

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проект низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М.

УДК 66.023.2:66.074.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	К.Т.Н.		

Томск – 2020г.

Планируемые результаты обучения по ООП 18.04.02 выпуска 2020г.

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР и/или заинтересованных сторон
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ), <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 28.004 «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»,
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

2

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР и/или заинтересованных сторон
Р7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО,СУОС, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 28.004 - «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов», 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
Р8	Проводить все стадии проектирования с использованием компьютерного 3-х мерного моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 - «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования»
Р9	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО,СУОС ТПУ, <i>CDIOSyllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACEиFEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам », 19.00- «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования», 19.008 «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Беляев В.М.
 (Подпись) _____ (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли

Тема работы:

Проект низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 02.03.2020 № 62-11/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Реактор каталитической очистки выхлопного газа Агрегата АК-72М проектной производительностью 185953,8 м³/час; Режим работы - непрерывный; Вид сырья выхлопные газы абсорбционного аппарата; Требования к продукту: очистка выхлопных газов до содержания окислов азота не более 0,005 % об.;</i></p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).</p>	<p><i>Реферат</i> <i>Введение</i> 1. Литературный обзор 2. Описание технологической схемы 3. Технологический и механический расчёт реактора каталитической очистки 4. Технологический и механический расчёт теплообменника 5. Механо-технологический раздел (монтаж оборудования) 6. Автоматизация и контроль производства 7. Социальная ответственность. 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 9. Раздел выполненный на иностранном языке 10. Результаты проведенного исследования (разработки) <i>Заключение</i> <i>Список литературы</i> <i>Приложение</i></p>
--	--

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1. Технологическая схема. 2. Реактор каталитической очистки. Чертеж общего вида. 3. Реактор каталитической очистки. Выносные элементы. 4. Теплообменник. Чертеж общего вида. 5. Теплообменник. Выносные элементы. 6. Монтажный чертеж. 7. Схема автоматизации и контроля производства. 8. Показатели ресурсоэффективности и ресурсосбережения.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.т.н. Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н. Романцов Игорь Иванович
Иностранный язык	Доцент, к.ф.н. Диденко Анастасия Владимировна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

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

Задание выдал руководитель/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	к.т.н., доц		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	НОЦ имени Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химиче- ской технологии, нефтехимии и био- технологии

Тема ВКР:

Проект низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является реактор каталитической очистки нитрозных газов для обезвреживания выхлопных газов производства слабой азотной кислоты в агрегате АК-72М от оксидов азота до 0,005 % объёмных.</p> <p>Рабочее место - 6-й блок Агрегата АК-72М Отделение нагрева и каталитической очистки выхлопного газа, позиция Р-40. Центральный пульт управления агрегата АК-72М. На рабочем месте оператора каталитической очистки в 6-м блоке комбинированная система освещения: естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами) и искусственное освещение (светильники типа НСП-02-200); в центральном пульте управления - комбинированная система освещения: естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами) и искусственное освещение (светильники типа ARS/R 4x18 HF). Окна имеют типовую конструкцию с повышенной звукоизоляцией за счет толстых двойных стекол и воздушного пространства между ними. В помещении существует приточная и естественная вентиляции при помощи форточек и вентиляционных каналов. Оператором каталитической очистки производятся работы, связанные с вредными веществами, такими как: аммиак и окиси азота.</p> <p>Область применения - химическая, нефтехимическая и энергетическая промышленность.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299-2015 и ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ Законодательные и нормативные документы по теме:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Федеральный закон М 426-ФЗ от 28.12.2013г. 2. СанПиН 2.2.4.548-96. 3. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. 4. ГОСТ 12.1.003-83. 5. СН2.2.4/2.1.8.566-96 6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. 7. ГОСТ 12.1.002-84. 8. ГОСТ 12.0.004-90. 9. Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. 10. Федеральный закон № 421-ФЗ от 28.12.2013 г. 11. ГОСТ Р 22.0.01-94. 12. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. 13. Конституция Российской Федерации; 	
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>2.1. Выявить вредные факторы в химической лаборатории: наличие токсичных веществ, освещенность, шум, вибрации, микроклимат; Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • требования к технике безопасности при работе с вредными веществами; • Превышение уровня шума; • Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности • Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: повышенная температура рабочей поверхности, электрический ток, короткое замыкание, химические и термические ожоги, механические повреждения, отравление. Предлагаемые средства защиты: перчатки, ухваты, спецодежда. 	
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>3.Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выбросы вредных веществ в атмосферу: выхлопной газ, вентиляционные выбросы; • химическое загрязнение водотоков в результате отмывания химических отходов в канализационную сеть: Сточные воды; • необходимость осуществлять отдельный сбор и хранение отходов, подвергать их переработке, утилизации или захоронению. 	
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС; пожар, взрыв, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясение. Наиболее актуальная ЧС - возникновение пожара; Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации её последствий:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита; 2. обеспечение средствами индивидуальной защиты; 3. организационная эвакуация работников. 	
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>		<p>02.03.2020</p>

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕ- СУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление / специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерного проекта (ИП)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИП	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Расчет бюджетной стоимости ИП
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИП	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. График разработки и внедрения ИП
4. Бюджет ИП
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли		

					ФЮРА.440001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит расчетно-пояснительную записку из 246 страниц, 43 рисунков, 51 таблиц, 85 источников литературы и 2 приложений.

Ключевые слова: *каталитическая очистка, Селективность, Выхлопные газы, Окиси азота, низкотемпературный реактор.*

Объектом исследования являются возможность сокращения окисей азота в выхлопных газах в области химической промышленности слабого азотного производства в агрегате АК-72М.

Цель работы – Спроектировать низкотемпературный реактор селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М.

В процессе исследования проводились рассмотрения и сравнения современных предложений по снижению выбросов окисей азота, методов очистки выхлопных газов от окисей азота, изучено подразделение каждого метода в отдельности, недостатки, специфичность и удобства методов сухой и мокрой очистки.

В результате исследования был спроектирован низкотемпературный реактор селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М производства слабой азотной кислоты с новым катализатором АМЦ-Ю.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: В результате проведенной работы был рассчитан реактор низкотемпературный селективной очистки окисей азота от выхлопных газов и получены следующие: в качестве материала корпуса сталь 12Х18Н10Т по ГОСТ 34347-2017. Рассчитано геометрические размеры реактора : диаметр 3800 мм длина 8100 мм. Также было рассчитано толщина стенки аппарата и принято 20 мм и установлены 2 эллиптические крышки типа Крышка 3800-20-950-ГОСТ 6533-78 толщиной равный 20мм. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук) Опора ПЛ 630-1920-I ОСТ 26-2091-93. Определили геометрические размеры фланцевого соединения ($D_n=740$ мм; $D_6=700$ мм; $h=35$ мм), а так же размеры ($d=20$ мм) и количество шпилек ($n=28$ штук). Условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются. Условие поворота плоского фланца выполняется. Условие прочности прокладки выполняется. Условие прочности выполняется. На выходе из реактора содержание окиси азота в очищенном газе получился 3.117×10^{-5} что равно 0.03 гр/м³. Что доказывает эффективность работы проектируемого реактора. В качестве вспомогательного оборудования был спроектирован теплообменный аппарат согласно которому был спроектирован теплообменник 159ТКГ-1.6-М1.

Область применения: низкотемпературный реактор селективной очистки окисей азота от выхлопных газов можно применить в производствах азотной кислоты, в основном в агрегате АК-72М с модернизированным осевым компрессором марки КМА-5, в технологиях где участвуют топочные котлы сжигающие уголь, нефтепродукты и газы где возможно образование окисей азота.

Значение интегрального финансового показателя инженерного проекта составляет 0,665 что является показателем того, что инженерного проекта является финансово выгодной, по сравнению с аналогами, значение интегрального показателя ресурсоэффективности инженерного проекта составляет 4,25, Значение интегрального показателя эффективности инженерного проекта составляет 6,4 и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в проекта, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.

АВК	-	Алюмованадиевый катализатор
АП	-	Алюмоплатиновый катализатор
АПК	-	Алюмопалладиевый катализатор
СКВ	-	Селективная каталитическая восстановление
СНКВ	-	Селективная некаталитическая восстановление
СНГ	-	Содружество Независимых Государств - международная организация
АК-72	-	Агрегат производства "Азотная кислота -72"
АК-72М	-	Агрегат производства "Азотная кислота -72 модернизированная"
АМЦ	-	Алюмомедьцинковый катализатор
поз.	-	Позиция
БНГ	-	Блок нагрева газов
ТВД	-	турбины высокого давления
ТНД	-	турбины низкого давления
КМА	-	комплексного машинного агрегата
ПТ	-	паровая турбина
ОК	-	осевой компрессор
ПДК	-	Предел допустимой концентрации
КГ	-	Кран гусеничный
НПК	-	Нефтехимический промышленный кластер
ОТБ	-	Общезаводская инструкция техники безопасности
СИЗ	-	средства индивидуальной защиты
АО	-	Акционерное общество
ПТБ	-	Правила техники безопасности
ЧОВ	-	Частично обессоленная вода
ИП	-	Инженерный проект

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
Очистка выхлопных газов от окисей азота	15
Селективное каталитическое восстановление	16
Селективное высокотемпературное (некаталитическое) восстановление аммиаком.....	19
Неселективное каталитическое восстановление.....	20
Кинетика реакции каталитического восстановления NO_x	21
Адсорбционные методы	24
Очистка газовых выбросов в каталитических реакторах.....	25
Метод жидкофазной денитрации газов.....	27
Заключение	27
1.2 Патентный поиск.....	29
2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БЛОКА	32
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РЕАКТОРА СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА...	38
3.1 Цель расчёта реактора каталитической очистки.	38
3.2 Расчетная модель.....	38
3.3 Исходные данные расчёта реактора каталитической очистки.	39
3.4 Основные результаты технологического расчёта.....	40
3.5 Выводы по расчёту реактора каталитической очистки.....	42
4. РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА (ПОДОГРЕВАТЕЛЯ)	43
4.1 Цель расчёта теплообменника.	43
4.2 Расчетная модель.....	43
4.4 Основные результаты технологического расчёта.....	45
4.5 Выводы по расчёту кожухотрубчатого теплообменника.	48
5. МЕХАНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ (МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ)	49
Расчёт такелажной оснастки и крана	49
Выверка, обвязка и испытание реактора	52
Ведомость монтажных механизмов, инструмента	54
6. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	55
6.1 Описание технологического процесса и схемы.....	55
7. Социальная ответственность	64
Введение.....	64

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
7.2 Производственная безопасность	68
7.3 Экологическая безопасность.....	76
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	81
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	82
8.1 Введение.....	82
8.2 Анализ конкурентных технических решений.....	82
8.3 SWOT-анализ.....	84
8.4 Определение трудоемкости выполнения работ	86
8.5 Разработка графика проведения исследования.....	87
8.6 Бюджет научного исследования	90
8.7 Заключение по разделу.....	98
9. Раздел выполненный на иностранном языке	99
10. Результаты проведенного исследования (разработки)	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
Список использованных источников	118
Приложения А Технологический и механический расчёта низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота.....	125
Приложение Б Технологический и механический расчёт кожухотрубчатого теплообменника.....	188

ВВЕДЕНИЕ

Азотная кислота – настоящее универсальное сырьевой материал для производства разных видов как сыпучих, так и жидких удобрений, основной элемент при производстве полимеров в промежуточном этапе и добыче полезных ископаемых, технологии по выпуску азотной кислоты весьма разнообразны и обширны.

Азотная кислота по методу производства обладает большим опытом, и современная история производства азотной кислоты получила начало в прошлом веке. В 1901 году, с того момента Вильгельм Оствальд, воссоздав надобные условия для окисления NH_3 , получил высокий выход NO_2 . Ранние агрегаты по производству азотной кислоты, работающие по технологии Оствальда, начали работать в первом десятилетии XX века.

В Советском Союзе с созданием индустрии связанного азота как крупнотоннажного отрасли химической индустрии касается к годам первой пятидесяти лет прошлого века, когда совместно с остальными первенцами тяжелой индустрии были впущены такие химические заводы как Березниковский и Чернореченский, в то время как завершалось возведение Новомосковского химического комбината и азототукового завода в Горловке.

В дальнейшие годы продолжительному прогрессу промышленности азотной кислоты в нашей стране уделялось большое значимое внимание. 2-е место занимал Союз Советских Социалистических Республик к началу сороковых годов по производству азотной кислоты по годовой производительности и по объёмам отдельных производств которая стала одним из значимых ветвей химических производств [1].

В настоящее время по всей территории Российской Федерации действуют 14 крупнотоннажных заводов по производству азотной кислоты. Каждый завод может предложить свой специфичный продукт, так как из них направлены на производства:

Неконцентрированной азотной кислоты	11
Концентрированной азотной кислоты	4
Реактивов	4
Азотная кислота Особой чистоты	2
Отбеленная азотная кислота	1

С прохождением времени технологические аппараты и процессы безостановочно модернизировались с повышением требований, относящихся контролю загрязнения воздушной среды, востребованностью снижения затрат на энергию и повышения рентабельности производства для конкурентоспособности продукции.

Возникшие вышеуказанные задачи связаны в первую очередь большим спросом на азотную кислоту (см. рис. 1).

