплообменника

Тепловая нагрузка подогревателя кислоты

$$Q = G_K (H_{K2} - H_{K1}), \quad (2.38)$$

где  $G_K$  – массовый расход азотной кислоты на два аппарата

$$G_K = 2G_1 = 2 \cdot 19875 \text{ кг/ч} = 39750 \text{ кг/ч};$$

$H_{K1}$  и  $H_{K2}$  – энтальпия азотной кислоты на входе и на выходе из теплообменника соответственно

$$H_{K1} = c_{K1} t_{K1}; \quad (2.39)$$

$$H_{K2} = c_{K2} t_{K2}; \quad (2.40)$$

$t_{K1}$  и  $t_{K2}$  – температура кислоты на входе и на выходе соответственно, принимаем температуру на входе  $t_{K1} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе в соответствии с технологическим режимом  $t_{K2} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$c_{K1}$  и  $c_{K2}$  – удельные теплоемкости кислоты, принимаем по справочным данным для 50% азотной кислоты

$$c_{K1} = 0,6865 \cdot 4,190 = 2,87 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K});$$

$$c_{K2} = 0,7300 \cdot 4,190 = 3,06 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}).$$

Соответственно, энтальпии кислоты

$$H_{K1} = 2,87 \cdot 30 = 86,1 \text{ кДж}/\text{кг};$$

$$H_{K2} = 3,06 \cdot 80 = 244,8 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Тогда тепловая нагрузка теплообменника

$$Q = 39750 \cdot (244,8 - 86,1) = 5046,66 \cdot 10^3 \text{ кДж}/\text{ч} = 1401,85 \text{ кДж}/\text{с}.$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Теплообменник обогревается соковым паром, выходящим из аппарата ИТН. Температура конденсации сокового пара при избыточном давлении 20 кПа составляет [6, табл. LV]

$$t_k = 104,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При конденсации в теплообменнике выделяется количество теплоты

$$Q_k = G_{\text{п}} r, \quad (2.41)$$

где  $r$  – удельная теплота конденсации сокового пара, при  $t_k = 104 \text{ }^\circ\text{C}$  [6]

$$r = 536 \cdot 4,190 = 2245,84 \text{ кДж/кг}.$$

Тогда необходимый расход сокового пара

$$G_{\text{п}} = \frac{Q}{r} = \frac{5046,66 \cdot 10^3}{2245,84} = 2247 \text{ кг/ч} = 0,6242 \text{ кг/с}. \quad (2.42)$$

Объемный расход сокового пара

$$V_{\text{п}} = G_{\text{п}} / \rho_{\text{п}}, \quad (2.43)$$

где  $\rho_{\text{п}}$  – плотность насыщенного водяного пара при  $t_k$ ,  $\rho_{\text{п}} = 0,705 \text{ кг/м}^3$ ;

$$V_{\text{п}} = 2247 / 0,705 = 3187 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,8853 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход конденсата

$$V_{\text{к}} = G_{\text{п}} / \rho_{\text{к}}, \quad (2.44)$$

где  $\rho_{\text{к}}$  – плотность конденсата  $t_k$ ,  $\rho_{\text{к}} = 998 \text{ кг/м}^3$ ;

$$V_{\text{к}} = 2247 / 998 = 2,2523187 \text{ м}^3/\text{ч} = 6,254 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем горизонтальный двухходовый теплообменник. Кислота проходит через трубное пространство, а соковый пар конденсируется в межтрубном пространстве. Средняя разность температур

$$\Delta t_1 = t_k - t_{\text{кк}} = 104 - 80 = 24 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (2.45)$$

$$\Delta t_2 = t_k - t_{\text{кн}} = 104 - 30 = 74 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (2.46)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \alpha_{\text{к}} \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \left( \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \right)}, \quad (2.47)$$

где  $\alpha_{\text{к}}$  – коэффициент, учитывающий конструкцию теплообменника и схему движения потоков, для выбранного аппарата  $\alpha_{\text{к}} = 0,81$  [6].

Соответственно

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\Delta t_{cp} = 0,81 \cdot \frac{74 - 24}{2,3 \lg \left( \frac{74}{24} \right)} = 36,1^\circ \text{C}$$

Тогда расчетная поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} ; \quad (2.48)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, принимаем по справочным данным для случая нагревания жидкости конденсирующейся водой на горизонтальных трубках  $K = 350$  кДж/(м<sup>2</sup> · К).

$$F = \frac{5046,66 \cdot 10^3}{350 \cdot 36,1} = 399,4 \text{ м}^2.$$

Выбираем горизонтальный кожухотрубчатый двухходовый теплообменник со следующими характеристиками: диаметр кожуха 1200 мм; длина труб 4 м, поверхность теплообмена 417 м<sup>2</sup>, 1658 труб 20x2, число ходов 2.

Выполним расчет буферной емкости для хранения азотной кислоты, подаваемой в аппарат ИТН, резервным временем  $\tau = 2,0$  часа. Схема к расчету приведена на рисунке 2.8.

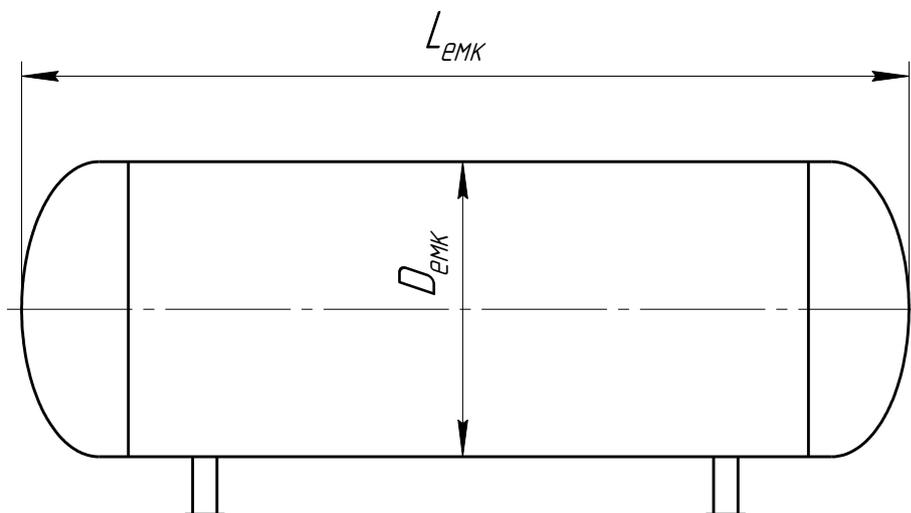


Рисунок 2.8 – Схема к расчету буферной емкости для сбора жидкой кислоты

Количество кислоты, отбираемой из емкости

$$G_k = 39750 \text{ кг/ч.}$$

Объемный расход кислоты

Ине. № подп.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$V_k = G_k / \rho_k, \quad (2.49)$$

где  $\rho_k$  – плотность кислоты при температуре хранения  $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  [6]

$$\rho_k = 1295 \text{ кг/м}^3.$$

Соответственно

$$V_k = 39750 / 1295 = 30,7 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимый объем кислоты на  $\tau = 2,0$  часа составит

$$V_{xp} = V_k \tau = 30,7 \cdot 2,0 = 61,4 \text{ м}^3. \quad (2.50)$$

Принимаем максимальное заполнение емкости  $\psi = 80\%$ , тогда объем емкости

$$V_{емк} = V_{xp} / \psi = 61,4 / 0,8 = 76,9 \text{ м}^3. \quad (2.51)$$

Принимаем два одинаковых аппарата. Тогда объем каждого

$$V_1 = V_{емк} / 2 = 76,9 / 2 = 38,4 \text{ м}^3. \quad (2.52)$$

Принимаем отношение диаметра емкости к ее длине  $\alpha = 5$ . Соответственно диаметр емкости

$$D_{емк} = \sqrt[3]{\frac{4 V_{емк}}{\pi \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 38,4}{3,14 \cdot 5}} = 2,13 \text{ м} \quad (2.53)$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_{емк} = 2,2 \text{ м}.$$

Тогда длина емкости

$$L_{емк} = \alpha D_{емк} = 5 \times 2,2 = 11,0 \text{ м}.$$

Исходя из полученных данных выбираем две емкости ГЭЭ1–40–06 с номинальным объемом  $V_{ном} = 40 \text{ м}^3$  каждая и рабочим объемом  $V_{раб} = 32,4 \text{ м}^3$  [5].

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 3. Механический расчет

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы проектируемого аппарата использования теплоты нейтрализации для производства аммиачной селитры. Показателями или критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жаропрочность и жаростойкость, жесткость, устойчивость, виброустойчивость, износостойкость, герметичность и т.п. Все эти критерии должны обеспечить сохранение во времени механических свойств деталей в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Каждый из этих критериев при расчете проверяется по условию, где расчетное значение определяющего этот критерий параметра не должно превышать его допускаемое значение в течение всего срока эксплуатации.

#### 3.1 Конструирование аппарата

Расчетная модель проектируемый аппарат ИТН для производства аммиачной селитры показана на рисунке 3.1.

Аппарат состоит из двух цилиндрических обечаек 1 (реакционная часть, диаметр 1500 мм) и 2 (сепарационная часть, диаметр 3600 мм). Обечайки соединяются между собой двумя коническими днищами 3 и 9. Сверху и снизу аппарат закрывается двумя эллиптическими днищами 5 и 7.

Внизу реакционной части установлен барботер 6. Аппарат устанавливается на 4-х опорах 8.

Технологическое давление в аппарате 0,1213 МПа, максимальная температура стенки 170 °С.