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

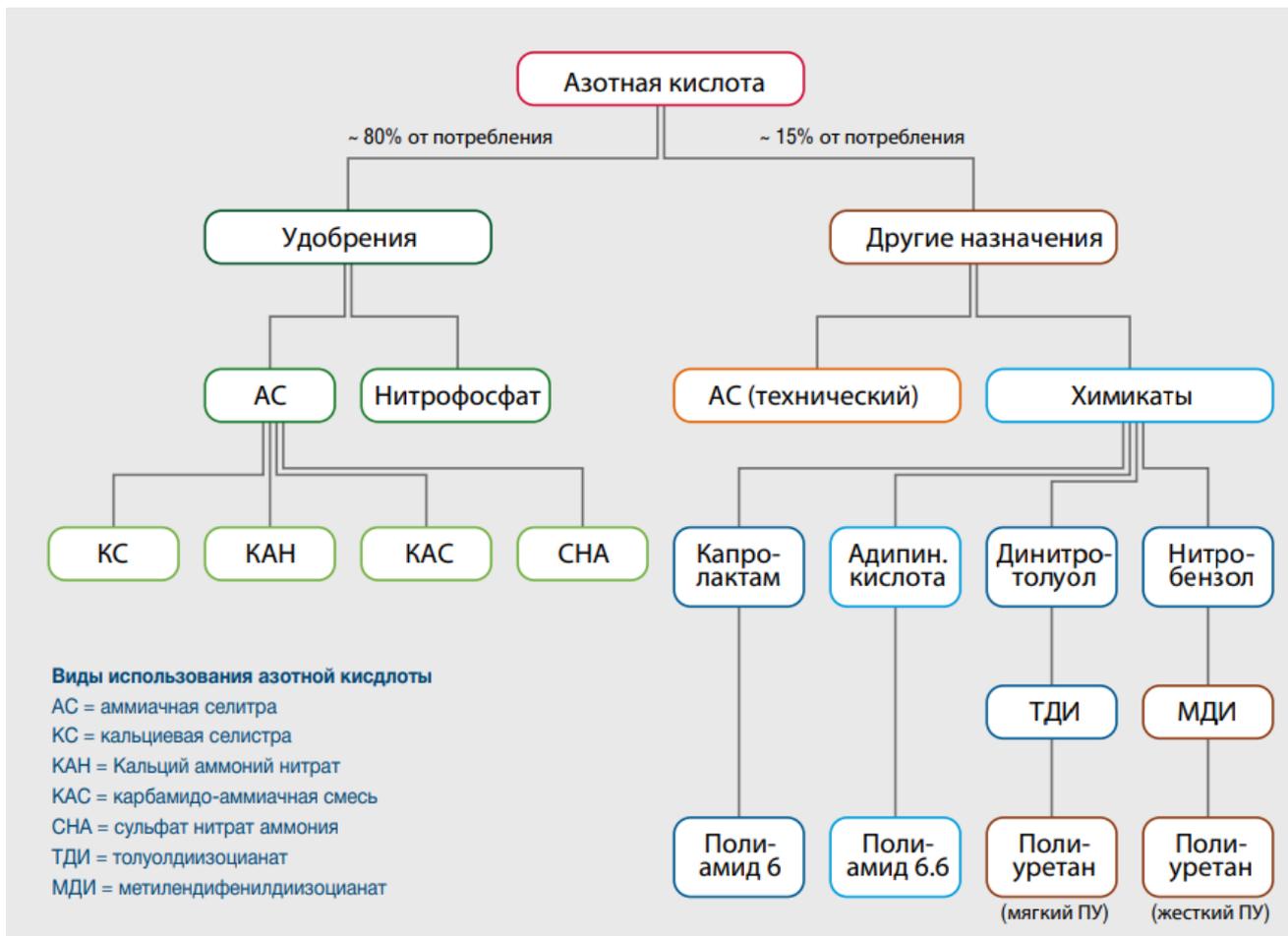


Рис. 1 Область применения азотной кислоты.

В связи с большой областью применения в конце XX века в России началась тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ разными отраслями. Доля NO_x в составе этих выбросов уменьшается и это следует подчеркнуть как достижение.

Природоохранные мероприятия и ужесточение экологического контроля уничтожает всего 20 % выбросов агрессивных и отрицательно действующих выбросов в состав которых входит также окиси азота в экологию вселенной.

В естественной природе NO_x возникает при пожарах лесов. Впрочем, большие концентрации загрязнителей в городе и в вокруг промышленного предприятия связаны с антропогенной функционирования человека. NO_x в значимом объёме образовывается при работе двигателя внутреннего сгорания, ТЭС и в процессе взаимодействия металлов азотной кислотой.

Кислотные дожди возникают при содержании в воздухе оксидов азота. Азотная кислота, создающаяся из оксидов азота, составит примерно 35% от всех кислот, в составе дождевой воды.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Рост выбросов NO_x связан с умножением хвостовых газов, так как с каждым годом растут объёмы производства азотной кислоты.

Современные предложения по снижению выбросов окисей азота можно рассмотреть по следующим мерам:

1. Использование как абсорбент щелочные растворы, концентричной H_2SO_4 , аммиака и др. проявляющие способность поглощать оксиды азота из нитрозного газа;
2. Использование адсорбционной очистки и как адсорбент воспользоваться силикагелем, углём и другими. Способных совершить избирательно поглощать окисей азота.
3. Использование высоко – эффективных путей очищения выхлопных газов от окисей азота методом восстановления с образованием N_2 [2].

Очистка выхлопных газов от окисей азота

Пути и технологии

Исследования принципов возникновения окисей азота при производстве намного увеличилось в нашей современности. Это связан с важностью вопросов защиты окружающей среды и атмосферы от окисей азота. Отрасли промышленности где возможно образования окисей азота в плотности начали модернизироваться и процессы изучаться на кинетическом уровне.

Методы очистки выхлопных газов от окисей азота подразделяются на:

- мокрые методы
- сухие методы

При первом случае удобрения полученное как результат очистки оправдывает некоторую часть расходов. Так как по методу образуется и молекулярный азот, и комплекс веществ, которых являются удобрениями.

Мокрые методы по возможности регенерации адсорбционной смеси делятся на однократные и многократные, которые работают по следующим принципам:

- Окислительно – абсорбционный;
- Абсорбционно – окислительный;
- Абсорбционно – восстановительный.

Мокрой очисткой пользуются в технологиях ТЭЦ их не будем рассматривать детально в связи с отсутствием в исходном нитрозном газе производства азотной кислоты отсутствует пыль и зола.

Методы сухой очистки по удалению NO_x [6]:

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						15
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- селективное каталитическое восстановление аммиаком (СКВ);
- селективное высокотемпературное (не катализаторное) восстановление аммиаком;
- неселективное каталитическое восстановление;
- адсорбционный.

Недостатком методов сухой очистки на высокая производительность по очищаемому газу (1 млн. м³/ч газа). Это и объясняет крупные расходы на капитальные затраты и крупные габариты аппаратов.

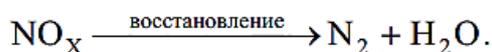
Фирменные разработки в основном изучают сухую очистку, особенно СКВ с аммиаком. Всего насчитывают оба метода около 50 видов [1].

При жидкофазных методах в крупно объёмных аппаратах есть потребность для промывки газа.

Селективное каталитическое восстановление

Селективное каталитическое восстановление аммиаком (СКВ) применяется для эффективной очистки от окислов азота.

Общая схема СКВ [7]:



Достоинства СКВ:

очищение смеси газов с низким содержанием вредных газов;

- эффективность;
- непрерывный режим работы;
- возможность получения из отходов востребованной продукции.

Минусы СКВ: цена и время применения катализаторов,

Решающий аппарат гетерогенно-каталитического процесса — это реактор, с твёрдым катализатором разных форм поверхность которых до 1000 м²/г [1].

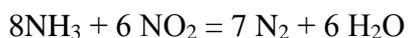
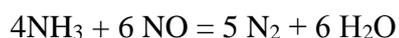
На сегодняшний день исследован и теоретически и практически все основы для производства катализаторов разных значений. Которые владеют большой удельной поверхностью и наименьшим гидравлическим сопротивлением [7].

Больше всего применяется каталитические методы обезвреживания в неподвижном слое катализатора, и она называется стационарный методом. Существует также создаваемый искусственно нестационарный метод.

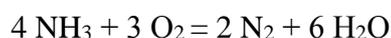
Стационарный метод работает при 200...600 °С. Очищенные газы можно выбрасывать в атмосферу если не применять для нагрева подаваемой смеси в реактор.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В селективном восстановлении на катализаторе АВК 10 в присутствии аммиака при температуре 300°С проходят реакции [2]:



Для основной реакции потребуется соотношение 1,15 NH₃ : 1 оксиды азота [2].



На рис. 1.1 изображена схема каталитической очистки, которая работает по этой реакции.

Нитрозные газы из подогревателей 1 с температурой 240—250 °С для смешивания с аммиаком, подаваемым с температурой 110-140 °С из подогревателя 4 поступают в смеситель 2. Далее смесь подаётся в реактор 3 и катализатор АВК-10 активирует процесс восстановления. После концентрации оксидов азота снижается до 0,005 % (объёмных), очищенный газ с температурой около 280-310°С рекуперерируется и выбрасывается [2].

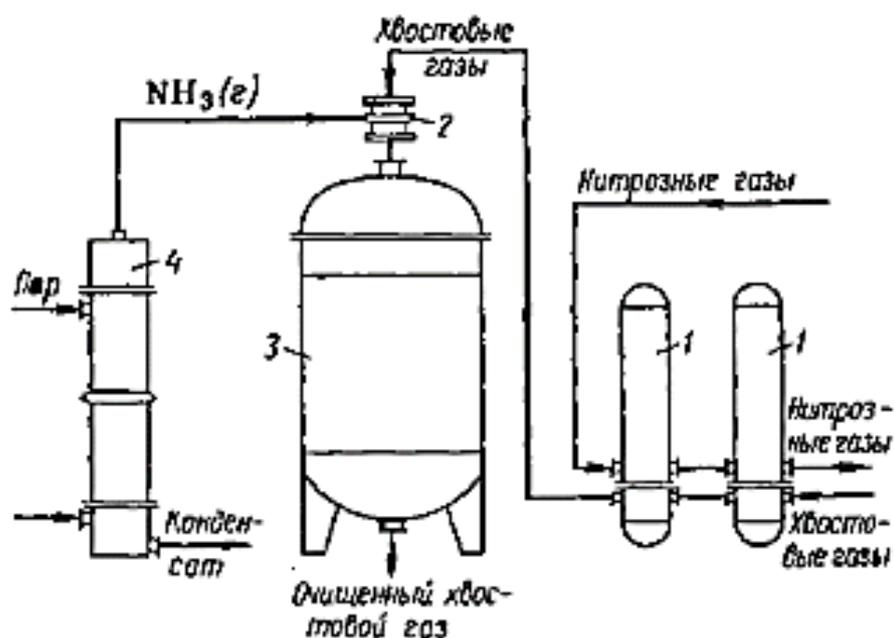


Рис. 1.1 Схема селективной каталитической очистки [2]:

1- подогреватель нитрозных газов; 2- смеситель; 3 — СКВ;

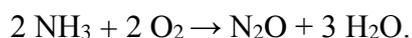
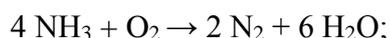
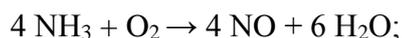
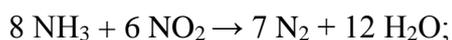
4— подогреватель аммиака.

Ходкость СКВ распространило его. Особенностью этого процесса является работоспособность присутствии кислорода. Как восстановитель работает аммиак, растворы

аммиака, жидкий аммиак. При конверсии метана аммиак получается перед слоем катализатора.

При селективном восстановлении NO_x также применяется сероводород. С учётом содержания окислов азота в очищаемом составе и степени очистки.

Реакциями, протекающими при восстановлении оксидов азота в среде кислорода [2]:



Показания разделения NO в разных катализаторах проходит при температурах.

$\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ 300 °С

$\text{V}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ 400 °С

$\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 310 °С

Оптимальной температурой принято 200...400 °С для реакций восстановления [8].

При стационарном методе на эффективность восстановления также влияет газы с переменными нагрузками и изменяющимися концентрациями

Эффективная работа таких аппаратов совершенна в системах автоматического управления процессом. Также в соответствии следующим требованиям [28]

- работоспособность клапанов;
- скорость изменения температуры в зависимости от нагрузки;
- содержание исходного газа;
- выполнение планового ремонта и замены основных частей реактора;
- контроль катализаторной активности.

При создании установок СКВ по финансовой части используют технические предложениями института "Уралгипрохим", по исходным данным - института катализа СО РАН для ТЭЦ. При этом концентрация дымовых газов электроциклической газоочисткой [1].

Селективное высокотемпературное (некаталитическое) восстановление аммиаком

Термические (деструктивные) методы являются простыми и дешёвыми из газофазных технологий денитрации газов. Которая термически разлагает оксидов азота переводя к низкотемпературно разлагаемым веществам. Также название имеет этот же метод - гомогенное восстановление аммиаком. Механизм этого метода заключается в том, что газ, в котором присутствует NO и NO₂, смешивается с аммиаком газообразным, в стехиометрически соответствующих пропорциях к окиси. Высокотемпературные очистительные способы отличаются простотой и не дороговизной среди других. Гомогенное восстановление с аммиаком активно распространяется и по сей день которая работает за счёт разложению оксидов азота после образования из них веществ, которые обладают такими свойствами как разложения при низкой температуре. В влажных условиях селективное реагирование аммиака с оксидами азота приводит к получению нитрита и нитрата аммония и дожигаются при температуре 220-270 °С [9]. Образованное при этом тепло можно использовать для автотермичного поддержания тепла, но нужно будет сохранять постоянство подаваемых составов.

При температуре 900...1000°С основанная на нижеуказанной реакции проходит гомогенное восстановление аммиаком. Разработчиком которого стал Американская фирма "Еххон" степень очитки которого составил 60-70%.

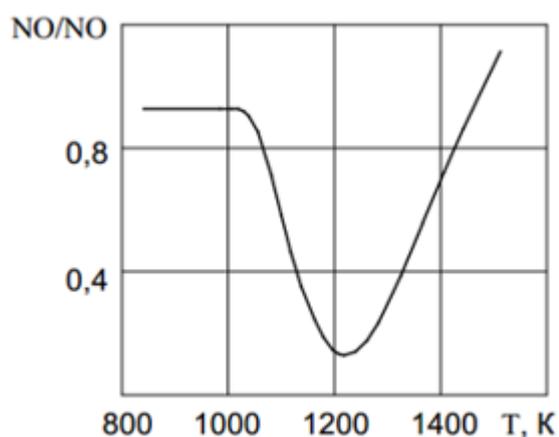


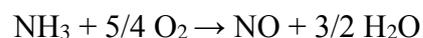
Рис. 1.2 Зависимость относительной остаточной концентрации NO от температуры при восстановлении оксидов азота аммиаком.

Начальная концентрация NO=300 ppm,

NH₃=300 ppm [1]



При высокой температуре снижается степень очистки, как показано на рис.2 [1] поскольку реакция сменится на эту:



Для прохождения процесса гомогенной очистки более эффективного потребуется:

- организация полного смешения газов,
- внедрение восстановителей работоспособных широким температурном интервале [9].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

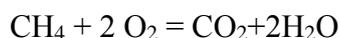
ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

19

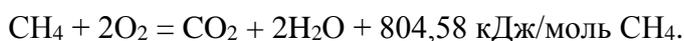
Неселективное каталитическое восстановление

На АП-2 алюмопалладиевом катализаторе при участии природного газа по следующим реакциям проходит неселективное восстановление:

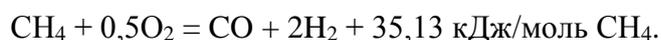


Температура пуска катализатора АП-2 450 — 500 °С. Продукт из реактора выходит с температурой 700 °С. Так как реакция восстановления проходит с выделением тепла.

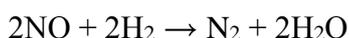
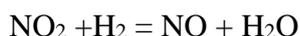
Неселективный метод применяется в агрегате АК-72 и требует при пуске «выжигания» кислорода метаном для поднятия температуры [2]:



Кислорода должно быть в избытке поскольку:



Элементарный азот образуется по реакциям:



В присутствии в составе очищаемых газов содержание кислорода перерасходуется метан в небольшом количестве.

Кислорода в очищаемых газах содержится в ТЭС-х газах, производствах азотной кислоты. В первых 3 - 8 %, во-вторых 2 – 3 %.

В восстановительной среде надо держать отношение CH_4/NO_x 0,55...0,56.

Излишек метана образует оксида углерода как токсин в выхлопе [18].

Концентрация СО в выхлопных газах составляет 0,22...0,4% по объёму.

Катализаторы высокотемпературного восстановления содержат Pt, Pd, Rh, Ni, Cu, Cr, а также ряд сплавов. Форма носителей: таблетированные, формованные. Таблетированный оксид алюминия с 2% ным Pd катализаторы марки АПК-2 применяется основном в СНГ. На выходе по объёму 0,005% содержит оксидов азота с восстановителем - метан. В реактор входит газ с объёмной скоростью - 15...25 тыс./ч температурой 400...500 и выходит 700...750 °С. Этот метод чаще всего применяется в СНГ на АК-72 [17]. А Германия всё чаще применяют этот метод к газам Теплоэлектростанций [1].

Процесс очистки воспроизводится на Ра катализаторе при 430 °С и только на следующем слое катализатора при 390-410 °С образования SO_3 из SO_2 которая будет служить сырьём для получения серной кислоты. Ещё один из видов подобного алгоритма это каталитическое восстановление метаном в отсутствии кислорода из NO_x и SO_2 до N_2 и H_2S . Где как продукт

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

получается H₂S. Но несмотря на обнадёживающие плюсы есть и минусы это увеличение скорости коррозии металлических частей аппаратов и расход метана.

700 МВт-ный энергоблок образует дымовых газов 25-105 м³/час с 2% объёмом кислорода для очистки этого объёма газа метана потребуется 24000 м³/час из которого 420 м³ будет участвовать в нейтрализации окисей азота.

Недостатки метода:

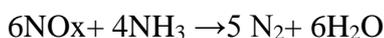
- высокая температура пуска реакции;
- не исключительность образования оксида углерода;
- большой расход кислорода;
- высокие затраты на утилизацию тепла;

Катализаторами каталитического восстановления окислов азота являются:

- алюмованадиевый (АВК-10);
- алюмопалладиевый (АП-2) [16].

Кинетика реакции каталитического восстановления NO_x

Очистка аммиаком в каталитической системе проходит по реакции:



Проскок аммиака в нормальных условиях и $\alpha = 1.4$, не выше [28]:

- при СНКВ - 20 мг/м³;
- при СКВ - 4 мг/м³.

И скорость реакции в простом виде равна:

$$-d[\text{NO}]/d\tau = k[\text{NO}],$$

где k - константа скорости реакции, отнесённая к единице объёма катализатора;
τ- время[NO].

Для интегрирования разделим переменные

$$-d[\text{NO}]/[\text{NO}] = k \cdot d\tau$$

В интегрированном виде уравнение будет равно:

$$\int_{\text{вх}}^{\text{вых}} -d[\text{NO}]/d\tau = \int_0^{\tau} k d\tau,$$

$$\ln[\text{NO}]^{\text{вх}} - \ln[\text{NO}]^{\text{вых}} = k\tau,$$

$$\ln([\text{NO}]^{\text{вх}}/[\text{NO}]^{\text{вых}}) = k\tau.$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

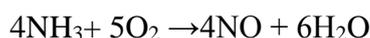
Тогда константу скорости реакции, которая определяет максимальную эффективность катализатора при заданной концентрации окислов азота:

$$k = 1/\tau \ln([\text{NO}]^{\text{вх}}/[\text{NO}]^{\text{вых}}), 1/\text{ч},$$

выразим уравнением Аррениуса, связанным с температурой:

$$\ln k = A - E/RT$$

Аммиак подаваемый на нейтрализацию реагирует и с кислородом, содержащимся в газовой смеси.



Скорость этой побочной реакции будет равна:

$$+d\text{NO}/d\tau = [\text{NH}_3]$$

При сравнении разных видов катализаторов в этом случае обязательно учесть скорости как взаимодействия аммиака с окислами азота, так и с кислородом.

По стадийный алгоритм гетерогенного процесса:

1. диффузии,
2. адсорбции,
3. реакции на катализаторе
4. десорбция в газовую фазу.

Быстрее оксидов азота диффундирует аммиак и диффузионная скорость примет вид:

$$Q_{\text{NO}} = k * F [\text{NO}]^{\text{FF}}$$

где $[\text{NO}]^{\text{FF}}$ - концентрация оксида азота, адсорбированного поверхностью катализатора

Общая константа скорости химической реакции примет вид:

$$k = \beta \left(\frac{[\text{NO}] - [\text{NO}]^{\text{F}}}{[\text{NO}]^{\text{FF}}} \right)$$

где $[\text{NO}]^{\text{F}}$ - концентрация оксида азота в объёме газа и непосредственно около поверхности контакта фаз соответственно.

Следует учесть с повышением скорости умножается коэффициент диффузии, но также умножается гидравлическое сопротивление катализаторного слоя [24].

Катализаторы в виде гранул имеют высокую площадь поверхности контактирование, но быстрее засоряется пылью. Для очищения запылённых газов перспективным считается дорогие сотовые катализаторы [25].

В многих изданиях пишется, что СКВ окисей азота проходит без участия кислорода [26]. Но есть публикация доказывающее обратное [27]. Кривая на рис. 1.3 показывает, что без кислорода не обойтись, она будет присутствовать всегда. Так как есть разница между энергией активации реакции аммиака с окисью азота от величины энергии активации реагирования аммиака с кислородом. Нужно будет не допустить условия где аммиак реагирует с

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

кислородом. На рис.1.4 показано, что после экстремума начинается образование оксида азота из аммиака в высокой температуре [27].

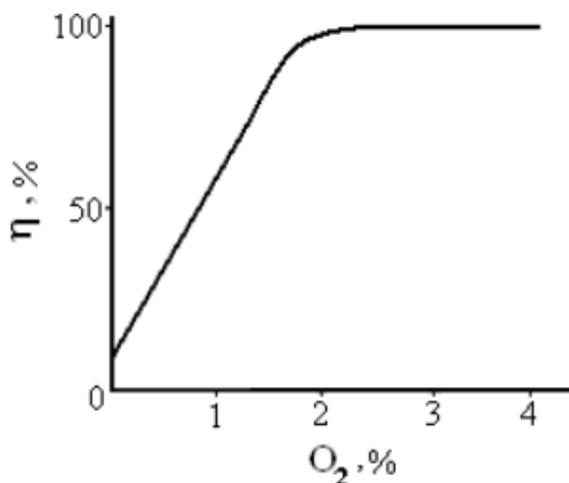


Рис.1.3 - Эффективность при температуре 350 °С процесса каталитической очистки газов от оксида азота на гранулированном железохромоксидном катализаторе содержанием кислорода [27].

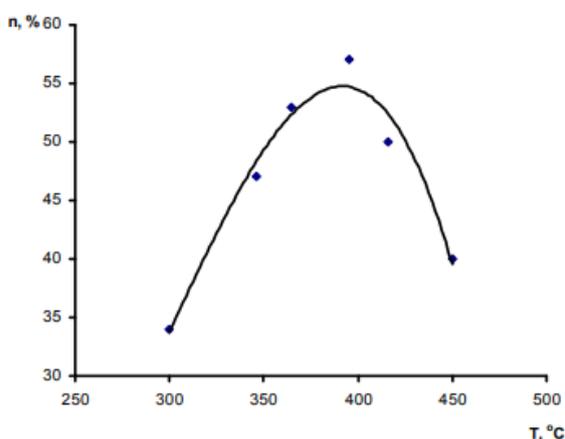
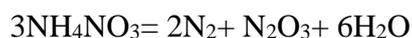
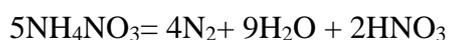


Рис. 1.4 - Зависимость эффективности процесса каталитической очистки газа от оксида азота аммиаком от температуры при входной концентрации оксидов азота CNO=0,05%(об), скорости газа $v = 0,5$ м/с, времени контакта 0,14сек. [27].

А также при СКВ может образоваться аммонийные соли как побочный продукт и засорит поры катализатора, за счёт паров HNO₃. Для того чтобы не допустить засорения катализатора аммонийными солями скорее пустить их разложение. С железохромоксидном катализатором разложение будет имеет вид:



Уравнение скорости реакции для этих реакций примет вид:

$$- d[\text{NH}_4\text{NO}_3]/d\tau = k[\text{NH}_4\text{NO}_3]$$

Возможно в будущем СКВ нейтрализации будет проходить и без участия катализатора так как уже есть результаты Взаимодействия аммиака с оксидами азота в безкатализаторной среде при температуре 950 °С [27].

Адсорбционные методы

Адсорбционные методы являются самым распространённым методом с большой областью применения, защиты от загрязнений с помощью импрегнированных сорбентов, сложных оксидов и активированного угля в качестве адсорбентов.

Активированный уголь (АУ) обладает малой селективностью, но работают даже во влажных потоках.

К оксидным адсорбентам (ОА) обладают активной селективностью, но при влажности низкоэффективен. К этим адсорбентам относятся силикагели, синтетические цеолиты, оксид алюминия.

Подразделение импрегнированных адсорбентов (ИА) [10]:

1. с пропиткой, который превращает трудно адсорбируемое в легко адсорбируемое;
2. в которых пропитка как катализатора разложения (кислородсодержащее соединения, окисляющие примеси). В качестве примера можно привести окисление NO в NO₂;
3. с периодическим катализатором (повышения температуры после адсорбции примесей).

Адсорбция делится на физическую и химическую (хемосорбцию). При адсорбции выделяется тепло.

Десорбция проводится водяным паром, вакуумированием, продувкой инертным газом и нагреванием адсорбента [11].

В качестве адсорбентов выступают: уголь активированный, кокс, оксиды алюминия, оксиды кремния и магния С₈Н₈, С₁₀Н₁₀ и С₁₂Н₂₇О₄Р и их сорбенты

Принцип адсорбции с движущимся зернистым слоем воспроизводят безостановочно адсорбцию и регенерацией адсорбента конечно за счёт много аппаратной схемы с фильтрацией газов. Не только схема но и сами аппараты состоят из нескольких секций. Секции состоят из решетки с отверстиями и по размеру этих отверстий адсорберы можно использовать весьма разнообразно.

В адсорберах с мелкими отверстиями адсорбент перетекает последовательно в фиксированных точках, а твёрдые вещества могут не перемещаться. Однако при больших

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

размерах отверстий твёрдые частицы проваливаются последовательно со ступени на ступень образуя тем между газом и сорбентом противоток движения.

Сорбционными адсорбентами можно получить концентрированные оксиды азота. Но для очистки дымовых газов Сорбционными адсорбентами не существует промышленных способов [12].

В промышленном масштабе мощностью 120 т HNO_3 в сутки молекулярные сита внедрена на азотно-кислотном агрегате разработанный Американской фирмой «Union Carbaid» Процесс «Pure Sive». [8].

Срок службы молекулярных сит более двух лет.