По							
Взам							
И							
Подп. и дата							
ИИР	<b>ФЮРА.ИТН.00.00.00. ПЗ</b>						
	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Комилов.М.А					
	Пров.	Ан .В.В					
	Т. контр.	Беляев.В.М					
	Н. контр.						
Утв.							
<b>Механический расчет</b>					Лит	Лист	Листов
						53	

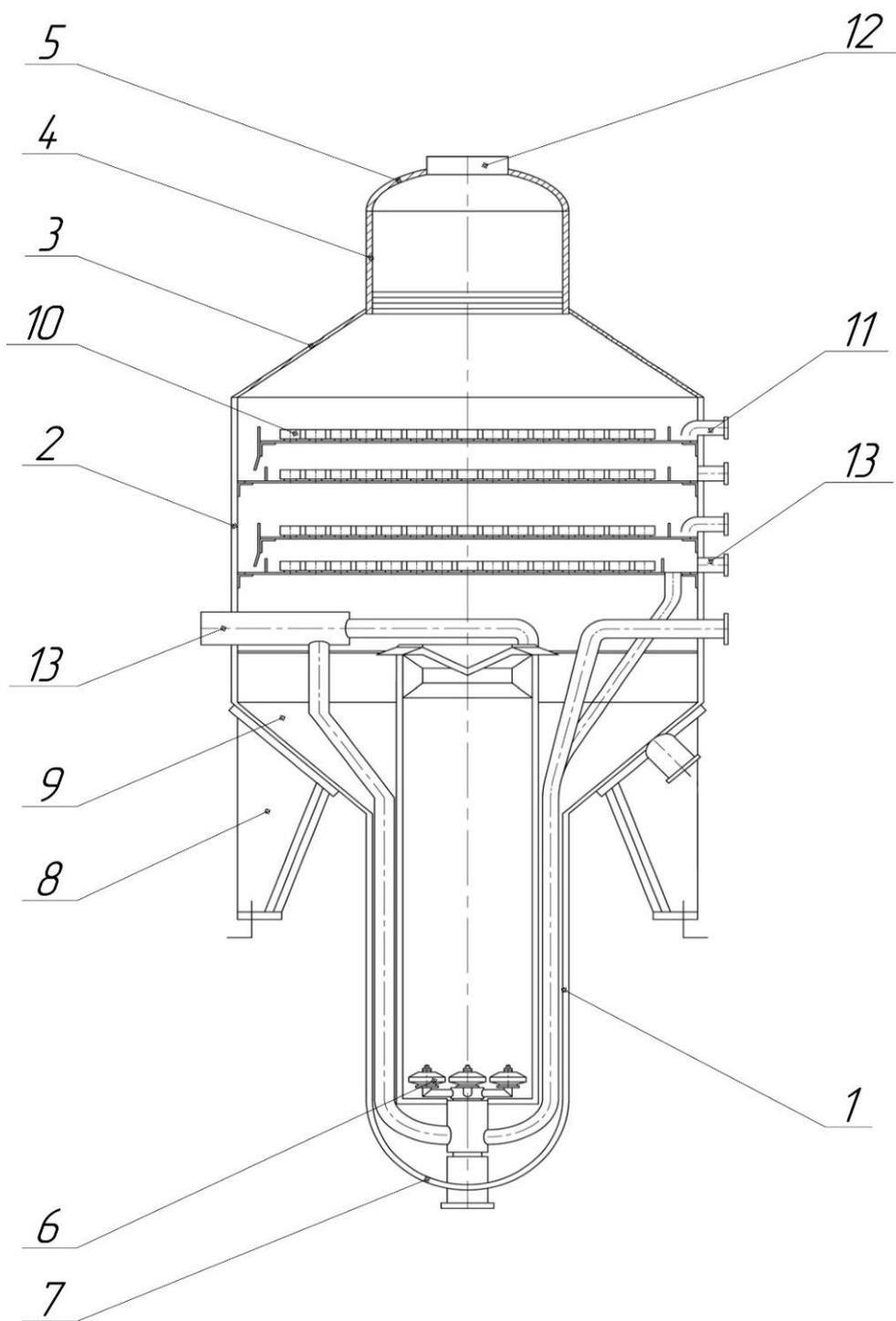


Рисунок 3.1 – Расчетная модель аппарата ИТН

для производства аммиачной селитры:

- 1, 2, 4 – цилиндрические обечайки, 3, 9 – конические днища;  
 5, 7 – эллиптическое днище; 6 – барботер; 8 – лапа,  
 10 – тарелка; 11, 12, 13 – штуцеры.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 3.2 Выбор конструкционных материалов

Основными требованиями, которым должны отвечать химические аппараты, являются механическая надежность, долговечность, конструктивное совершенство, простота изготовления, удобство транспортирования, монтажа и эксплуатации. В соответствии с источником [29] к конструкционным материалам проектируемой аппаратуры предъявляются следующие требования:

- материалы должны быть стойки по отношению к коррозии в агрессивных средах при рабочих параметрах процесса;
- им необходима высокая прочность при заданных рабочих давлениях, температуре и дополнительных нагрузках, возникающих при прочностных испытаниях и эксплуатации аппаратов;
- материалы должны легко поддаваться сварке, а их сварные соединения – иметь высокую механическую прочность;
- материалы должны быть недороги и доступны. Кроме того, при выборе конструкционных материалов необходимо учитывать физические свойства материалов (теплопроводность, линейное расширение и т. д.). Для проведения конструктивно-механического расчёта аппарата необходимо определить материалы следующих его частей:
  - детали, подверженные коррозионному воздействию реакционной среды находящейся в аппарате (корпус, днище, фланец, крышка, соответствующие штуцеры, и его уплотнение);
  - прокладки (в частности, прокладка во фланце). В результате анализа различных литературных источников, рекомендаций и стандартов можно прийти к следующим выводам:
    - для элементов, контактирующих с реакционной массой принять в соответствии с рекомендациями назначить стали 08X18H10T и 03X18H11 в качестве конструкционного материала. Данная сталь является достаточно надёжной для работы в агрессивных средах с высокой коррозионной активностью;

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----





### 3.4 Расчет цилиндрической обечайки

Выполним расчет обечайки сепарационной части. Схема к расчету показана на рисунке 3.2.

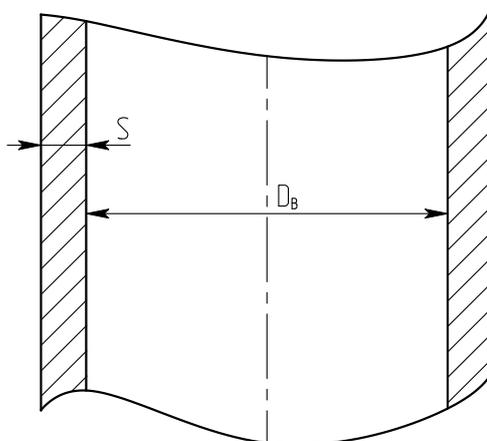


Рисунок 3.2 – Схема к расчету обечайки

Исполнительную толщину стенки  $s$  цилиндрической обечайки определяют по формуле

$$s \geq s_p + c + c_0, \quad (3.7)$$

$$s_p = \max \left( \frac{p_p D}{2\varphi[\sigma] - p_p}; \frac{p_{и} D}{2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}} \right); \quad (3.8)$$

где  $p_p$  – расчетное давление в аппарате, МПа;

$p_{и}$  – давление при испытаниях, МПа;

$D$  – внутренний диаметр обечайки,  $D = 3600$  мм;

$\varphi$  – коэффициент прочности сварных швов стальных аппаратов, для автоматической сварки под слоем флюса  $\varphi = 1,00$  [8, т. 1.7];

$s_p$  – расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм;

$c$  – прибавка к расчетной толщине, мм;

$c_0$  – прибавка на округление размера до стандартного значения, мм.

Расчетное давление в аппарате

$$p_p = p_T + p_r, \quad (3.8)$$

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

где  $p_T$  – технологическое давление в аппарате,  $p_T = 0,1213$  МПа;  
 $p_r$  – гидростатическое давление столба жидкости в аппарате,  $p_r = 0$  МПа.

Поэтому

$$p_p = 0,1213 + 0,000 = 0,1213 \text{ МПа.} \quad (3.9)$$

Давление при испытаниях

$$P_{и} = \max \left( \frac{1,25 p_T [\sigma]_{20} / [\sigma]}{p_T + 0,3} \right); \quad (3.10)$$

$$P_{и} = \max \left( \frac{1,25 \cdot 0,1213 \cdot 218 / 197}{0,1213 + 0,3} \right) = \max \left( \frac{0,168}{0,421} \right) = 0,421 \text{ МПа}$$

Соответствующая расчетная толщина стенки

$$S_p = \max \left( \frac{\frac{0,121 \cdot 3600}{2 \cdot 1,00 \cdot 197 - 0,121}}{0,421 \cdot 3600} \right) = \max \left( \frac{1,11}{2,32} \right) = 2,32 \text{ мм.}$$

Прибавка к расчетной толщине обечайки определяется по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.11)$$

где  $c_1$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$  – технологическая прибавка, мм.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии

$$c_1 = P\tau + c_3, \quad (3.12)$$

где  $P$  – скорость коррозии,  $P = 0,05$  мм/год;

$\tau$  – срок службы аппарата,  $\tau = 15$  лет;

$c_3$  – прибавка для компенсации эрозии,  $c_3 = 0$  мм.

Соответственно

$$c_1 = 0,05 \times 15 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

При листовом прокате и сварной обечайке  $c_2 = 0$  мм и  $c_3 = 0$  мм [8, с. 16].