Очистка газовых выбросов в каталитических реакторах

Загрязнители газообразного вида термоокисляются на границе раздела фаз, а также в газовой фазе. Окисления газов на границе раздела фаз проходит за счёт изменения вредного газа окислением через катализатор из-за активности частиц. Газофазный режим прямым сжиганием в пламени газов выше температуры воспламенения выбросов [13].

Каталитическая очистка газов основывается на гетерогенном катализе и служат для превращения примесей в безвредные или легко удаляемые из газа соединения.

Достоинства метода - высокая степень очистки.

Недостатком - образование новых веществ.

Образованные вещества удаляются адсорбцией или абсорбцией газов. Термокаталитическим окислением обезвреживается H_2 , CO , углеводороды C_mH_n и $\text{C}_m\text{H}_n\text{O}_p$ у которых состояние газообразное.

Максимальная и безопасная работа реактора обеспечивается выполнением нижеуказанных технических требований [28]:

- выход оксидов азота соответствует российскому законодательству;
- проскок аммиака в пределах норм;
- газоплотность в реакторе согласно нормам;

Плохо испаряющиеся высокомолекулярные и высококипящие вещества коксуются и "отравляют" катализатор, поэтому их не применяют при термокатализе.

Термокатализ проходит при температуре 350...500 °С, этим объясняется затраты топлива.

На поверхности катализаторов протекают процессы гетерогенного катализа.

Катализаторам должно быть свойственно:

- активность;

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

- пористая структура;
- стойкостью к ядам;
- механическая прочность;
- селективность;
- термостойкость;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- небольшая стоимость.

Как катализаторов применяется оксиды или сами металлы. Активные катализаторы делают из дорогостоящих благородных металлов. Из окислов Co, Cr, Fe, Mn, Ni и др. делают менее активные катализаторы с низкой химической и термической стоимостью но цена их дешевле.

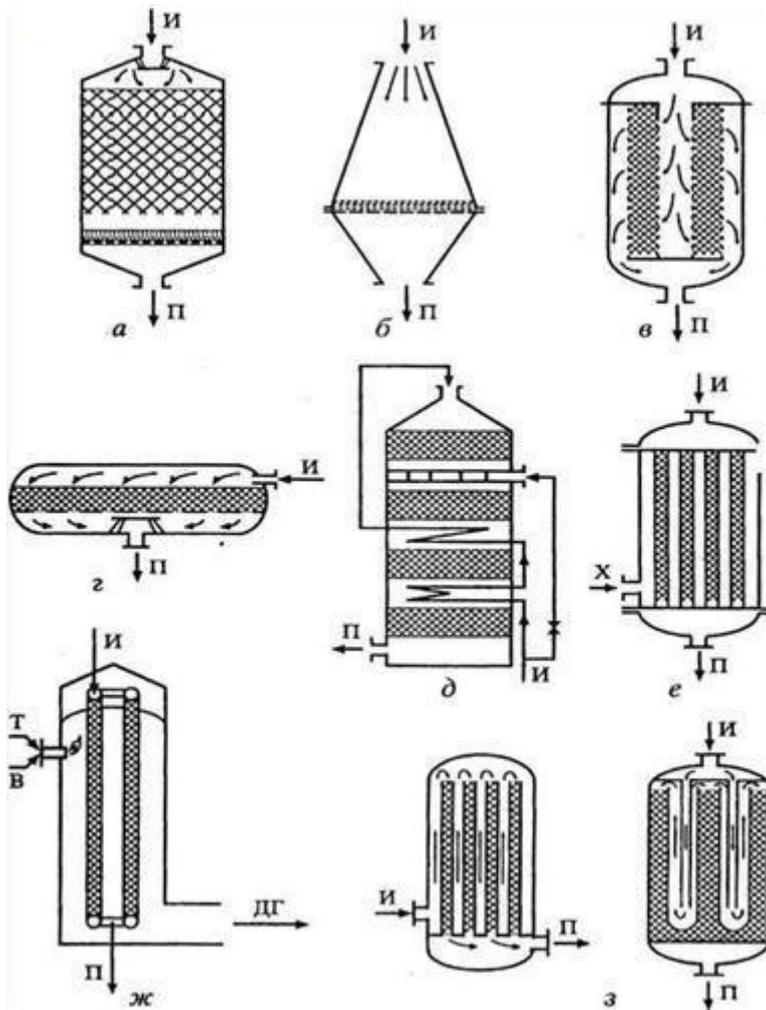


Рис.1.5 Схемы реакторов для гетерогенно-каталитических [3]:

П – продукты; В - воздух; И – исходные вещества;
Т – топливо; Х – теплоноситель; ДГ – дымовые газы.

В целях экономии активирующие компоненты наносятся на сетки из никромовой проволоки, шарики, фарфор или шамот в виде таблеток, гранул.

Подборе катализаторов проводится по следующим параметрам:

1. Физико-химические свойства.
2. Концентрации загрязнителей.
3. Присутствие катализаторных ядов.
4. Объемы выбросов.
5. Стоимость.
6. Другие условия.

Всё это учитывается связи с тем что универсальных катализаторов не существует [3].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Оборудования назначенное для работы по СКВ или СНКВ должно соответствовать требованиям [28]. Загрузке катализатора и работы внутри реактора, выполняются при полной остановке в противопылевых респираторах. Все реакторы каталитического типа должны быть обустроены площадками обслуживания [28].

Метод жидкофазной денитрации газов

Достоинством метода очистки является:

Не зависит от концентрации на входе

Проводится при низких температурах [1].

Как выше было сказано эти методы делятся на однократные и многократные. Однократные методы — это простой абсорбционный метод, где абсорбент регенерируется. При этом образуются отработанные растворы, которые надо допереработать.

Многократные методы малоприменительны, но перспективные. Они проходят с циркуляцией по замкнутому контуру с выходом продуктов утилизации. Это позволит обойтись без стоков и получить растворы оксидов азота.

В целях понятия физико-химических основ также рассматриваются методы [14]:

- окислительно-абсорбционные;
- абсорбционно-окислительные, когда окислитель дозируется;
- окислительно-абсорбционно-восстановительные;
- абсорбционно-восстановительные.

Первые 2 группы образуют нитриты и нитраты. Так как процесс является не регенеративным, придётся столкнуться с вопросом утилизации стоков.

Последние более перспективные так как образуется минеральные удобрения и окиси азота восстанавливаются до молекулярного азота. Процесс производства регенеративен, и одновременно можно очищать от оксидов серы и азота. [1].

Заключение

В обзоре литературы было рассмотрено большое количество методов обезвреживания окисей азота из отходящих газов производств Теплоэлектроцентралей и азотной кислоты. При выборе методики расчёта проектируемого оборудования из вышеуказанных данных следует учесть специфику технологии производства слабой азотной кислоты на агрегате АК-72М (согласно темы диссертации). Для процессов гетерогенного катализа в области очистки газовых выбросов на сегодняшний день устанавливаются реакторы с неподвижным слоем

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

твёрдого зернистого катализатора, которые определяются необходимостью обеспечения оптимальных условий работы катализатора. а также высокой экономической эффективностью процесса, возможностью длительной непрерывной работы, малого гидравлического сопротивления, экономного расхода топлива и ряда других показателей.

Исходя из вышеуказанных решил остановиться на проекте реактора каталитической очистки по принципу как на рис. 1.5 а [3]. Разница процесса, это восстановитель нейтрализует оксидов азота в участии кислорода. Как восстановитель в промышленности действует аммиак. Также как восстановитель аммиакообразующие реагенты, в частности: распыляемая в горячем газе аммиачная вода, которые с газом контактируют в течении 2-10 с до входа в слой катализатора. При конверсии метана можно получить аммиак и в этом случае значительно сократит расход аммиака. Сероводород тоже можно ввести для селективного восстановления NOx. Расход восстановителя всегда пропорционален к концентрации, степени очистки. В этом случае жидкий аммиак тоже применим. Диоксид серы в сульфате и сульфит аммония, содержащийся в горячих выхлопных газах, нейтрализуется излишне введённым аммиаком стехиометрически требуемой оксидом азота, что оправдывает расход аммиака.

Одновременная оптимизация процесса по нескольким критериям не представляется возможной [4]. Поэтому в каталитической очистке промышленных газов принято добиваться минимального значения себестоимости очистки газов при заданной степени обезвреживания примесей газовых выбросов. Использование приведённых выше методик технологического, технико-экономического расчёта аппаратов каталитической очистки промышленных газов позволяет приблизиться к решению поставленной задачи, а применение средств вычислительной техники может при инженерном расчёте значительно сократить затраты времени на оптимальное проектирование процесса.

Исходя из вышеизложенного выбран следующий тип реактора (см. Рис. 1.4):

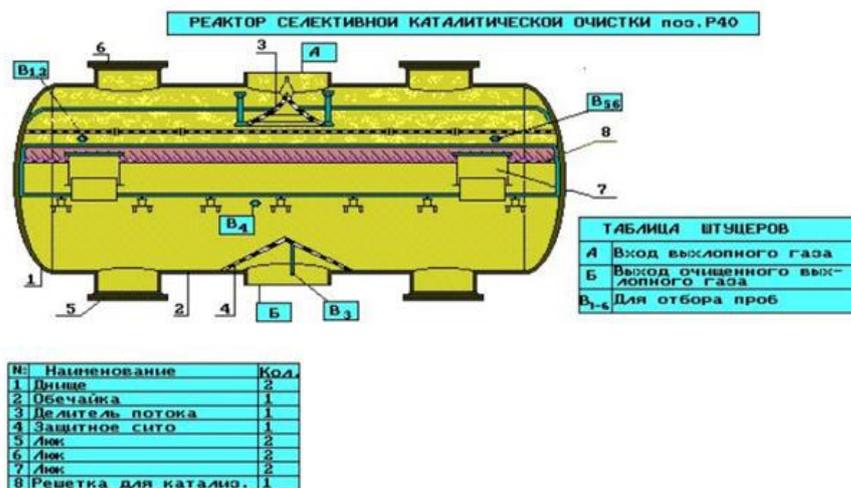
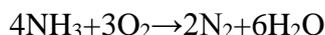
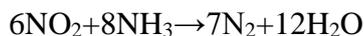
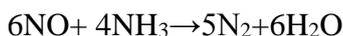


Рис. 1.6 Реактор каталитической очистки поз. Р-40 [15].

В качестве восстановителя применяется аммиак, и процесс идёт на низкотемпературном катализаторе АМЦ-10 (алюмомедьцинковом) при температурах 280...350⁰С:



Для обеспечения очистки выхлопных газов до содержания оксидов азота н. б. 0,005% нужно подавать аммиак в избытке от стехиометрического объёма на 10-20%, также за счёт проскока аммиака.

Преимущества такого способа очистки являются уменьшение расхода природного газа и снижение температуры процесса.

Недостатки: необходимость дозирования в газ после колонны абсорбции К-31 небольшого количества аммиака и обеспечение его равномерного распределения по потоку газа [1].

1.2 Патентный поиск

Магистерская диссертация посвящена проекту низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М.

С целью выявления достижений в направлении методов очистки газов от окислов азота, выполнен патентный поиск. Которая проведён по периоду 16 лет (2004 - 2020 г.г.) в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Для выявления достоинств и недостатков найденных патентов выполнен их сравнительный анализ, который приведён в табл. 1.1

Таблица 1.1 - Сравнение анализа изобретений и авторских свидетельств

Название изобретения (рег. №, дата, классификационный индекс)	Достоинства	Недостатки
Способ очистки газовых выбросов от оксидов азота (2011148903/05, 2011.11.30, B01D53/56)	- применяется на разных производствах, в которых без физической адсорбции не обойтись - степень очистки 96% по окиси азота, при испытании акт ивного	- возможен появления токсичного оксида углерода в выхлопных газах, которая возникает из-за высокой температуры нужной в целях повышенной степени очистки.

	<p>угля марки СКТ-10 с температурой при 400°C</p>	<p>- разложение оксидов азота в начале процесса происходит не полностью. - при температурах $927^{\circ}\text{C} \leq t$ происходит сбрасывания токсичной оксида углерода</p>
<p>Способ СКВ очистки выхлопных газов от оксидов азота в промышленности. (2004135599/15, 2004.12.07 B01D 53/86 C01B 21/20)</p>	<p>- возникающая за счёт эффективного смешении газов с восстановителем гомогенность смеси и как результат сокращение непрореагировавшего аммиака в выхлопе; - оптимальный расход энергоресурсов таких как электрическая энергия и метан</p>	<p>- 3-4 кг на 1 т HNO_3 увеличивается расход аммиака; - присутствия NH_3 в выхлопных газах (0,005-0,01 об.%) которая будет приравнивается к NO_x. - дополнительный ввод водорода как восстановитель</p>
<p>Способ очистки газов от оксидов азота (2006104505/15, 2006.02.13, B01D53/34)</p>	<p>- работоспособность при низком гидравлическом сопротивлении - одновременно протекающий сорбционно-десорбционный процесс -образующаяся в процессе сорбции азотная кислота возвращается в производство</p>	<p>-небольшая производительность -время защитного действия - Достигает 400-700мин</p>
<p>Способ и установка для очистки отходящих газов (2018119698, 2018.05.29, B01D 50/00)</p>	<p>- Универсальность установки и способа, обеспечивающих очистку отходящих газов на предприятиях различных отраслей промышленности и теплоэнергетики; - Высокая эффективность протекающих в жидкой фазе физико-химических процессов за</p>	<p>- применим для отрасли теплоэнергетики - для применения этого способа придётся модернизировать агрегат АК-72М около на 70%.</p>

	<p>счет использования озонированной воды;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Отсутствие вторичного загрязнения атмосферы за счет невозможности проскока избытка озона с отходящими газами - высокая степень очистки отходящих газов (свыше 99,99%) и - практическое отсутствие в них мелкодисперсных частиц твёрдой фазы, паров и тумана кислот, а также оксидов азота и оксидов серы; - комплексная очистка отходящих газов на одной установке при минимальных капитальных вложениях и затратах на ее создание и эксплуатацию; 	
<p>Способ десульфуризации и денитрации отходящего газа и устройство (2018126550 2017.03.15 В01D 53/04)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - высокая степень десульфуризации и может одновременно осуществлять денитрацию - адсорбированные на активированном угле окиси азота быстро десорбируются или разлагаются 	<ul style="list-style-type: none"> - низкая степень денитрации - низкая скорость денитрации - применим для отходящих газов из агломерационных установок в сталелитейной промышленности

Вывод: Из анализа изобретений и авторских свидетельств по очистке выхлопных газов от оксидов азота видно, что наиболее целесообразным и эффективным является изобретение, в котором в качестве восстановителя применяется аммиак и водород в среде катализатора АМЦ-10. Однако увеличение расхода аммиака до 3-4 кг на 1 т HNO₃ требует возврата к способу с этим же исполнением, но без дополнительного ввода аммиака.

2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БЛОКА

Нитрозные газы, пройдя все тарелки абсорбционной колонны и освободившись от окислов азота (до остаточного содержания не более 0,1 % об.), проходят сепарационное устройство, расположенное над 45 тарелкой абсорбционной колонны поз. К-31, выхлопные газы направляются в ловушку поз. Е-23, после него на подогрев и каталитическую очистку. В период остановки агрегата производится промывка змеевиков колонны поз. К-31 обратным током воды не реже 1 раза в год.

Из абсорбционной колонны поз. К-31 выхлопные газы поступают в ловушку поз. Е-23 отделяясь от брызг и подогрев выхлопных газов до температуры, превышающей точку насыщения до (48-50) °С. Подогрев осуществляется в верхней части аппарата, где установлен титановый кожухотрубчатый теплообменник, в который подается технологический пар 1,2 МПа (12 kgf / cm²), t=(220÷250) °С. Температура выхлопных газов при этом повышается на (8÷10) °С. Этим предотвращается коррозия теплообменных труб регенератора блока нагрева газов поз.Т-53, возможная при попадании на них брызг кислоты.

Брызги, отделяемые от выхлопных газов, стекают в кубовую часть ловушки. Из ловушки конденсат азотной кислоты непрерывно дренируется в куб газового промывателя, на данной линии установлена шайба для ограничивающий пропуск выхлопного газа при отсутствии уровня в поз. Е-23 в газовый промыватель.

Из ловушки газы поступают в регенератор блока нагрева газов поз.Т-53, где нагревается смесью очищенных выхлопных газов, вышедших с температурой (370÷420) °С и давлением (3÷5) kPa из газовой турбины комплексного машинного агрегата КМА-5 поз. М-106 и продуктов сгорания поступающих из камеры конвекции. Из зоны регенерации блока нагрева газов поз. Т53 выхлопные газы с температурой (290÷300) °С поступают на селективную низкотемпературную каталитическую очистку с использованием газообразного аммиака в качестве восстановителя в реактор поз. Р-40.

Для осуществления очистки необходимо небольшое количество аммиака, этим вызвано применение специального оборудования и узла смешения аммиака с выхлопным газом.

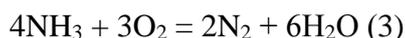
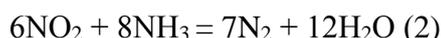
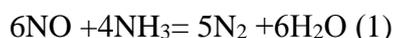
Жидкий аммиак отбирается из линии аммиака, поступающего в испаритель поз. Т-21 и подается в ресивер с паровой рубашкой поз. Е-220.

Испаряемый в ресивере поз.Е-220 аммиак направляется в фильтр газообразного аммиака поз.Ф-223, где подвергается очистке от механических примесей. В качестве фильтрующего материала установлен термостойкий фильтрующий материал ФПФС-15-1,5. Из фильтра поз. Ф-223 газообразный аммиак поступает в паровой перегреватель поз. Т-222, как и в ресивере поз. Е-220 используется пар с параметрами P=1,2 МПа (12 kgf/cm²) t=250 °С, откуда с

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						32
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

температурой (150÷200) °С – в смесительное устройство, смонтированное в трубопроводе выхлопного газа из регенератора блока нагрева газов поз. Т-53.

Смешанный с аммиаком выхлопной газ поступает в горизонтальный однополочный реактор каталитической очистки поз. Р-40, где на алюмомедецинковом катализаторе АМЦ происходит селективная очистка выхлопных газов от окислов азота по следующим реакциям:



По побочной реакции (3) расходуется небольшое количество аммиака.

Для обеспечения очистки выхлопных газов до содержания окислов азота не более 0,005 об, с учетом проскока аммиака и побочных реакций, необходим избыток аммиака сверх стехиометрического количества на (10÷20) %. Нагревшись на 10 °С очищенный выхлопной газ с температурой (300÷310) °С из реактора поз. Р-40 направляется в конвективную зону блока нагрева газов поз.Т-53.

Блок нагрева газов (БНГ-172Ф) поз. Т-53 состоит из регенерационной, конвективной и радиантной зон нагрева выхлопного газа, соединенных газоходами между собой, двух дымососов с подводящими и отводящими трубопроводами и газохода, соединяющего камеру регенерации с выхлопной трубой.

Выхлопной газ, пройдя каталитическую очистку, поступает последовательно в конвективную и радиантную зоны, где нагрев осуществляется топочными газами, полученными в результате сжигания природного газа. Из радиантной зоны подогревателя очищенные выхлопные газы с температурой (750÷760) °С направляются в рекуперативную газовую турбину М-10б, где расширяется до давления (3÷5) кПа.

При расширении в турбине температура снижается до (370÷420) °С и возвращаются в зону регенерации поз. Т-53.

Необходимое давление в зоне горелок топочного устройства создается естественной тягой выхлопной трубы поз. Х-102 высотой 150 м и при необходимости за счет разрежения, создаваемого дымососами поз. Т-53_{1,2}. Для обеспечения работы блока нагрева газов на номинальной нагрузке при температуре окружающей среды выше 24 °С предусмотрено подключение дымососов, создающих дополнительное разрежение по тракту уходящих продуктов сгорания и очищенных выхлопных газов.

В состав КМА-5 входят: воздушный компрессор поз. М-10а, нитрозный нагнетатель поз. М-10в, паровая турбина поз. М-10г, газовая турбина поз. М-10б, которая состоит из турбины

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						33
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД), расположенных в общем корпусе и сообщающихся по газовому пространству.

Валы паровой турбины поз. М-10г, нитрозного нагнетателя М-10в и ТВД связаны между собой муфтами. Воздушный компрессор поз. М-10а и ТНД имеют общий вал.

Паровая турбина поз. М-10г вместе с газовой турбиной служат в пусковом режиме для набора оборотов нитрозного нагнетателя. После набора номинальных оборотов нагнетателя баланс энергии на его валу замыкается газовой турбиной (ТВД), на валу осевого компрессора газовой турбиной ТНД.

Наличие паровой турбины на вале ТВД позволяет регулировать его обороты и обеспечивает работу воздушного компрессора и нитрозного нагнетателя в зонах, далеких от помпажа. Воздушный компрессор поз. М-10а служит для сжатия атмосферного воздуха перед подачей его в контактные аппараты и приводится во вращение ТНД (турбиной низкого давления).

Производительность компрессора в пределах нормального технологического режима может изменяться от 90 до 110 % в зависимости от оборотов осевого компрессора (4800÷5250) r/min и времени года. Снижение оборотов осевого компрессора ниже 4800 r/min (до 4400 r/min) является нарушением норм технологического режима. В жаркое время года при температуре наружного воздуха выше +20 °С производительность компрессора падает, зимой растет, избыточное давление 0,36 МПа (3,6 kgf/cm²) относится к зимнему периоду работы. Регулирование оборотов осевого компрессора при номинальных оборотах КМА-5 производится путем подачи пара Р = 3,9 МПа (39 kgf / cm²) через регулирующий клапан (FCV-110), после реактора поз.Р-40.

Нитрозный нагнетатель поз. М-10в предназначен для сжатия нитрозного газа и приводится во вращение ТВД и паровой турбиной поз. М-10г. В нагнетатель подается нитрозный газ с температурой не выше 70 °С и давлением (0,2-0,3) МПа [(2,0÷3,0) kgf/cm²], где он сжимается до давления (0,8÷1,12) МПа [(8,0÷11,2) kgf/cm²], t=(170÷228) °С в зависимости от числа оборотов осевого компрессора и нитрозного нагнетателя.

Параметры очищенного выхлопного газа:

- а) на входе в турбину
 - температура (750÷760) °С
 - давление (0,67÷1,05) МПа [(6,7÷ 10,5) kgf/cm²]
- б) на выходе из турбины
 - температура (370÷420) °С
 - давление (3÷5) кПа [(0,03÷0,05) kgf/cm²].

Для увеличения срока службы КМА-5 при отсутствии сырья (аммиака) предусмотрена работа в холостом режиме при оборотах ПТ-1 - 4600 r/min, ОК-ТНД - 4500 r/min.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

Охлаждение обойм и диска ТВД производится очищенным выхлопным газом, который отбирается от основного потока очищенных выхлопных газов после реактора поз. Р-40. Температура охлаждающего очищенного выхлопного газа (290÷320) °С. Температура охлаждающего очищенного выхлопного газа регулируется подачей выхлопного газа после поз.Е-23 в смеситель очищенного выхлопного газа. Из коллектора очищенные выхлопные газы подаются:

- на охлаждение диска ТВД и ТНД
- на охлаждение обоймы ТВД
- на охлаждение корпуса
- на газовое уплотнение ТВД

При работе агрегата не допускается повышение температуры газа перед турбиной выше 770 °С.

Защита помещения машинного зала от проникновения окислов азота через торцевые уплотнения нитрозного нагнетателя производится подачей воздуха с нагнетания воздушного компрессора в камеры торцевых уплотнений. При остановке машинного агрегата воздух подается из сети завода.

Система антипомпажной защиты КМА-5 включает:

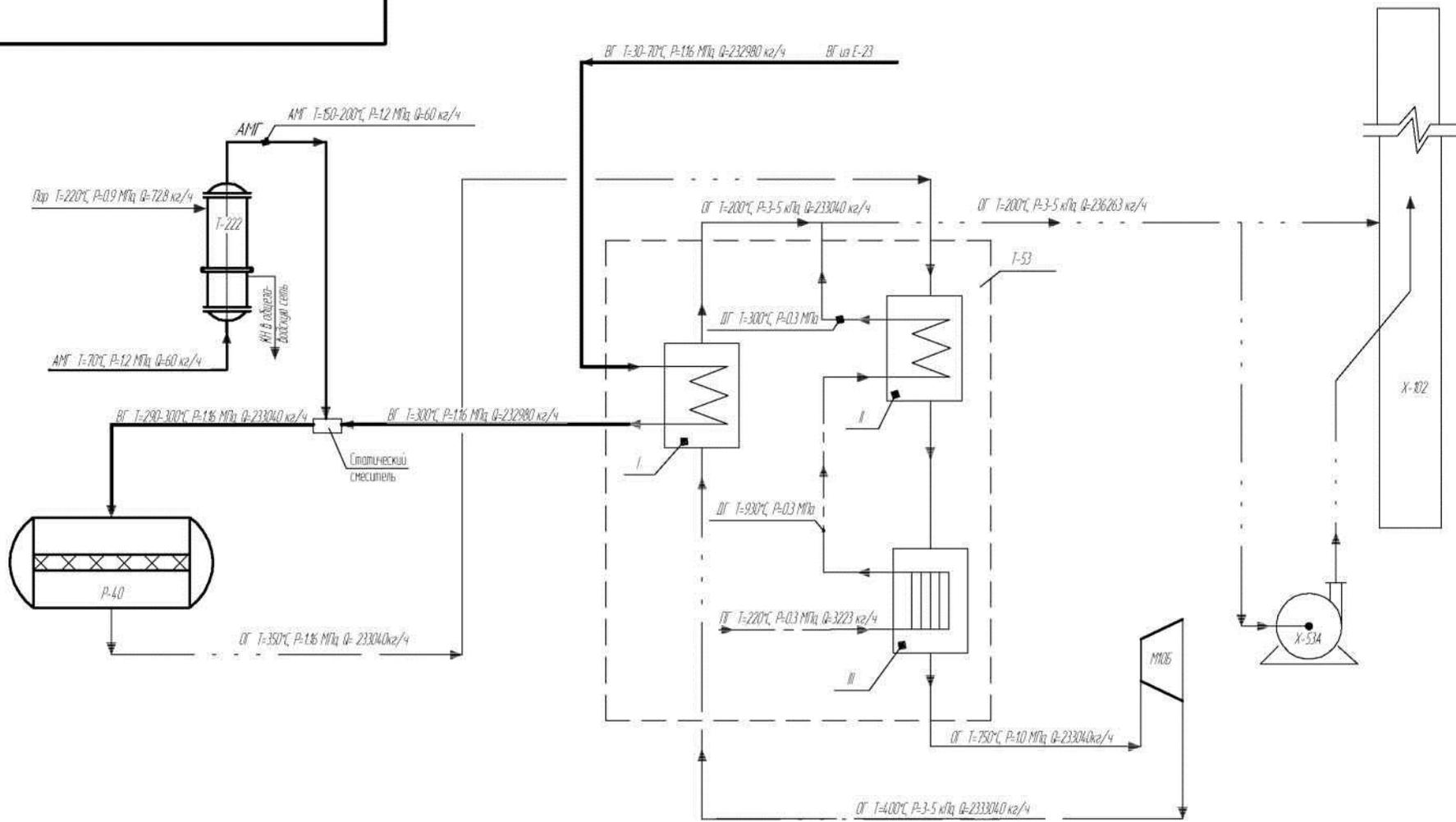
- автоматический сброс части воздуха в атмосферу при приближении осевого воздушного компрессора к границе помпажа;
- автоматическое поддержание постоянных оборотов нитрозного нагнетателя и заданных оборотов осевого компрессора при помощи паровой турбины.