Поэтому

$$c = 0,75 + 0 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

Соответственно исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки составит

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$s \geq 2,32 + 0,75 = 3,07 \text{ мм.}$$

Из соображений жесткости обечайки примем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки

$$s = 4 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2\varphi [\sigma](s-c)}{D+s-c} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 197 \cdot (6-0,75)}{3600+6-0,75} = 0,573 \text{ МПа}; \quad (3.13)$$

$$[p]_{и} = \frac{2\varphi [\sigma](s-c)}{D+s-c} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 327 \cdot (6-0,75)}{3600+6-0,75} = 0,952 \text{ МПа}. \quad (3.14)$$

Сравнивая

$$p < [p]; \quad p_{и} < [p]_{и}; \quad (3.15)$$

$$0,121 < 0,573; \quad 0,421 < 0,952,$$

делаем вывод, что обечайка сепарационной части удовлетворяет условию прочности.

Обечайки реакционной части  $D_{рц} = 1500$  мм и верхнего сегмента  $D_{вс} = 1600$  мм рассчитываем по аналогичной схеме. Результаты расчетов

$$s_{рц} = 4 \text{ мм}; \quad s_{вс} = 4 \text{ мм.}$$

### 3.5 Расчет толщины стенки эллиптического крышка и днища

Схема к расчету верхнего эллиптического днища приведена на рисунке

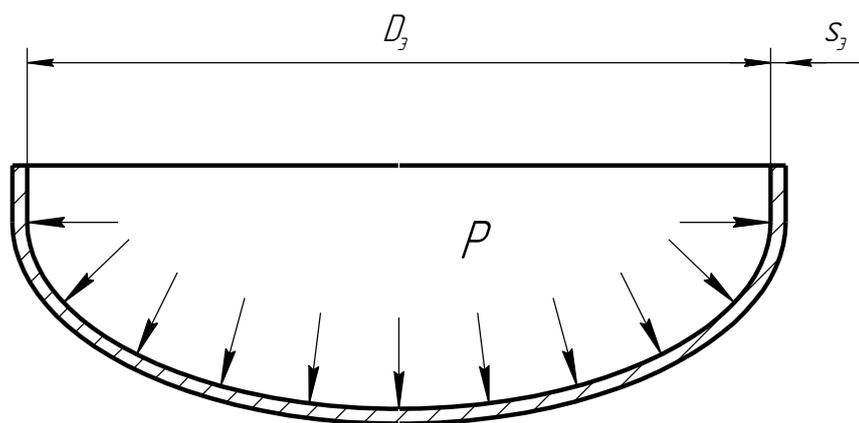


Рисунок 3.3 – Схема к расчету эллиптического днища.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Внутренний диаметр днища согласно конструкции аппарата

$$D_{\text{вн}} = 1600 \text{ мм.}$$

Исполнительную толщину стенки стандартного эллиптического днища рассчитывают по формуле

$$s \geq s_p + c + c_0$$

где  $S_p$  – расчетная толщина стенки определяется по формуле

$$S_{\text{зр}} = \max \left( \frac{p_p D}{2\varphi[\sigma] - 0,5p_p}, \frac{p_{\text{н}} D}{2\varphi[\sigma]_{\text{н}} - 0,5p_{\text{н}}} \right) \quad (3.16)$$

$$S_{\text{зр}} = \max \left( \frac{0,121 \times 1600}{2 \times 1,00 \times 197 - 0,5 \times 0,121}, \frac{0,421 \times 1600}{2 \times 1,00 \times 327 - 0,5 \times 0,421} \right) = \max \begin{pmatrix} 0,49 \\ 1,03 \end{pmatrix} = 1,03 \text{ мм;}$$

$$S_0 \geq s_{\text{зр}} + c + c_0 = 1,03 + 0,75 = 1,78 \text{ мм.} \quad (3.17)$$

Толщина стенки эллиптического днища не должна быть меньше толщины стенки обечайки (для верхнего сегмента  $s_{\text{вс}} = 4$  мм). Поэтому исполнительная толщина стенки верхнего днища

$$s_0 = 4 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](s-c)}{D+0.5(s-c)} \quad (3.18)$$

Тогда :

$$[p] = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 197 \cdot (4 - 0,75)}{1600 + 0,5(4 - 0,75)} = 0,800 \text{ МПа;}$$

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2\varphi[\sigma]_{\text{н}}(s-c)}{D+0.5(s-c)} \quad (3.19)$$

Тогда :

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 327 \cdot (4 - 0,75)}{1600 + 0,5(4 - 0,75)} = 1,330 \text{ МПа;}$$

Инь. № подл.	Подп. и дата
Инь. № дубл.	Взам. инв. №
Инь. № инв. №	Подп. и дата
Инь. № инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Сравнивая

$$p < [p]; p_{и} < [p]_{и}; \quad (3.20)$$
$$0,121 < 0,800; 0,421 < 1.330,$$

делаем вывод, что днище сепарационной части удовлетворяет условию прочности.

### 3.6 Расчет фланца штуцера вывода сокового пара

Исходные данные для расчета:

диаметр  $D = 500$  мм;

расчетное давление  $P_p = 0,121$  МПа;

прибавка на коррозию  $c = 0,75$  мм;

температура среды  $t = 104$  °С;

толщина стенки  $s = 8$  мм;

коэффициент прочности сварных швов  $\varphi = 1$ .

Схема к расчету представлена на рисунке 3.4

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Ине. № инв.	Ине. № докум.	Подп.	Дат	Лист

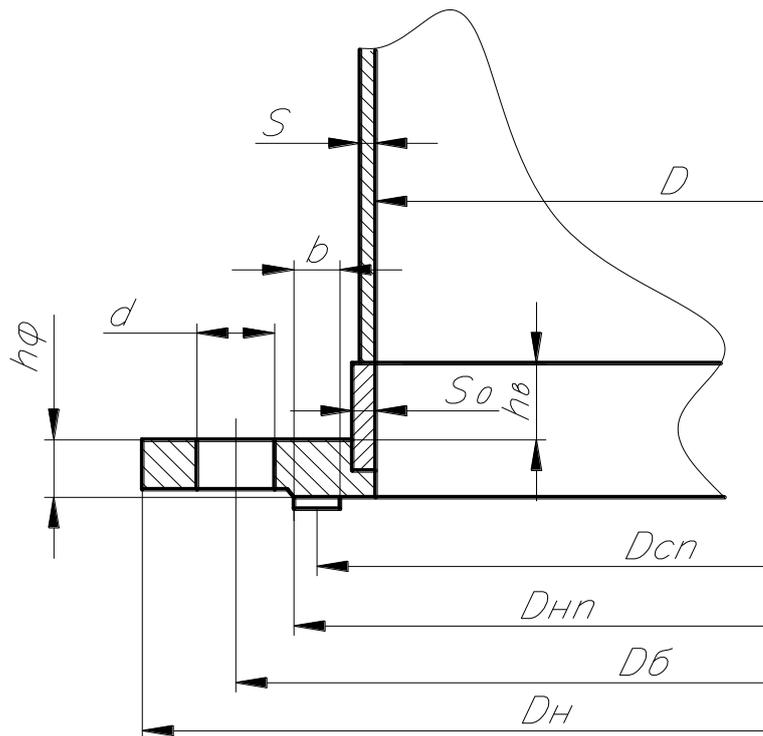


Рисунок 3.4 – Фланцевое соединение

Толщину втулки фланца принимаем  $s_0 = 11$  мм.

Высота втулки фланца рассчитывается по формуле:

$$h_b = 0,5\sqrt{D(s_0 - c)} = 0,5 \cdot \sqrt{500 \cdot (11 - 0,75)} = 35,8 \text{ мм.} \quad (3.21)$$

Принимаем  $h_b = 55$  мм. Наружный диаметр шпильки при  $D = 500$  мм,  $d_6 = 16$  мм [11, таблица 1.40]. Нормативный зазор  $u = 4$ . Тогда диаметр окружности расположения шпилек равен:

$$D_6 = D + 2 \cdot (s_1 + d_6 + u) = 500 + 2 \cdot (11 + 16 + 4) = 570 \text{ мм.} \quad (3.22)$$

Рассчитаем наружный диаметр фланца:

$$D_n = D_6 + a, \quad (3.23)$$

где  $a = 40$  мм – конструктивная добавка [11, таблица 1.41],

$$D_n = D_6 + a = 570 + 40 = 610 \text{ мм.} \quad (3.24)$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{нп} = D_6 - e, \quad (3.25)$$

где  $e = 30$  мм – нормативный параметр [11, таблица 1.41],

$$D_{нп} = D_6 - e = 570 - 30 = 540 \text{ мм.} \quad (3.26)$$

Рассчитаем средний диаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b, \quad (3.27)$$

$b = 15$  мм – ширина прокладки [11, таблица 1.42],

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b = 540 - 15 = 525 \text{ мм}. \quad (3.28)$$

Определим количество шпилек необходимое для обеспечения герметичности соединения. Шаг размещения шпилек по окружности [11, таблица 1.43]

$$t_{\text{ш}} = 4,2 \cdot d_{\text{б}} = 4,2 \cdot 16 = 68 \text{ мм};$$

$$n_{\text{б}} = \pi \cdot D_{\text{б}} / t_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 570 / 68 = 26,3 \text{ шт}. \quad (3.29)$$

Принимаем  $n_{\text{б}} = 28$  шт. Высота (толщина) фланца:

$$h_{\text{ф}} = \lambda_{\text{ф}} \sqrt{D S_{\text{эк}}}, \quad (3.30)$$

где  $\lambda_{\text{ф}} = 0,48$  [11, рисунок 1.40];

$$h_{\text{ф}} = 0,48 \cdot \sqrt{500 \cdot 11} = 35,6 \text{ мм} \quad (3.31)$$

принимаем  $h_{\text{ф}} = 36$  мм при толщине прокладки  $h_{\text{п}} = 2$  мм.