Для предотвращения помпажа при остановке машины предусмотрены:

- установка обратных клапанов (затворов) на нагнетании воздушного компрессора и нитрозного нагнетателя;
- освобождение системы от воздушного компрессора до нитрозного нагнетателя от нитрозных газов при аварийной остановке осуществляется через клапан поз. НVS-20 Ду 80, который открывается через 1 с после прохождения сигнала аварийной остановки.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дробл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Рахимбеков К.А.		
Пров.		Беляев В.М.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Аппаратно-технологическая схема.

Лит.	Масса	Масштаб
Лист 1	Листов 2	

ТПУ ИШНПТ
Группа 4КМ81

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РЕАКТОРА СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА.

Полное содержание технологического и механического расчёта низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота см. Приложение А.

3.1 Цель расчета реактора каталитической очистки.

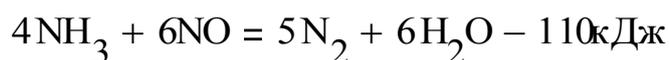
Цель расчета — определение основных размеров реактора каталитического окисления вредных примесей, подлежащих удалению из промышленных выбросов. Кроме того, определяют толщину слоя катализатора. Обеспечение механической надежности работы проектируемого оборудования. Показателями или критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жаропрочность и жаростойкость, жесткость, устойчивость, виброустойчивость, износостойкость, герметичность и т.п.

Технологические расчёты выполняются в объёме, достаточном для последующего проектирования оборудования. Задачи технологических расчётов:

- составление материального баланса проектируемого оборудования, в котором определяются расходные показатели по сырью и материалам на единицу вырабатываемого продукта и материальные потери;
- составление теплового баланса, где определяются удельные расходы энергии на единицу вырабатываемого продукта и потери тепла в единицу времени.
- определение основных геометрических размеров оборудования и эффективности конструкции, включающей минимальный вес и стоимость материалов, расходов на изготовление и эксплуатацию.

3.2 Расчетная модель.

В качестве восстановителя применяется аммиак, и процесс идет на низкотемпературном катализаторе АМЦ-Ю (алюмомедьцинковом) при температурах 280...300⁰С [31]:



Для обеспечения очистки выхлопных газов до содержания оксидов азота не более 0,005% с учетом проскока аммиака и побочных реакций необходим избыток аммиака на 10-20% сверх стехиометрического количества.

Конструкция аппарата согласно заключения литературного обзора имеет вид Рис.3.1:

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

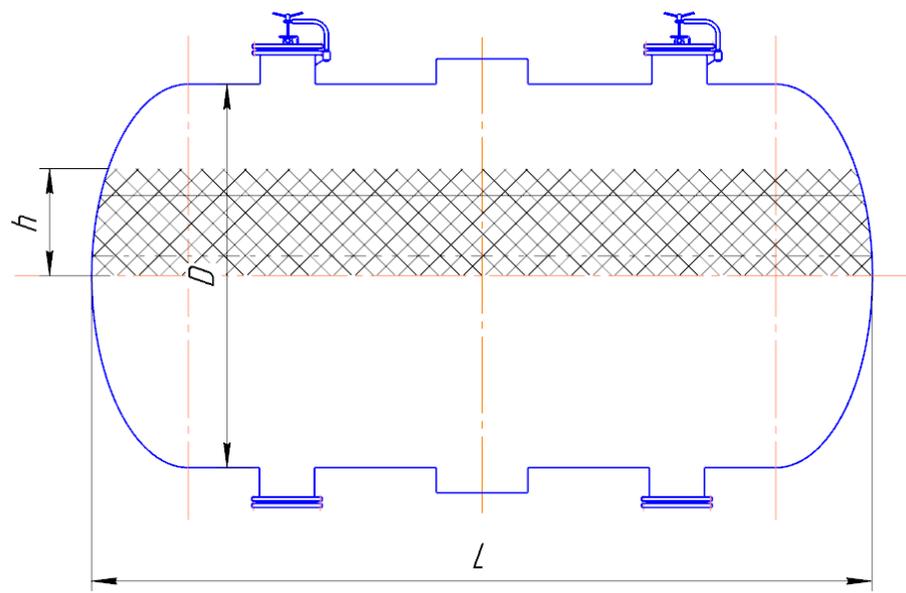


Рис.3.1 Конструктивный вид реактора

3.3 Исходные данные расчёта реактора каталитической очистки.

Исходные данные:

Производительность по газу – 3099.23 м³/мин.

Состав исходной смеси:

Таблица 3.1

	м ³	%	Кг	%
NO	1.56	0.05	2.53	0.07
O ₂	74.38	2.40	106.19	2.73
N ₂	3013.71	97.24	3766.77	97.00
H ₂ O	9.58	0.31	7.70	0.02
Всего:	3099.23	100	3883	100

Начальная концентрация.NO – 0,82 мг/м³

Конечная концентрация: NO – не более ПДК

Температура в реакторе – 573 К

В соответствии со списком ГН 2.1.6.3492-17 среднесуточная ПДК окислов азота в атмосферном воздухе населенных мест [30]:

$$\text{ПДК}_{\text{NO}} = 0,06 \text{ мг/м}^3$$

Катализатор АМЦ-Ю имеет цилиндрическая форму с диаметром d и длиной l частиц, м [31]

$$d := 0.004 \quad \text{м}$$

$$l := 0.01 \quad \text{м}$$

Температура в реакторе, t_p , °C

$$t_p := 300 \quad ^\circ\text{C}$$

Давление в реакторе, P, МПа:

$$P := 1 \quad \text{МПа}$$

Молярный объём окиси азота, V_A , л

$$V_A := 33.6 \quad \text{л}$$

Молекулярная масса окиси азота, M_A , г/моль

$$M_A := 30 \quad \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

3.4 Основные результаты технологического расчёта.

Исходя из стехиометрического соотношения определим количество требуемого аммиака и образуемого количества молекулярного азота и паров воды с учётом эффективности реакции 94% [31].

$$\begin{aligned} n_{\text{NO}} &:= 253094\% = 2.378 \times 10^3 && \text{гр} \\ G_{\text{NH}_3} &:= \frac{n_{\text{NO}} \cdot 4 \cdot \text{Mr}_{\text{NH}_3}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 899.861 && \text{гр} \\ n_{\text{N}_2} &:= \frac{n_{\text{NO}} \cdot 5 \cdot \text{Mr}_{\text{N}_2}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 1.85 \times 10^3 && \text{гр} \\ n_{\text{H}_2\text{O}} &:= \frac{n_{\text{NO}} \cdot 6 \cdot \text{Mr}_{\text{H}_2\text{O}}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 1.428 \times 10^3 && \text{гр} \end{aligned}$$

Для определения общего расхода аммиака следует учесть проскок и расход на побочные реакции как указано в условии задачи избытка 20% от стехиометрической массы [1].

$$G_{\text{общNH}_3} := 120\% \cdot G_{\text{NH}_3} = 1.08 \times 10^3 \quad \text{гр}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Объём газа на выходе из реактора

$$\sum \begin{pmatrix} 0.247 \\ 151.233 \\ 4.711 \times 10^3 \\ 7.403 \\ 0.09 \end{pmatrix} = 4.87 \times 10^3 \quad \text{м}^3$$

В пересчете в ПДК содержание окиси азота получится:

$$\text{NO}_{\text{ВЫХОД}} := \frac{n_{\text{NO}}}{4.87 \cdot 10^3} = 3.117 \times 10^{-5} \quad \text{кг/м}^3 \quad \text{что равно } 0.03 \text{ гр/м}^3$$

Что доказывает эффективность работы проектируемого реактора

Расчёт реактора каталитической очистки

Удельная поверхность слоя катализатора, a_0 м²/м³

$$a_0 := \frac{6}{d} \cdot \left(\frac{2}{3} + \frac{d}{3l} \right) = 1.2 \times 10^3 \quad \text{м}^2/\text{м}^3$$

Порозность слоя катализатора [35], ϵ , м³/м³

$$\epsilon := 1 - \frac{\rho_{\text{насып}}}{\rho_{\text{вещества}}} = 0.6 \quad \text{м}^3/\text{м}^3$$

Рабочая толщина слоя катализатора для компенсации влияния неравномерности газораспределения принимается h , м:

$$h := h_p \cdot 1.15 = 0.599 \quad \text{м}$$

Примем $h=0.6$ метра.

Необходимая поверхность фильтрования, S_1 , м²

$$S_1 := \frac{G}{60 \cdot u_{\text{оа}}} = 28.697 \quad \text{м}^2$$

Объём занимаемый каталитическим слоем составит:

$$V_{\text{кат}} := S_{1\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}$$

$$V_{\text{кат}} = 17.4 \quad \text{м}^3$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Определим массу катализатора в реакторе $M_{\text{кат}}$, тн:

$$\rho_{\text{кат}} := 1 \quad \text{тн/м}^3 \text{ плотность катализатора}$$

$$M_{\text{кат}} := V_{\text{кат}} \cdot \rho_{\text{кат}}$$

$$M_{\text{кат}} = 17.4 \quad \text{тн}$$

3.5 Выводы по расчёту реактора каталитической очистки.

1. В результате проведенной работы был рассчитан стандартный реактор низкотемпературный селективной очистки окисей азота от выхлопных газов и получены нижеуказанные данные. В связи с расположением на открытой площадке, где в зимнее время года минимальная температура может достигать -40°C , поэтому, согласно рекомендациям [47], выбран в качестве материала корпуса сталь 12X18H10T по ГОСТ 34347-2017, так как эта марка получила наибольшее распространение в промышленности ввиду возможности успешного использования ее в разнообразных эксплуатационных условиях. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева, сравнительно мало охрупчивается в результате длительного воздействия высоких температур.
2. Рассчитано геометрические размеры реактора : диаметр 3800 мм длина 8100 мм. Также было рассчитано толщина стенки аппарата и принято 20 мм и установлены 2 эллиптические крышки типа Крышка 3800-20-950-ГОСТ 6533-78 толщиной равный 20мм. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук) Опора ПЛ 630-1920-I ОСТ 26-2091-93.
3. Определили геометрические размеры фланцевого соединения ($D_n=740$ мм; $D_b=700$ мм; $h=35$ мм), а так же размеры ($d=20$ мм) и количество шпилек ($n= 28$ штук). Условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются. Условие поворота плоского фланца выполняется. Условие прочности прокладки выполняется. Условие прочности выполняется.
4. В результате проведенной работы был рассчитан стандартный реактор низкотемпературный селективной очистки окисей азота от выхлопных газов.
5. На выходе из реактора содержание окиси азота в очищенном газе получился 3.117×10^{-5} что равно 0.03 гр/м^3 . Что доказывает эффективность работы проектируемого реактора

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА (ПОДОГРЕВАТЕЛЯ)

Полное содержание технологического и механического расчёта кожухотрубчатого теплообменника см. Приложение Б.

4.1 Цель расчета теплообменника.

Целью механического и технологического расчета является определение поверхности теплообмена и конструктивных размеров выбранного аппарата. Обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

Технологические расчёты выполняются в объёме, достаточном для последующего проектирования оборудования. Задачи технологических расчётов:

1. определение расходных показателей по сырью и материалам на единицу вырабатываемого продукта и материальные потери;
2. определение основных геометрических размеров оборудования и эффективности конструкции, включающей минимальный вес и стоимость материалов, расходов на изготовление и эксплуатацию.

4.2 Расчетная модель.

Проектируемый аппарат согласно заданию, должен соответствовать следующим параметрами имеют вид как на Рис.4.1. К корпусу, кожуху по торцам приварены трубные решетки, в которых закреплены пучки труб. В основном трубы в решетках крепятся с уплотнением развальцовкой или каким-то другим способом в зависимости от материала труб и давления в аппарате. Трубные решетки закрываются крышками на прокладках и болтах или шпильках. На корпусе имеются патрубki (штуцера), через которые один теплоноситель проходит через межтрубное пространство. Второй теплоноситель через патрубki (штуцера) на крышках проходит по трубам. В многоходовом теплообменнике в корпусе и крышках установлены перегородки для повышения скорости теплоносителей. В случае необходимости, конструкция аппарата должна предусматривать его очистку [63].