Расчетная длина шпильки:

$$l_{\text{б}} = l_{\text{б0}} + 0,28d_{\text{б}}, \quad (3.32)$$

где  $l_{\text{б0}}$  – расстояние между опорными поверхностями гаек шпильки

$$l_{\text{б0}} = 2 (h_{\text{ф}} + h_{\text{п}}) = 2 \cdot (36 + 2) = 76 \text{ мм}; \quad (3.33)$$

$$l_{\text{б}} = 76 + 0,28 \cdot 16 = 76,5 \text{ мм}.$$

### 3.7 Расчет укрепления отверстия

Отверстия, вырезанные в корпусе аппарата, значительно уменьшают прочность соответствующего элемента. Поэтому отверстия необходимо укреплять. Принимаем укрепление отверстия в верхнем днище  $D=500$  мм под патрубков штуцера вывода сокового пара. Схема к расчету укрепления отверстия за счет увеличения толщины стенки штуцера приведена на рис. 2.5.

Име. № подл	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

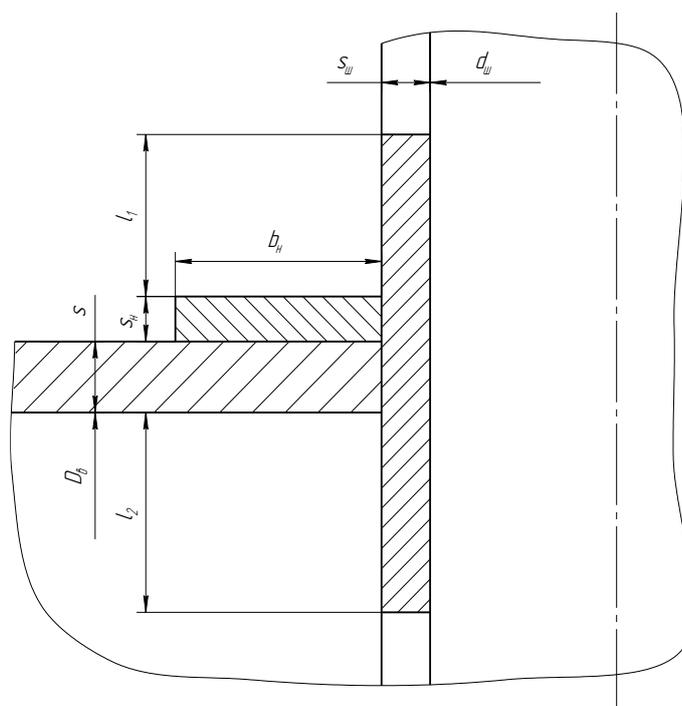


Рисунок 3.5 – Схема к расчету укрепления отверстия накладным кольцом

Общий критерий укрепления состоит в компенсации вырезанной площади поперечного сечения:

$$(A_{1H} + A_{1B})\chi_1 + A_2\chi_2 + A_0 \geq A, \quad (3.34)$$

где  $A_{1H}$  и  $A_{1B}$  – площади продольного сечения соответственно наружной и внутренней частей штуцера, участвующего в укреплении;

$A_2$  – площадь продольного сечения усиливающего обечайку элемента;

$A_0$  – площадь продольного сечения оболочки, участвующая в укреплении;

$A$  – площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации;

$\chi_1$  и  $\chi_2$  – коэффициенты, учитывающие соотношение материалов конструктивных элементов.

Значения  $\chi_1$

$$\chi_1 = \frac{[\sigma]_{ш}}{[\sigma]}, \quad (3.35)$$

где  $[\sigma]_{ш}$  – допускаемое напряжение материала штуцера, т.к. штуцер изготовлен из того же материала, что и верхнее днище, то  $\chi_1 = 1$ .

Расчетный диаметр укрепляемого элемента (верхнего днища)

Ине. №				
Подп. и дата				
Взам. инв.				

Ли	Изм.	№ докум. №	Подп. По	Дат
----	------	------------	----------	-----

$$D_p = D = 1600 \text{ мм.}$$

Наибольший допустимый диаметр отверстия в эллиптическом днище, не требующего дополнительного укрепления

$$d_d := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c_k}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{2 D_B \cdot (s - c_k)} - c_k \right] = \quad (3.36)$$

$$= 2 \cdot \left[ \left( \frac{4 - 0.75}{1.05} - 0.8 \right) \times \sqrt{2 \times 1600 \times (4 - 0.75)} - 0.75 \right] = 317 \text{ мм.}$$

Площадь сечения отверстия в стенке, подлежащая компенсации при укреплении отверстия

$$F_o = (d_{ш} - d_d) s_p = (500 - 317) \times 4 = 732 \text{ мм}^2. \quad (3.37)$$

Наружная и внутренние длины штуцера, участвующие в укреплении

$$l_1 = \sqrt{(d_{ш} + 2c_k)(S_{ш} - c_k)} = \sqrt{(500 + 2 \cdot 0.75) \cdot (2 - 0.75)} = 51,31 \text{ мм}; \quad (3.38)$$

$$l_2 = \sqrt{(d_{ш} + 2c_k)(S_{ш} - 2c_k)} = \sqrt{(500 + 2 \cdot 0.75) \cdot (2 - 2 \cdot 0.75)} = 47,51 \text{ мм.} \quad (3.39)$$

Площадь штуцера, участвующая в укреплении

$$F_{ш} = 2 \times (l_1 + s - s_p - c_k) (s_{ш} - s_{шp} - c_k) = \quad (3.40)$$

$$= 2 \times (51,31 + 4 - 1,05 - 0,75) \times (2 - 0,87 - 0,75) = 40,1 \text{ мм}^2.$$

Расчетная ширина укрепляющей накладки

$$b_{нр} = \sqrt{D_B (s - c_k)} = \sqrt{1600 \cdot (4 - 0,75)} = 72,11. \quad (3.41)$$

Принимаем ширину укрепляющей накладки

$$b_n = 80 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина укрепляющей накладки

$$s_{нр} := \frac{F_o - F_{ш}}{2 \cdot (b_n + s_{ш} - s_{шp} - c_k)} = \frac{732 - 40,1}{2 \times (80 + 2 - 0,87 - 0,75)} = 3,80 \quad (3.42)$$

Принимаем исполнительную толщину накладки

$$s_n = 4 \text{ мм.}$$

Тогда площадь сечения наружной укрепляющей накладки

$$F_n := 2 \cdot (b_n + s_{ш} - s_{шp} - c_k) \cdot s_n = 2 \times (80 + 2 - 0,87 - 0,75) \times 4 = 704 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь, участвующая в укреплении отверстия

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ли	Изм.
№ докум.	Подп.
Дат	

$$F_y = F_{ш} + F_n = 40 + 704 = 744 \text{ мм}^2. \quad (3.43)$$

Коэффициент прочности отверстия

$$\frac{F_y}{F_0} = \frac{744}{732} = 1.016 > 1 \quad (3.44)$$

Следовательно, отверстие достаточно укреплено.

### 3.8 Расчет толщины стенки конического днища

Сепарационная камера соединяется с реакционной частью посредством конического днища. Схема к расчету приведена на рисунке 3.6.

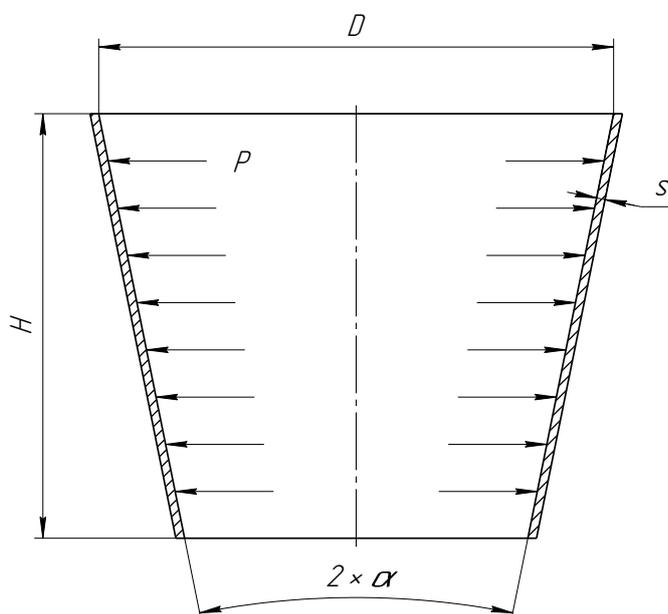


Рисунок 3.6 – Схема к расчету толщины стенки конического днища

Толщина стенки днища не должна быть меньше толщины стенки обечайки (для верхнего сегмента  $s_{вс} = 6 \text{ мм}$ ). Поэтому исполнительная толщина стенки верхнего днища

$$s_3 = 6 \text{ мм.}$$

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

### 3.9 Основные полученные результаты

В этом выпускная квалификационная работе был проведен расчет аппарата ИТН для производства аммиачной селитры. Диаметр сепарационной части аппарата 3600 мм, реакционной часть аппарата 1500мм. Материал исполнения сталь для сепарационной часть 08X18H10T, для реакционной часть 03X18H11. Количество тарелок – 4 штук, высота аппарата 8400 мм.