На рис. 4.3 изображена расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

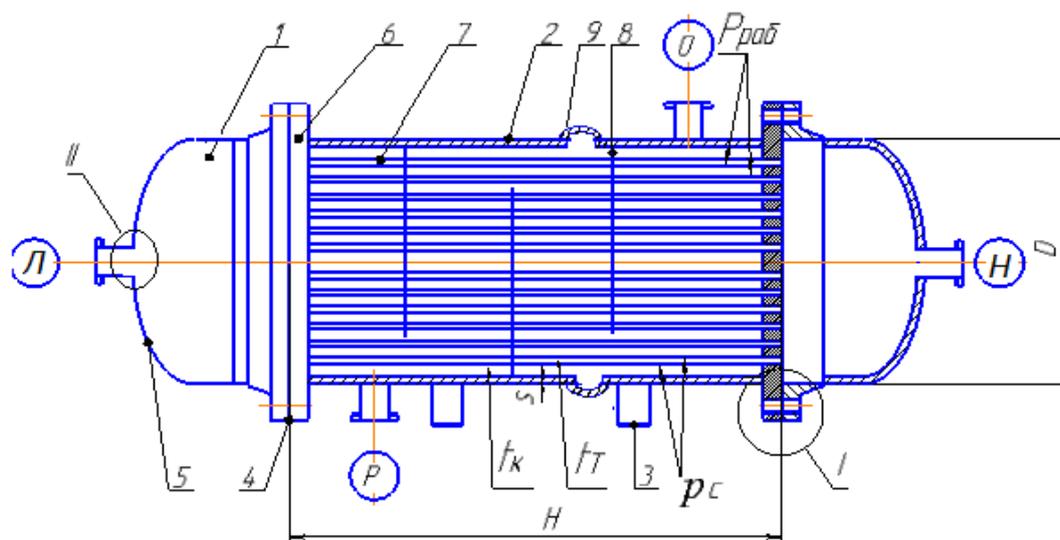


Рисунок 4.3 - Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

- 1- Камера распределительная, 2- Кожух аппарата, 3- Седловая опора, 4- Фланец, 5- Крышка аппарата,
6- Трубная решетка, 7- Теплообменная труба, 8- Поперечная перегородка, 9- Компенсатор.

4.3 Исходные данные расчёта кожухотрубчатого теплообменника

Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для теплообмена между паром и газообразным аммиаком, производительностью по аммиаку 0.0648 т/ч. Пар подается с давлением 1.5 МПа и температурой от $t_{1н}$ - 200 °С.

Начальная температура холодного газа (G2) - $t_{2н}$ - 70 °С. Давление газообразного аммиака 1.25 МПа.

$G_2 := 0.0648$	т/ч	Расход аммиака
$t_{2н} := 70$	°С	Начальная температура аммиака
$t_{2к} := 160$	°С	Конечная температура аммиака
$t_{1н} := 200$	°С	Начальная температура пара
$t_{1к} := 200$	°С	Конечная температура конденсата пара
$P_1 := 1.5$	МПа	Рабочее давление греющего пара
$P_2 := 1.25$	МПа	Рабочее давление аммиака

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

44

4.4 Основные результаты технологического расчёта.

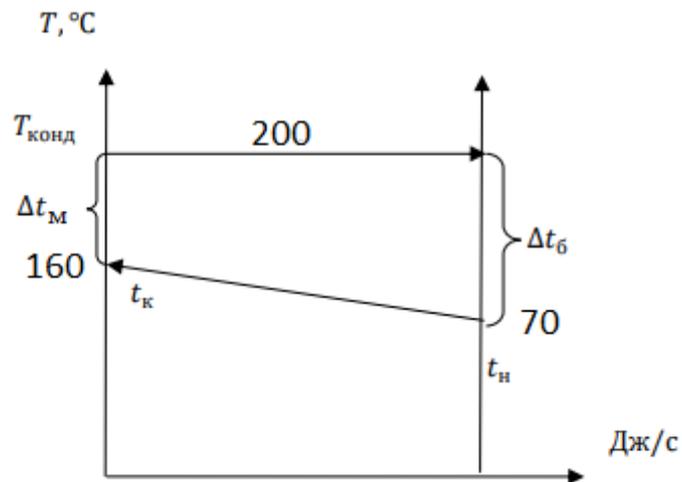


Рис. 4.2 - Температурная схема процесса

Определим средние температуры теплоносителей:

Средняя температура пара $t_{1cp} := 200 \text{ } ^\circ\text{C}$

Средняя температура аммиака $t_{2cp} := t_{1cp} - \Delta t_{cp} = 123.556 \text{ } ^\circ\text{C}$

Горячий теплоноситель находится в трубном пространстве, холодный - в межтрубном.

Рассчитаем тепловую нагрузку (количество теплоты, необходимое для нагрева аммиака по формуле 3.8 [62]):

$$Q := G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2к} - t_{2н}) = 3.705 \text{ кВт}$$

Рассчитаем расход греющего пара с учетом потерь 5%:

$$G_1 := \frac{1.05Q}{r} = 2 \times 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Ориентировочные значения требуемой поверхности теплообмена:

$$F_{\min} := \frac{Q \cdot 1000}{K_{\max} \cdot \Delta t_{cp}} = 0.8 \text{ м}^2$$

$$F_{\max} := \frac{Q \cdot 1000}{K_{\min} \cdot \Delta t_{cp}} = 4.8 \text{ м}^2$$

Определяем действительное число Рейнольдса по формуле 4.13 [40]:

$$Re := \frac{4 \cdot G_2 \cdot z}{n \cdot \pi \cdot 0.021 \cdot \mu_2} = 6128$$

Значения термических сопротивлений выбираются по таблице 3.3 [62]:

термическое сопротивление со стороны загрязненной воды	$R_1 := 1860 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
термическое сопротивление со стороны аммиака	$R_2 := 2900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
толщина стенки трубок	$\delta_{\text{СТ}} := 0.002 \text{ м}$
коэффициент теплопроводности стали	$\lambda_{\text{СТ}} := 45 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Требуемая поверхность теплопередачи равна:

$$F_{\text{тр}} := \frac{Q \cdot 1000}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 1.47 \text{ м}^2$$

Относительная разность действительной и требуемой поверхности теплопередачи

$$\Delta := \frac{(F - F_{\text{тр}})}{F} \quad \Delta = 26.567\%$$

$_Запас := \begin{cases} \text{"Запас поверхности недостаточен"} & \text{if } \Delta < .15 \\ \text{"Запас поверхности в норме"} & \text{if } .15 \leq \Delta \leq .30 \\ \text{"Запас поверхности избыточен"} & \text{otherwise} \end{cases}$
 $_Запас = \text{"Запас поверхности в норме"}$

Диаметр условного прохода для подвода и отвода аммиака

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_{\text{аммиака}} \cdot \omega}}$$

$d = 0.08 \text{ м}$

Примем диаметр патрубка по ТУ 3612-024-00220302-02 80мм.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Таблица 4.1 - параметр фланцев

Прочность условная D_u	Наружный диаметр трубы $d_{нц}$	D	D_1	d_1	b	h	D_4	h_2	D_2	h_1	D_4	h_3	D_m	D_n	r	d	n	Номинальный диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса теоретическая в кг	
																			с выступом	с впадиной
80	89	195	160	78	17	50	120	4	138	3	121	3	110	90	5	18	4	16	4,15	4,04

Штуцер подвода и отвода греющего пара

$$d_o := \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{гр.п} \cdot \omega}}$$

$$d_o = 0.025 \text{ м}$$

Примем патрубок диаметром 32 мм.

Таблица 4.2 - параметр фланцев

Прочность условная D_u	Наружный диаметр трубы $d_{нц}$	D	D_1	d_1	b	h	D_4	h_2	D_2	h_1	D_4	h_3	D_m	D_n	r	d	n	Номинальный диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса теоретическая в кг	
																			с выступом	с впадиной
32	38	135	100	31	13	40	65	4	78	2	66	3	55	39	4	18	4	16	1,54	1,48

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет:

$$s_{нц} := \text{ceil}(s_p + c) = 4 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки равной $s_{нц} := 5 \text{ мм}$

Схема расположения труб представлена на рисунке 4.3.

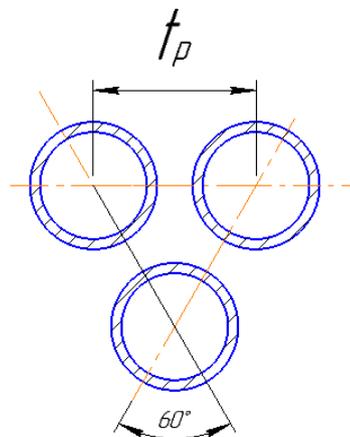


Рис. 4.3 - Схема расположения труб по вершинам правильного шестиугольника

																					Лист	
																						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																		

ФЮРА.440001 ПЗ

Определим шаг расположения труб по [45]:

$$t_p := 1.2 \cdot d_t + 2$$

$$t_p = 32 \quad \text{мм}$$

4.5 Выводы по расчёту кожухотрубчатого теплообменника.

Кожухотрубчатый теплообменник располагается в производственном корпусе, где в зимнее время года минимальная температура может достигать -10°C , поэтому, согласно рекомендациям [47], выбираем в качестве материала корпуса сталь 16ГС, так как эта марка относится к широко распространенным на рынке. А также, выбранная сталь обладает достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях и хорошо сваривается.

Таблица 4.5 - Исполнение по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Распределительная камера	Трубная решетка	Теплообменная труба
M1		16ГС		сталь 10

В результате проведенной работы был подобран и рассчитан стандартный теплообменник 159ТКГ-1.6-M1. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук)

Характеристика аппарата представлена в таблице 4.7:

Толщина стенки цилиндрического кожуха, мм	5
Толщина стенки эллиптической крышки, мм	5
Толщина стенки труб, мм	2
Диаметр труб, мм	25
Наружный диаметр фланца, мм	280
Диаметр болтовой окружности фланца, мм	240
Количество болтов, шт	8
Толщина фланца, мм	19
Количество труб, шт	13

5. МЕХАНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ (МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ)

Выбираем монтаж методом скольжения отрывом от земли краном в количестве 1 штук
(рис.5.1)

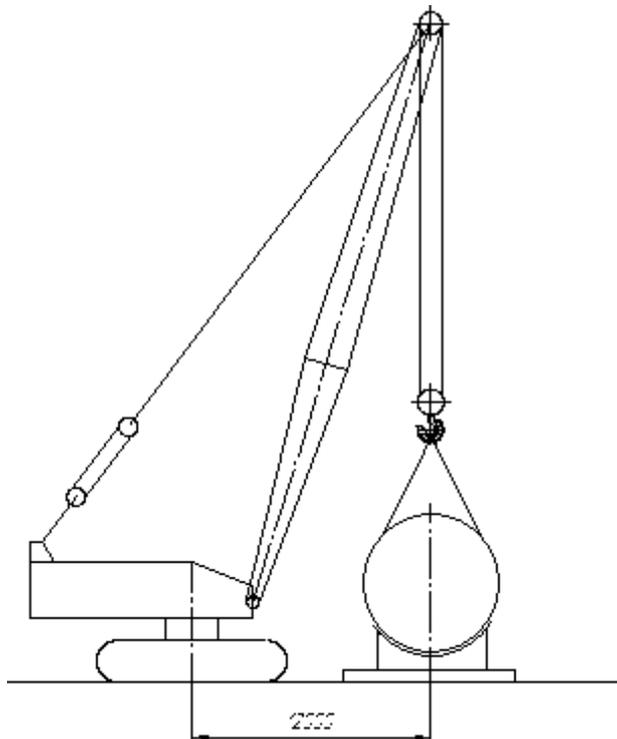


Рис.5.1 – Монтажная схема аппарата.

При проведении подъемно – установочных маневров с оборудованием кран у фундамента принимает положение с минимальным вылетом крюка.

Установка оборудования завершается плавным опираем на фундамент, нижнюю часть оборудования по проектному положению.

Расчёт такелажной оснастки и крана

Выбор крана. Грузоподъёмность необходимое для крана определяется по формуле:

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{G_0}{n_{\text{к}}},$$

где $G_0 = 18.2$ т – масса оборудования;

$n_{\text{к}} = 1$ – количество кранов.

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{18.2}{1} = 18.2 \text{ т.}$$

Высота подъёма крюка при установке реактора на фундамент равно:

$$h_{\text{к}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{с}} + h_{\text{о}} + h_{\text{с}},$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

где $h_{\phi} = 0,5$ м – высота фундамента;

$h_3 = 0,5$ м – запас высоты реактора над землёй;

$h_0 = 8$ м – высота блока оборудования от основания до места строповки;

$h_c = 6$ м – высота стропа.

$$h_k = 1,5 + 0,5 + 8 + 6 = 16 \text{ м.}$$

Выбираем кран КГ-100 со стрелой 25 метров согласно графика грузо-высотных характеристик. Которая с вылетом крюка $l_k = 12$ м обладает грузоподъёмностью $G_k = 30$ тонн. А подъём крюка составит около 20 метров которого с запасом хватит на установку реактора.

Расчёт и подбор траверсы. Траверса как приспособление грузозахватного типа применяется для подъёмных работ связанных с крупногабаритными устройствами. Особенно когда стропуются с нескольких мест. Траверсу работающую на изгиб (рисунок 2) больше подходит для этого случая подъёмно установочных работ.

Формула определения нагрузки, действующую на траверсу:

$$P = 10 \cdot G_0 \cdot k_{\pi} \cdot k_d$$

где $k_{\pi} - 1,1$ коэффициент перегрузки

$k_d - 1,1$ коэффициент динамичности

$$P = 10 \cdot 18,2 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 220 \text{ кН.}$$

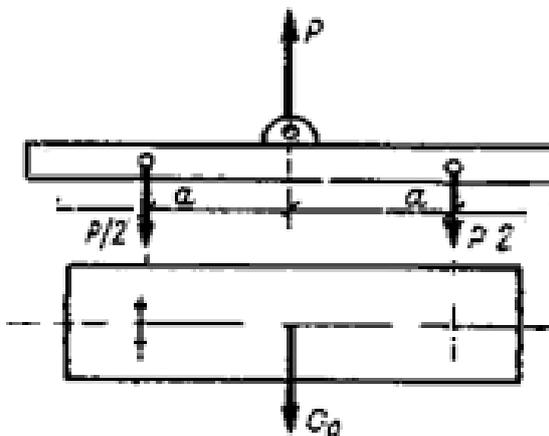


Рис. 5.1 – Расчётная схема траверсы, работающей на изгиб

Изгибающий момент в траверсе вычисляется:

$$M = \frac{P \cdot a}{4},$$

где a – равно 1,7 м, длина плеча траверсы.

$$M = \frac{220 \cdot 1,7}{4} = 89,1 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Минимальный момент сопротивления рассчитываем:

$$W_{\text{мин}} = \frac{89.1 \cdot 10^3}{0.85 \cdot 210 \cdot 10^6} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Исходя из этого результата делаем выбор с запасом сечения патрубка для траверсы размером $\frac{450}{12}$ мм с $W_T = 1458 \text{ см}^3$ так как $W_{\text{мин}} < W_T$ прочностные условия принимается выполняемыми.