- Корпус аппарата: толщина стенки цилиндрической обечайки 4 мм. При данной толщине выполняются условия прочности как в рабочих условиях, так и в условиях испытаний  $p_{и} = 0,421 \text{ МПа} < [p]_{и} = 0,952 \text{ МПа}$ ;  $p = 0,121 \text{ МПа} < [p] = 0,573 \text{ МПа}$ ;

Крышка и днища аппарата: при толщине стенки 4 мм обеспечивается прочность крышки как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях

$$p_{и} = 0,421 \text{ МПа} < [p]_{и} = 1,330 \text{ МПа}; \quad p = 0,121 \text{ МПа} < [p] = 0,800 \text{ МПа};$$

Фланцевое соединение: Рассчитали фланца штуцера вывода сокового пара диаметр  $D = 500 \text{ мм}$ ; расчетное давление  $P_p = 0,121 \text{ МПа}$ ; прибавка на коррозию  $c = 0,75 \text{ мм}$ ; Высота фланца: 36 мм.

Таблица 3.1 – Характеристика аппарата

Толщина стенки цилиндрической обечайки, мм	4
Толщина стенки эллиптических крышек, мм	4
Диаметр сепарационной часть аппарата, мм	3600
Высота аппарата, мм	8400
Количество тарелок, шт	4
Реакционной часть аппарата	1500
Диаметр фланца, мм	500
Толщина стенки крническкого днища	6
ширину укрепляющей накладки	80

Ине. № подл.	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат



Потенциальными потребителями результатов реализации проекта являются компании и частные лица, составляющие рынок химического оборудования.

Конечным результатом реализации проекта является удовлетворение двух потребностей:

- предоставление на рынок более эффективного химического оборудования для производства аммиачной селитры ;
- упрощение процесса проектирования реакторов различного назначения за счёт создания программы их расчёта на базе MathCAD

#### 4.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования. Сегментация рынка

В качестве двух основных критериев сегментирования рынка предполагается выделить:

- географическое положение (территория России, ближнее и дальнее зарубежье);
- тип потребителя (крупные химические компании, мелкие частные фирмы, частные лица).

По выбранным критериям была составлена карта сегментации рынка химического оборудования, отражённая на рисунке 1. В качестве конкурирующих компаний были взяты предприятия Экотех НН Химтехпром, ОАО НИИПТхиммаш и торгово-промышленная компания «Стелла». Информация, необходимая для построения данной карты, была взята с

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

		Географическое положение		
		Российская федерация	Ближнее зарубежье	Дальнее зарубежье
Тип потребителя	Государственные компании			
	Частные компании			
	Частные лица			

Рисунок 4.1- Карта сегментирования рынка химического оборудования

где:

– Экотех НН  
Химтехнопром– ОАО  
НИИПТхиммаш– ТПК  
«Стелла»

В соответствии с приведённой на рисунке 1 картой сегментирования были сделаны выводы:

- основные сегменты рынка химического оборудования в данной работы было целесообразно разделить по признакам географического положения и типам потребителей;
- наиболее благоприятными для продаж химических реакторов на первых этапах развития предприятия, в соответствии с картой, являются сегменты, отображающие частные компании и частных лиц, базирующихся в Российской Федерации;
- привлекательными для предприятия в будущем, в соответствии с картой, представляются сегменты государственных компаний Российской Федерации и частных компаний ближнего зарубежья, однако в данном сегменте предстоит столкнуться с высокой конкуренцией.

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 4.1.3 Оценка перспективности разработки

Для оценки качества предлагаемой научной разработки и перспектив её коммерческого успеха была использована технология QuaD.

Для проведения анализа проекта по технологии QuaD были предварительно распределены веса критериев, по которым оценивается научная разработка. В производства химических реакторов одними из наиболее весомых критериев были выбраны:

- энергоэффективность – 0,12;
- надёжность – 0,12;
- безопасность – 0,1;
- простота эксплуатации – 0,1;
- ремонтпригодность – 0,1;
- цена – 0,1

В соответствии с результатами конструктивно-механического расчёта химического реактора одними из наивысших баллов были отмечены следующие критерии:

- простота эксплуатации – 96;
- унифицированность – 95;
- надёжность – 94;
- безопасность – 93;
- энергоэффективность – 92.

В соответствии с пособием список критериев, их веса, а также необходимые расчётные величины заносятся в таблицу 4.1

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

**Таблица 4.1– Оценочная карта для анализа по технологии QuaD**

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1.Энергоэффективность	0,12	92	100	0,92	0,1104
2.Помехоустойчивость	0,05	91	100	0,91	0,0455
3. Надёжность	0,12	94	100	0,94	0,1128
4.Унифицированность	0,05	95	100	0,95	0,475
5.Уровень материалоемкости разработк	0,08	75	100	0,75	0,06
6. Уровень шума	0,01	82	100	0,82	0,0082
7. Безопасность	0,1	93	100	0,93	0,093
8. Потребность в ресурсах памяти	0,005	85	100	0,85	0,00425
9. Функциональная мощность	0,02	87	100	0,87	0,0174
10.Простота эксплуатации	0,1	96	100	0,96	0,096
11.Качество интеллектуального интерфейса	0,005	83	100	0,83	0,00415

Изм. № подл.	Подп. и дата
Изм. № дубл.	Изм. инв. №
Изм. № инв.	Подп. и дата

Продолжение таблицы 4.1

12.Ремонтпри годность	0,1	90	100	0,9	0,09
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
13.Конкуренто способность продукта	0,04	79	100	0,79	0,316
14.Уровень проникновения на ры-нок	0,01	65	100	0,65	0,0065
15.Перспектив- ность рынка	0,01	78	100	0,78	0,0078
16. Цена	0,1	72	100	0,72	0,072
17.Послепро- дажное обслу- живание	0,03	81	100	0,81	0,0243
18.Финансовая эффективность научной разра- ботки	0,03	74	100	0,74	0,0222
19. Срок выхода на рынок	0,01	69	100	0,69	0,0069
20. Наличие сертификации разра-ботки	0,01	68	100	0,68	0,0068
Итого	1			1	0,85805

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Ине. № ине. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Величина, помещённая в графе таблицы «Итого», рассчитана по формуле из

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя

В соответствии с предложенной в классификацией можно говорить о перспективности научной разработки, поскольку значение средневзвешенного показателя качества и перспективности составило 0,86 или 86 баллов. Однако, в результате анализа было выяснено, что слабостью разработки могут оказаться уровень проникновения и сроки выхода на рынок. Эти слабые места необходимо учесть в последующих частях данного раздела работы, а именно – в SWOT-анализе

#### 4.1.4 SWOT-анализ разработки

В данного подраздела был произведён анализ сильных и слабых сторон разработки, рассмотрены перспективы возникновения благоприятных возможностей и угроз, а также дан анализ их корреляции. Матрица SWOT-анализа представлена в данной работе в виде таблицы 4.2 [49].

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	С1. Заявленная энергоэффективность аппарата. С2. Экологичность аппарата. С3. Высокая ремонтпригодность аппарата. С4. Конструкция реактора проста. С5. Продуктом является как сам реактор, так и программа для его расчёта.	Сл1. Нет прототипа разработки. Сл2. Разработка требует большого количества времени. Сл3. Проектируемый аппарат предназначен только для производства только одного продукта. Сл4. Нет возможности быстро организовать производство аппаратов. Сл5. Отсутствие большого опыта проектирования у инженеров-дипломников

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1.Координация деятельности ТПУ с компаниями, являющимися ведущими в химической отрасли.</p> <p>В2.Финансирование разработки университетом.</p> <p>В3.Возможность задействования сторонних специалистов для развития проекта.</p> <p>В4. Близость одной из химических компаний к месту проектирования (Farg'onaazot).</p> <p>В5.Возникновение дополнительного спроса на производимый продукт (аммиачной селитры ).</p>	<p><b>Сильные стороны и возможности:</b></p> <p>1.Имеется перспектива дальнейшего развития проекта при сотрудничестве с другими подразделениями ТПУ.</p> <p>2.Есть возможность установить контакт с компаниями, производящими химическое оборудование, по каналам связи университета.</p> <p>3. Привлечение в проект дополнительных специалистов повысит экологичность и энергоэффективность проекта.</p> <p>4. При работе с более опытными специалистами возникает возможность усовершенствования технологии расчёта реакторов и её переноса на базу более совершенных вычислительных программ.</p> <p>5. Увеличение спроса на аммиачной селитры приведёт к повышению</p>	<p><b>Слабые стороны и возможности:</b></p> <p>1.Относительная универсальность полученной программы компенсирует однозадачность проекта.</p> <p>2.Создание прототипа аппарата может быть профинансировано ТПУ или другими организациями, заинтересованными в разработке.</p> <p>3.Привлечение более опытных специалистов нивелирует недостатки начальной команды.</p> <p>4.Разработка аппарата может быть ускорена через сотрудничество с компаниями-партнёрами.</p> <p>5.Внедрение аппарата в производство также может быть произведено на базе одной из компанийпартнёров</p>
--	--	---

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. ине. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.

<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Падение спроса на продукт, производимый аппаратом.</p> <p>У2. Малое число потенциальных потребителей.</p> <p>У3. Склонность к импорту оборудования из дальнего зарубежья.</p> <p>У4. Введение новых государственных требований к производству продукции.</p>	<p><b>Сильные стороны и угрозы:</b></p> <p>1. Проект можно переориентировать на реакторы для других продуктов ввиду универсальности программы.</p> <p>2. Для преодоления конкуренции импортного оборудования необходимо будет на первых этапах внедрения аппаратов на рынок ориентироваться на менее крупного потребителя, а именно – на мелкие компании и на частных лиц.</p> <p>3. Ввиду принятых в процессе проектирования реактора решений изменения в области стандартизации продукции не отразятся на проекте значительно и не потребуют его переработки.</p>	<p><b>Слабые стороны и угрозы:</b></p> <p>1. Точное сегментирование рынка позволит избежать проигрышной конкуренции с крупными или импортными компаниями, а также снизит вред такого недостатка, как однозадачность разработки.</p> <p>2. Выступление с результатами проекта на научно-практической конференции позволят повысить известность команды и, в случае победы, найти спонсора для промышленной реализации проекта.</p> <p>3. Перестройка программы под реакторы для иных продуктов потребует увеличения времени проектирования, однако этот фактор также можно проконтролировать привлечением специалистов из сторонних организаций.</p>
---	---	---

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----



Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	5	Выбор и анализ технологической схемы	Руководитель, инженер
	6	Календарное планирование работ по теме	Инженер

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Продолжение таблицы 3

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Проведение исследования	7	Проведение технологических расчётов	Инженер
	8	Проведение конструктивномеханических расчётов	Инженер
	9	Осуществление теоретического анализа в области экологии	Инженер
	10	Оценка экономической значимости проекта	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, инженер

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Продолжение таблицы 4.3

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технической документации	12	Составление и оформление пояснительной записки	Инженер
Разработка технической документации	13	Изготовление чертежей и другого графического материала	Инженер
Представление проекта	14	Представление результатов научноисследовательской работы	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Рассмотрим в качестве примера расчёта трудоёмкости этап работы, заключающийся в составлении и утверждении технического задания. Исполнителем на данном этапе является руководитель дипломного проекта. При наиболее благоприятных условиях для анализа, систематизации и представления информации в виде технического задания руководителю потребуется 2 человеко-дня. В случае наиболее неблагоприятных условий, которые могут включать большую загруженность или болезнь, составление технического задания может занять 4 человеко-дня. Исходя из предложенной в формулы, осуществляем расчёт ожидаемой трудоёмкости для первого этапа работы:

Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. име. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат



$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – число календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – число выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – число праздничных дней в году .

В 2020 году, для которого производится расчёт, число календарных дней составило 365, праздничных – 14, выходных – 104. Таким образом, по формуле (8.5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{(365 - 104 - 14)} = 1.48$$

Примем коэффициент календарности равным 1,5. Все рассчитанные значения заносятся в таблицу 4.4 .

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоёмкость работ			Число исполнителей	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	$T_{\text{min}}$ , чел-дн	$T_{\text{max}}$ , чел-дн	$T_{\text{ож}}$ , чел-дн			
1	2	4	2,8	1	3	4
2	5	8	6,2	1	6	9
3	4	5	4,4	1	4	7
4	1	2	1,4	2	1	1
5	1	2	1,4	2	1	1

Инв. № подл. Подп. и дата  
 Инв. № дубл. Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

6	2	4	2,8	1	3	4
7	7	12	7,8	1	8	12

8	16	28	20,8	1	21	31
9	3	10	5,8	1	6	9

Продолжение таблицы 4.4

Номер работы	Трудоёмкость работ			Число исполнителей	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	T <sub>min</sub> , чел-дн	T <sub>max</sub> , чел-дн	T <sub>ож</sub> , чел-дн			
10	3	10	5,8	1	6	9
11	1	2	1,4	2	1	1
12	8	10	8,8	1	9	3
13	8	10	8,8	1	9	13
14	1	1	1	1	1	1

Общая длительность работ в рабочих днях составила 79 дней, в календарных – 118.

Инь. № подл.	Подп. и дата
Инь. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Диаграмма Ганта для научно-исследовательской работы в целях проектирования химического реактора для аммиачной селитры представлена на рисунке 2

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , кал. дн.																	
				фев			мар			апр			май			июн				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление ТЗ	Руководитель	4	■																
2	Изучение теории	Инженер	9	■	■															
3	Патентный поиск	Инженер	7		■	■														
4	Выбор направления	Руков., инж.	1			■														
5	Анализ схемы	Руков., инж.	1				■													
6	Календарное планирование	Руководитель	4				■	■												
7	Тех. Расчёт	Инженер	12				■	■	■											
8	Мех. Расчёт	Инженер	31				■	■	■	■	■									
9	Экология	Инженер	9																	
10	Менеджмент	Инженер	9																	
11	Подведение итогов	Руков., инж.	1																	
12	Составление ПЗ	Инженер	13																	
13	Создание чертежей	Инженер	13																	
14	Презентация	Инженер	1																	

Рисунок 4.2 – Календарный план график проведения НИР по теме

Таблица 4.5 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	118
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	111
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	7

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ следует в первую очередь отметить, что не все из упомянутых в статье будут реализовываться в рамках данного проекта. Список расходов, подлежащих расчёту, имеет следующий вид:

- материальные затраты НТИ;
- Затраты на оборудование
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Поэтому необходимо учитывать материальные затраты. В данной работе в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, CD-диск, картридж для лазерного принтера

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в данной работе принимается равным 25 %).

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица – 4.6

таблица 4.6 - Результаты расчётов по затратам на материалы

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество, ед.	Суммарная стоимость, руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	700	5	3500
Картридж для лазерного принтера MLT-D111S/SEE	3500	1	3500
CD-диск VS CD-RW 500 Мб	95	2	190
Всего за материалы, руб.			7190
Транспортно-заготовительные расходы, руб.			1000
Итого по статье, руб.			8190

### ЗАТРАТЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ноутбук Acer. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Ине. № подл	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	<b>Финансовый менеджмент</b>				
					Лист				
					87				

Таблица 4.7 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	3	25	25
<b>Итого</b>		25 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 25000}{12} \cdot 3 = 2062,5$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В исполнении проекта, описываемого в данной бакалаврской работе, задействованы два работника: руководитель и инженер. Пример расчёта основной заработной платы дадим на примере руководителя, результаты расчёта для инженера будут занесены в сводную таблицу.

По рекомендации консультанта по разделу работы «Финансовый менеджмент» месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{OK} \cdot k_p \quad (4.7)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб;  $Z_{OK}$  – оклад работника, руб;  $k_p$  – районный коэффициент, равный для Томска 1,3 .

Поскольку научным руководителем является доцент, его оклад составляет 33664 рубля. Таким образом:

$$Z_M = 33664 \cdot 1.3 = 43763.2 \text{ руб}$$

Для расчёта среднедневной заработной платы используется формула из [49]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (4.7)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб;  $M$  – количество месяцев работы без отпусков в течение года;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчёт действительного годового фонда рабочего времени сводится в таблицу 4.8. Учтём, что руководитель работает по шестидневной рабочей неделе, а инженер – по пятидневной.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Финансовый менеджмент	Лист
															89

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: •выходные дни; • праздничные дни.	52	104
	14	14
Потери рабочего времени: • отпуск; • невыход по болезни	48	24
	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Количество месяцев работы без отпуска для руководителя-доцента, работающего по шестидневной рабочей неделе с отпуском в 48 рабочих дней, составит 10,4 месяца. Таким образом, по формуле (8.8):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{43763.2 \cdot 10.4}{251} = 1813.3 \text{ руб}$$

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником, раб. дн.

Продолжительность работ для научного руководителя принимаем в соответствии с данными таблицы 11 равной 6 рабочим дням. Таким образом:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$Z_{\text{осн}} = 1813,3 \cdot 7 = 12693,1 \text{руб}$$

Как и было сказано выше, результаты расчёта основной заработной платы инженера сведены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб	кр	Зм, руб	Здн, руб	Тр, руб	Зосн, руб
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1813,30	7	12693,1
Инженер	15000	1,3	19500	1025,4	111	113819,4

#### 4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В соответствии с пособием дополнительная заработная плата исполнителей темы равна:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата исполнителей темы, руб;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимаемый равным от 0,12 до 0,15 .

Примем  $k_{\text{доп}}$  равным 0,12. Таким образом, для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 12693,1 = 1523,2 \text{руб}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 113819,4 = 13658,3 \text{руб}$$

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В соответствии с пособием сумма отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (8.11)$$

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Ине. № ине.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

где  $Z_{\text{внеб}}$  – сумма отчислений во внебюджетные фонды, руб;  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (принимается равным 30%) .

Также по рекомендации пособия расчёт отчислений во внебюджетные фонды оформлен в виде таблицы 4.10.

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель	12693,1	1523,2
Инженер	113819,4	13658,3
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого</b>		
Руководитель	3852,617	
Инженер	34546,46	
<b>Общий</b>	38399,12	

## 5. Накладные расходы и формирование бюджета

В соответствии с пособием накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \sum \text{ст} \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.10)$$

где  $Z_{\text{накл}}$  – сумма накладных расходов, руб;  $\sum \text{ст}$  – сумма статей бюджета с первой по четвёртую, руб;  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимаемый равным 16%) .

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.11.

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Взам. инв. № Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 4.11 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма руб		Примечание
	Руководитель	Инженер	
1. Материальные затраты НТИ	4095	4095	Пункт 2.4.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12693,1	113819,4	Пункт 2.4.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1523,2	13658,3	Пункт 2.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	3852,617	34546,46	Пункт 2.4.4
5. Накладные расходы	2865,12	11111,51	16% от суммы статей с 1 по 4
6. Бюджет затрат на НТИ	202259,707		Сумма статей с 1 по 5

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Ине. инв. №
Взам. инв. №	Подп. и дата
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

**Таблица 4.12 – Группировка затрат по статьям**

Статьи							
Материальные затраты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
8190	2062,5	126512,5	15181,5	38399,12	190345,62	13976,63	204322,25

Ине. № подл.	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

## 5.1 Оценка научно-технического эффекта разработки

Для проведения данной оценки необходимо рассчитать коэффициент научно-технического эффекта по следующей формуле:

$$H = \sum_{i=1}^4 (k_i \cdot n_i) \quad (4.11)$$

где  $H$  – показатель научно-технического эффекта;  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака;  $n_i$  – оценка  $i$ -го признака в баллах.

Признаки научно-технического эффекта разработки систематизируются в соответствующую таблицу 13, в которой также проставляются баллы по каждому признаку.

Таблица 5.1 – Оценка научно-технического эффекта разработки

Признак НТУ	Весовой коэфф.	Балл	Характеристика разработки	Выбранный балл
Уровень новизны	0,6	от 8 до 10 от 5 до 7 от 2 до 4 0	Принципиально новая Новая Относительно новая Не обладает новизной	5
Теоретический уровень результата	0,4	10 8 6 2 0,5	Установление закона Глубокая разработка проблемы Разработка способа (программы, устройства) Элементарный анализ Изложение опыта	6
Возможность реализации	0,2	Время реализации		10
		10	В течение первых лет	
		4		
2	Свыше 10 лет			

Ине. № подл.	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подл.			Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Продолжение таблицы -5.1

Возможность реализации	0,2	Масштаб реализации		4
		10	Народное хозяйство	
		4	Отрасль	
		2	Одно или несколько предприятий	

Таким образом, по формуле (8.13):

$$H = 0.6 \cdot 5 + 0.4 \cdot 6 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 8.2$$

В соответствии с полученным результатом оценки разработку реактора, освещаемую в данной бакалаврской работе, можно охарактеризовать как перспективную, а её научнотехнический эффект как сравнительно высокий.

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

## Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведенного анализа конкурентных технических решений оказалось, что разрабатываемый проект является более конкурентноспособным, чем его аналог. Конкурентным преимуществом разработки является наличие инструмента для планирования вычислительных экспериментов и возможности проводить вычислительные эксперименты по заранее разработанным сценариям;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 118 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 111 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 7;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 204322,25 рублей;

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат



В соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации [77], а именно статьями 92, 117, 147 и 222, работники, задействованные на предприятиях с вредными или опасными производственными факторами, имеют право на следующие льготы:

- сокращение продолжительности рабочего дня;
- предоставление дополнительного оплачиваемого отпуска длительностью не менее 7 календарных дней;
- повышение заработной платы на величину, составляющую не менее 4% от оклада работников, занятых на должностях с нормальными условиями труда;
- организация выдачи молока и лечебно-профилактического питания работникам, занятым на должностях с вредными условиями труда.

Также следует отметить ограничение применения труда женщин и запрет на труд лиц в возрасте до восемнадцати лет на должностях, предполагающих воздействие вредных или опасных факторов производства, в соответствии со статьями 253 и 265 ТК РФ [77].

### 6.1.2 Компоновка оборудования

Спецификой химического производства является наличие токсичных, взрывоопасных и др. веществ. Это приводит к тому, что проектировщики стремятся выносить аппаратуру за пределы цеха. Однако существует ряд запретов, обусловленных спецификой производства:

1. Катализаторы Циглера – Натта используют при определенной влажности, поэтому их нельзя выносить за пределы цеха.
2. Есть жидкости, которые имеют высокую температуру кристаллизации. Поэтому они должны размещаться в отапливаемых помещениях.

Име. № подп	
Подп. и дата	
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

3. Климатические условия района размещения проектируемого объекта: сильные морозы и ветры, сильные пыльные бури выводят из строя оборудование, которое располагается на открытых площадках.

Таким образом, различают следующие варианты компоновки:

- открытый;
- закрытый;
- смешанный

На производстве аммиачной селитры используется закрытый вариант компоновки оборудования. Все оборудование располагается внутри помещений. В соответствии с нормами и правилами производственные здания имеют прямоугольную форму. Многопролетные здания должны компоноваться из параллельно расположенных пролетов, ширину и высоту которых следует принимать одинаковыми. Так ширина пролетов одноэтажных и двухэтажных зданий равна 18, 24, 30 м

Многоэтажные здания следует проектировать шириной не менее 18 м. Шаг колонны составляет 6 и 12 м, высота этажей 4,8 м и 6 м.

Компоновка оборудования включает также проектирование самих помещений:

1. Производственные помещения, в которых располагается основное технологическое оборудование.
2. Прицеховые помещения, где хранится запас того или иного сырья, которое используется для получения полимера.
3. Слесарные мастерские, где производится мелкий ремонт оборудования.
4. Бытовые помещения, гардеробные, помещения для сушки, для обеспыливания одежды, уборная, душевая, курилки.

В основных помещениях предусмотрены отделения для теплового пункта, водоколлекторная, операторные помещения. Также предусмотрены помещения для химических лабораторий.

Инт. № подл.	Подп. и дата
Инт. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инт. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Производственные здания должны иметь эвакуационные выходы для безопасной эвакуации находящихся в здании людей при возникновении пожара или других аварийных ситуаций. В качестве таких выходов можно использовать проезды, проходы, двери и ворота, устроенные для производственных целей. Как правило, производственное помещение должно иметь не менее двух выходов. Расстояние от наиболее удаленного рабочего места до выхода наружу или на лестничную клетку должно приниматься согласно правилам.

## 6.2 Производственная безопасность

В данного подраздела рассмотрены вредные и опасные факторы производства аммиачной селитры на стадии нейтрализации. Собранные данные систематизированы в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Опасные и вредные производственные факторы на стадии нейтрализации аммиачной селитры [55].

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через человека	+	+	+	Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ[7]
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте		+	+	Уровень шума на рабочих местах. СН 2.2.4/2.1.8.562–96[2]
3. Повышенный уровень вибрации		+	+	Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. СН 2.2.4/2.1.8.566–96[2]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[6]
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СанПиН 2.2.4.548–96[1]
6. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[6]
7. Недопустимые метеорологические условия для помещения рабочей зоны	+	+	+	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003[6]

В соответствии с данными, систематизированными в таблице 17, а также руководствуясь стандартами и нормами [54, 56–70], можно дать следующие рекомендации по вредным и опасным производственным факторам:

- поражение органов дыхания. Источником являются пары различных вредных веществ. Природа фактора химическая. Допустимые нормы приведены в таблице 1 в соответствии со стандартом [54]. Для защиты органов дыхания рекомендуется применять противогаз марки БКФ, респираторы «Лепесток», самоспасатели ПДУ-3. При работе внутри аппаратов применяются шланговые противогазы ПШ-1, ПШ-2.

- поражение кожи. Источником являются пары различных вредных веществ, вредные вещества в жидком состоянии, горячий пар. Природа фактора химическая. Для защиты кожных покровов рекомендуется использовать

Ине. № подп.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

соответствующую спецодежду, производить работы только в резиновых перчатках, при необходимости надевать прорезиненные фартуки.

- поражение глаз. Источником являются пары различных вредных веществ и вредные вещества в жидком состоянии. Природа фактора химическая. Защита глаз производится в сочетании с защитой органов дыхания либо при помощи специальных защитных масок.

- поражение желудочно-кишечного тракта. Источником являются пары различных вредных веществ и вредные вещества в жидком состоянии. Природа фактора химическая. Для защиты от проглатывания вредных и опасных веществ строго запрещается употреблять еду, напитки, а также курить во время работы.

- пожаро- и взрывоопасность. Источником являются пары этилена, пропилена, водорода, гептана и бутанола в смеси с воздухом. Природа фактора физико-химическая. Предел взрываемости в объёмных процентах в воздухе: для этилена – от 2,7 до 6,0; для пропилена – от 2,4 до 10,3; для водорода – от 4 до 76; для гептана – от 1,1 до 6,7; для бутанола – от 1,4 до 11,3 [71]. Рекомендации по безопасности – не допускать в процессе работы оборудования огня, искр, курения, применять вентиляцию и защищённое от взрыва электрооборудование. В качестве средств защиты применять автоматическую систему пенного пожаротушения, пожарные гидранты, огнетушители ОПУ-5.

- поражение электрическим током. Источником являются неисправное электрооборудование, оборудование с нарушенной изоляцией, а также поверхности, способные аккумулировать статический электрический заряд. Природа фактора физическая, электрическая. Для обеспечения электробезопасности на производстве необходима регулярная проверка оборудования на исправность, а также создание единой системы заземления во избежание накопления статического заряда. Повышенная электробезопасность в установках достигается применением систем защитного заземления, зануления, защитного отключения и других средств и методов защиты, в том числе знаков безопасности и предупредительных плакатов и надписей.

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. инв. №

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- механические травмы. Источником является оборудование с вращающимися механизмами (реактор с перемешивающим устройством). Природа фактора физическая, механическая. Для обеспечения промышленной безопасности по данному фактору необходимо производить эксплуатацию оборудования в соответствии с технологическим регламентом и правилами техники безопасности.

- шум и вибрации. Источником является оборудование с вращающимися механизмами (реактор с перемешивающим устройством). Природа фактора физическая, в том числе акустическая. Допустимые значения параметров шума в производственном помещении- 85 дБ [67]. Норма вибраций 95 дБ [68]. Основными мерами по снижению шума и вибрации на данном производстве являются: средства индивидуальной защита (наушники); строительно-акустические мероприятия.

- производственный микроклимат. Источником является различное оборудование, находящееся в помещении. Природа фактора физическая, включающая в себя параметры температуры, влажности и скорости движения воздуха. Нормы для производственного микроклимата: температура рабочей среды от 17°С до 20°, относительная влажность от 40% до 60%, скорость воздуха не более 1 м/с [69].

- производственное освещение. Источником являются солнце и различные приборы для искусственного освещения помещения. Природа фактора физическая, представляющая собой излучение. Нормы естественного освещения от 280 до 330 лк [70]. Предпочтение может быть отдано освещению на галогеновых лампах (лампы накаливания с йодным цинком) со сроком службы до трех тысяч часов и спектром излучения, близком к естественному. Конструкция светильника должна надежно защищать источник света от пыли и других внешних факторов, обеспечивать электро-, пожаро - и взрывобезопасность, стабильность светотехнических характеристик в данных условиях среды, удобство монтажа и обслуживания.

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.
Инв. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Поскольку в рабочей зоне могут находиться взрывопожароопасные вещества, светильник должен быть взрывобезопасного исполнения типа ВЗГ.

### 6.3 Экологическая безопасность

В соответствии с перечисленными в предыдущем разделе вредными и опасными производственными факторами, в первую очередь касающимися вредных химических веществ, применяемых при производстве аммиачной селитры, необходимо дать следующие рекомендации в целях соблюдения экологической безопасности.

#### 6.3.1 Защита селитебной зоны

В соответствии с постановлением [72] производство аммиачной селитры является производством II класса опасности и предполагает создание вокруг предприятия санитарнозащитной зоны радиусом 500 м.

#### 6.3.2 Защита атмосферы

Вредными веществами, способными попасть в атмосферу в результате разгерметизации оборудования, являются аммиак, азотная кислота и оксида азота. Для защиты оборудования от разгерметизации и попадания вредных веществ в окружающую среду установлены предохранительные клапаны. Газовые выбросы от этих клапанов при ведении технологического процесса направляются в факельный коллектор на сжигание.

Для обеспечения защиты атмосферы доля вредных веществ в промышленных выбросах, должна соответствовать значениям ПДК<sub>атм.в</sub>, а именно: для аммиака – 3 мг/м<sup>3</sup>; для азотная кислота – 1,5 мг/м<sup>3</sup>; для соквйй пара – 0,1 мг/м<sup>3</sup> [73].

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

### 6.3.3 Защита гидросферы

Для защиты гидросферы от вредных веществ, имеющих возможность попасть в среду через стоки предприятия, сточные воды от промывки

оборудования и мытья полов должны быть направлены в химзагрязненную канализацию и далее на установку локальной очистки сточных вод для очистки от соединений титана, алюминия, масла. Жидкие отходы непосредственно в отделении полимеризации отсутствуют. ПДК для воды рыбохозяйственных водоёмов составляют: для магнезита – 0,03 мг/дм<sup>3</sup>; для взвешенных частиц – 0,75 мг/дм<sup>3</sup> [74].

### 6.3.4 Защита литосферы

Загрязнителями литосферы в производстве аммиачной селитры являются твёрдые отходы, состоящие из различных веществ и образующиеся при чистке оборудования. Основу таких отходов составляет порошок магнезита, их утилизация должна осуществляться посредством сборки в специальные пластиковые контейнеры или полиэтиленовые мешки с последующим отвозом на полигон токсичных отходов. Предельно допустимая концентрация селитры в порошкообразном состоянии в почве нормативными документами не устанавливается

### 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера. Техногенные чрезвычайные ситуации связаны с производственной деятельностью человека и могут протекать с загрязнением и без загрязнения окружающей среды. В ходе проектирования технологического процесса могут возникнуть такие

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Ине. № ине.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

чрезвычайные ситуации техногенного характера, как пожары, взрывы, обрушение зданий, аварии на водопроводах. Не исключен случай возникновения природных чрезвычайных ситуаций. В помещении наиболее возможной ЧС может быть возникновение пожара. Для обеспечения пожарной безопасности применяют негорючие и трудно горючие вещества и материалы вместо пожароопасных, предотвращают распространение пожара за пределы очага, используют средства пожаротушения и т. д. К числу организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности относятся обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и внедрение норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, организация пожарной охраны объекта. В случае возникновения пожара на территории предприятия действия всех работников должны быть направлены на немедленное сообщение о нем в пожарную охрану, обеспечение безопасности людей и их эвакуации, а также тушение возникшего пожара. Для оповещения людей о пожаре должны использоваться тревожные или звуковые сигналы. По каждому происшедшему на предприятии пожару, администрация обязана выяснить все обстоятельства, способствовавшие его возникновению и развитию, после чего разработать перечень мероприятий по обеспечению противопожарной защиты объекта указанием лиц, ответственных за их выполнение.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в производства аммиачной селитры может считаться взрыв или пожар ввиду большого количества легко воспламеняющихся веществ, задействованных в технологии. Общие представления о поведении в чрезвычайных ситуациях даны в стандартах [75, 76].

Защита от возникновения возгорания достигается комплексом мер, частично описанных в предыдущих пунктах данного раздела. В частности, таковыми мерами являются: оборудование цехов огнетушителями, предназначенными для тушения горящих органических веществ; контроль состава воздуха рабочей зоны в целях предотвращения возникновения

Инв. № подл	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.
Инв. № подл	Подп. и дата
	Инв. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

взрывоопасных смесей; организация заземления оборудования для предотвращения скапливания статического электричества и возникновения пробоев и искр.

При возникновении возгорания на предприятии, содержащем аварийно-опасные химические вещества, следует придерживаться следующего порядка действий:

- установить точное наименование и количество хранящихся веществ;
- привлечь к работе специалистов объекта и в процессе работы согласовывать с ними свои действия;
- применять огнетушащие вещества и способы ликвидации горения с учетом свойств хранящихся веществ;
- предусмотреть отвод загрязненной воды в места, безопасные для людей и животных;
- выбирать позиции ствольщиков преимущественно с наветренной стороны; при образовании облака паров и газов АХОВ, эвакуировать с подветренной стороны людей и животных и организовать осаждение облака путем подачи распыленных струй;
- вызвать санитарно-эпидемиологическую службу для контроля за изменением концентрации опасных веществ в продуктах горения, и после ликвидации пожара;
- совместно с администрацией объекта определить предельно допустимое время пребывания личного состава на зараженном участке;
- установку пожарных и аварийно-спасательных автомобилей произвести так, чтобы они не попали в зону заражения;
- в зоне заражения тушение пожаров и проведение АСР проводить после получения соответствующего допуска и минимальным количеством личного состава, обеспечив его индивидуальными средствами защиты, соответствующими виду АХОВ, находящемуся на объекте;

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № дубл.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат



## Заклучение

В рамках данной дипломной работы был произведен технологический и конструктивно-механический расчет аппарата ИТН (использование тепло нейтрализации) для нейтрализации раствор аммиачной селитры до 89-92%. В результате произведённых расчетов были определены основные геометрические параметры аппарата, рассчитаны штуцера, фланцевое соединение, опоры, подобраны привод. По результатам механических расчетов, рассчитали исполнительную толщину стенки аппарата, исполнительную толщину стенки крышки и днища можно сделать заключение, что все подобранные элементы конструкции удовлетворяют условиям прочности и устойчивости. В связи с чем, результаты данной работы могут быть применены для построения аппарата и использования его на действующих промышленных предприятиях, специализирующихся на подобной продукции. В качестве примера заинтересованного предприятия можно привести “АО Ферганаазот”.

В разделе “Финансовый менеджмент” произведен SWOT-анализ и оценен научно-технический эффект и конкурентоспособность данной разработки. Была спланирована реализация проекта, результатом чего стала диаграмма Ганта, в которой отражено время, затраченное на разработку реактора с учетом консультаций научного руководителя.

Помимо вышеуказанного в работе приведён раздел “Социальная ответственность”, где отражены рекомендации по безопасной работе персонала с данным аппаратом и рассмотрены вопросы обеспечения охраны окружающей среды.

Ине. № подл	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	заклучение	Лист
											110

## Список использованных источников

1. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. – 522 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.–742 с.
3. Технология аммиачной селитры / Под ред. проф. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1978.–311 с.
4. Скобло А.И. и др. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. – 677 с.
5. Скобло А. И., Трегубова И. А., Молоканов Ю. К. Процессы и аппараты нефте-перерабатывающей и нефтехимической промышленности, М.: Химия, 2001 – 584 с.
6. Павлов К.Ф., Романков А.А., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – Л.: Химия, 1981. – 552 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
8. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.
9. Минович .М.А Производство аммиачной селитры . издательство Москва: Химия, 1968. -53 с.
10. Дубовицкий А.М Производство минеральных удобрений . Изд Москва : Химия ,1947. – 127 с.
11. Богуславский В.Н Производство аммиачной селитры . Изд техника – Киев: Химия, 1968. -103 с.

12. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие./Под ред. Б.Д. Кошарского. – Л.: Машиностроение, 1976. – 488 с.

13. Сборник законодательных и других нормативных правовых актов по охране труда./Под ред. В.С. Шевцова. – Пятигорск: «Спецпечать», 2002.

14. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л. Безопасность технологических процессов производств (Охрана труда). – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.

15 .ГОСТ Р 34233.2.–2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - М.: Изд-во стандартов, 2007. – 44 с.

16 .Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник./А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с

17. ГОСТ Р 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.. - М.: Стандартиформ, 2017. -30 с.

18. Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.:Химия, 1991. — 496 с.

19. ГОСТ 6533-78\*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 78. - 26 с.

20.Бобков А.С. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности. /А.С.Бобков, А.А.Блинов, И.А.Роздин., Е.И.Хабарова. –М.:Химия, 1998. –400с.

21 . Белов ,Сергей Викторович . Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техноосферная безопасность ) : учебник для академического бакалавриата / С.В. Белов .-5 –е изд ., перераб.и доп..-Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015.-703 с.

22 . Безопасность жизнедеятельности .Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебные пособие для вузов / П.П. Кукин и др. -5 – е изд ,стер.- М : Высшая школа , 2009 – 335 с.