Расчёт канатных строп.

Тяжеловесные грузы стропуются обычно инвентарных витых стропах, в виде замкнутой петли, последовательно-параллельной укладкой перевитых витков каната вокруг центра витка рисунке 3.

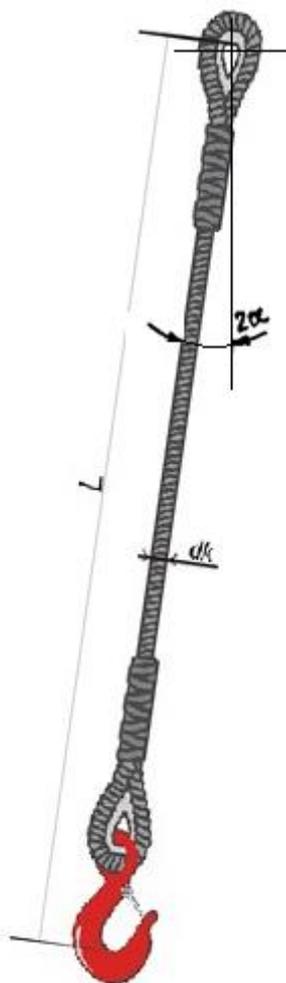


Рис. 5.2 – Расчётная схема витого канатного стропа

Натяжение одного стропового витка равно:

$$S = \frac{P}{m \cdot n \cdot \cos \alpha}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

где P – усилие, приложенное к стропу $220/2 = 110$ кН;

$m = 4$ – количество ветвей стропа;

$n = 7$ – число канатных витков в сечении одной ветви;

$\alpha = 15^0$ – угол между ветвью стропа и направлением усилия P .

$$S = \frac{110}{4 \cdot 7 \cdot 0,97} \approx 4 \text{ кН.}$$

Разрывное усилие в одного канатного витка с учётом коэффициента запаса $k_3 = 5$ равно:

$$R_n = S \cdot k_3,$$

$$R_n = 4 \cdot 5 = 20 \text{ кН.}$$

Исходя из этого результата как стропа примем стальной канат типа ВК.

Диаметр поперечного сечения выбранного ветви стропа:

$$d_c = 3 \cdot d$$

где $d = 0,0115$ м – диаметр витков стропа.

$$d_c = 3 \cdot 0,0115 = 0,0345 \text{ м}$$

Диаметр в минимальном случае захватного устройства равно:

$$D_c = k_c \cdot d_c$$

где $k_c = 4$ – коэффициент соотношения диаметров захватного устройства цилиндрической формы и поперечного сечения строповой ветви ($k_c \geq 4$).

$$D_c = 0,0345 \cdot 4 = 0,138 \text{ м}$$

Выверка, обвязка и испытание реактора

Положение оборудования по высоте и по горизонтали выверяется с помощью

- оптико-геодезических способов
- специализированных инструментов
- центровочных инструментов
- шаблонов и других приспособлений

Которые измеряют и контролируют изменения от перпендикулярности и соосности поверхностей оборудования.

При установке оборудования с опиранием на подливку как опорный элемент в выверочных работах, применяют отжимные регулировочные болты, бетонные опоры и др.

Выверку с отжимными регулировочными винтами по схеме на рисунке 5 больше всего подходит для исходного реактора.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

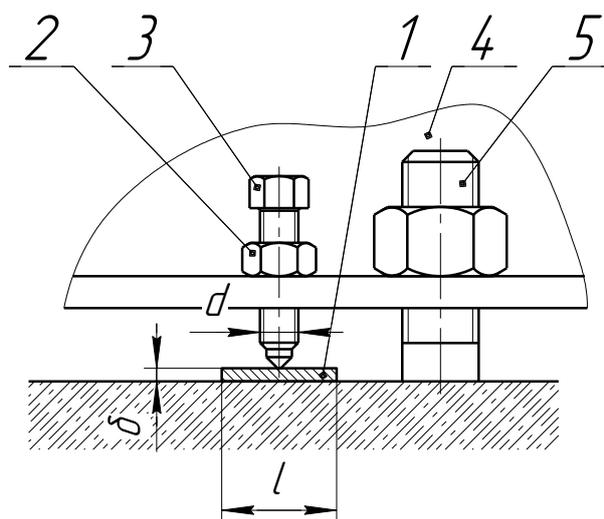


Рисунок 5.3 – выверка отжимными регулировочными винтами:

1 – опорная пластина; 2 – стопорная гайка; 3 – регулировочный винт; 4 – опорная часть оборудования; 5 – фундаментный болт

В опорной части оборудования размещаются опорные пластины с расположением отжимных регулировочных винтов. Места пластин необходимо выравнять с погрешностью меньше 10 мм на 1 м.

Отжимные регулировочные винты должны выступать на 1 – 3 см с опущенной части оборудования на фундамент.

Реактор по высоте и горизонтали выравняется последовательно отжимными винтами, погрешностью не больше на 0.3 см на 1 м.

Плотности прилегания винтов осматривается щупом толщиной 0,1 мм и уровень фиксируется контргайками. Свободный объем между фундаментом и опорой заливается бетоном которая после затвердевания красится маслястойкой краской.

Обвязка трубопроводами осуществляется в двух позициях входной патрубков выхлопных газов и выходной патрубков очищенных газов.

Оба патрубка свариваются способом сварки: РДС (ручная дуговая сварка) электродами марки ЦТ-26-5-ВД/Е-2313-Б20.

Как и все сосуды после монтажа в реакторе проводится гидравлические испытания. При этом реактор весь заполняется водой исключив присутствия воздуха. Вода при испытаниях по температуре не должна варьировать в пределах 5 - 40⁰С. Плавно повышается давление воды в реакторе что будет контролироваться манометром.

Если после испытаний не обнаружится течь воды, трещина металлоконструкции, потения в швах, течи в разъёмных соединениях, деформации, изменения давления в обратную сторону по манометру то результаты испытания считается положительным.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

После всех видов испытательных работ через верхние два штуцера будет загружено катализатор АМЦ-Ю и равномерно распределяется на поверхности решетки.

Ведомость монтажных механизмов, инструмента

Таблица 5.1

№ п\п	Наименование механизмов и инструмента	Количество
1	2	3
1	Набор инструмента для массовых слесарно-монтажных операций	1 комплект
2	Кран типа КГ-100 с длиной стрелы 25 м	1 шт.
3	Траверс 1РННТ4 А-20,0/3,0	1 шт.
4	Стропа канатный одноветвевой ВК-6,3 / 5	4 шт.
5	Выверочный монтажный инструмент	
	Винт М 16 ´ 140-1 ОСТ 26-1420-75	4 шт.
	Гайка М24-6Н.5(S36) ГОСТ 5915-70	4 шт.
6	Выверочное монтажное приспособление	
	Пластина опорная 70 ´ 70 ´ 10 ОСТ 26-1420-75	4 шт.
7	Сварочный трансформатор ТДМ-305 380 В AL	1 шт.
8	Электроды марки ЦТ-26-5-ВД/Е-2313-Б20	6 кг
9	Датчик давления МТ100	1 шт.

6. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Для осуществления контроля и управления технологическим процессом производства неконцентрированной азотной кислоты АК-72М предусмотрена автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), разработанная фирмой «Honeywell», включающая:

- Оборудование распределённой системы управления (DCS) TPS Honeywell и соответствующее системное программное обеспечение;
- Оборудование системы противоаварийных защит и блокировок (ESD) FSC Honeywell и соответствующее программное обеспечение;
- Оборудование подсистемы антипомпажного управления и регулирования турбокомпрессорного оборудования фирмы ССС и соответствующее системное программное обеспечение;
- Оборудование полевого КИПиА, подключаемого к системе управления;
- Оборудование полевого КИПиА, установленного по месту.

Управление осуществляется из ЦПУ. Консоль управления в ЦПУ состоит из трех GUS-станций, встроенных в Z-консоль с дополнительным одним столом для вспомогательного оборудования (кнопки и переключатели с LED индикаторами) для экстренных остановок.

Каждая GUS-станция снабжена цветным монитором 21", клавиатурой (для нужд оператора) и трекболом. В упомянутой консоли установлены стандартные модули LCN-1, резервированный NIM- устройство интерфейса с уровнем технологического процесса, шиной VCN и 2М для выполнения системных задач и функции историзации.

К операторским станциям присоединяются 2 аларменных принтера.

6.1 Описание технологического процесса и схемы.

В отделении каталитической очистки выхлопных газов от остаточных окислов азота и подогрева выхлопных газов приборы автоматизации участвуют по нижеуказанному описанию. Выхлопные газы после абсорбционной колонны поз. К-31 Температура TR-616 и давление PI - 614 выхлопного газа поступают в регенератор блока нагрева газов поз.Т-53, где нагревается смесью очищенных выхлопных газов, вышедших с температурой (370÷420) °С (1TR-803) и давлением (3÷5) kPa [(0,03÷0,05) kgf/cm²] PR-819 из газовой турбины комплексного машинного агрегата КМА-5 поз. М-10б и продуктов сгорания поступающих из камеры конвекции. Из зоны регенерации блока нагрева газов поз. Т53 выхлопные газы через датчик автоматического анализа выхлопного газа на содержание кислорода QR-402 с температурой (290÷300) °С поступают на селективную низкотемпературную каталитическую

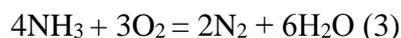
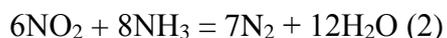
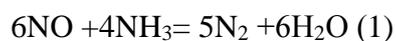
					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

очистку с использованием газообразного аммиака в качестве восстановителя в реактор поз. Р-40.

Для осуществления очистки необходимо небольшое количество аммиака, этим вызвано применение специального оборудования и узла смешения аммиака с выхлопным газом.

Газообразный аммиак поступает из общецеховой сети газообразного аммиака в паровой перегреватель поз. Т-222, где используется пар с параметрами $P=1,2 \text{ МПа}$ (12 kgf/cm^2) $t=250 \text{ }^\circ\text{C}$ который контролируется регулирующим клапаном FCV-302., температура конденсата при выходе ПІ - 308 откуда аммиак с температурой ($150\div 200$) $^\circ\text{C}$ через корректирующий импульс для определения истинных значений FQRC- 302 с коррекцией по температуре TRAL-305 и давлению PR-332, – поступает в смесительное устройство через дистанционное управление отсекателем HVSA-602 в смонтированное в трубопроводе выхлопного газа из регенератора блока нагрева газов поз. Т-53.

Смешанный с аммиаком выхлопной газ через датчик температуры выхлопного газа TR-610 поступает в горизонтальный однополочный реактор каталитической очистки поз. Р-40, где на алюмомедьцинковом катализаторе АМЦ происходит селективная очистка выхлопных газов от окислов азота по следующим реакциям:



По побочной реакции (3) расходуется небольшое количество аммиака.

Для обеспечения очистки выхлопных газов до содержания окислов азота не более 0,005 об, с учетом проскока аммиака и побочных реакций, необходим избыток аммиака сверх стехиометрического количества на ($10\div 20$) %. Нагревшись на $45 \text{ }^\circ\text{C}$ очищенный выхлопной газ с температурой ($340\div 350$) $^\circ\text{C}$ из реактора поз. Р-40 направляется в конвективную зону блока нагрева газов поз.Т-53. При этом измеряется на датчике Q-222 бъемная доля аммиака, Объемная доля окислов азота. Также температура выхлопного газа в датчике TR-614.

Блок нагрева газов (БНГ-172Ф) поз. Т-53 состоит из регенерационной, конвективной и радиантной зон нагрева выхлопного газа, соединенных газоходами между собой, двух дымососов с подводящими и отводящими трубопроводами и газохода, соединяющего камеру регенерации с выхлопной трубой.

Выхлопной газ, пройдя измерение расхода выхлопного газа на датчике FR-25 и давление ПІ-658 каталитическую очистку, поступает последовательно в конвективную и радиантную зоны, где нагрев осуществляется топочными газами, полученными в результате сжигания

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						56
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

природного газа. Из радиантной зоны подогревателя очищенные выхлопные газы с температурой (750÷760) °С ТА-656 и автоматическое регулирование температуры TRCA^H- 601 направляются в рекуперативную газовую турбину М-10б, где расширяется до давления (3÷5) кПа [(0,03÷0,05) kgf/cm²].

Температура выхлопных газов после радиантной зоны подогревателя поз. Т-53 регулируется автоматически изменением количества природного газа, подаваемого на сжигание, (узел регулирования TCV-601, FRC-650). При расширении в турбине температура снижается до (370÷420) °С. С этой температурой очищенные выхлопные газы возвращаются в зону регенерации блока нагрева газов поз. Т-53.

Необходимое давление в зоне горелок топочного устройства создается естественной тягой выхлопной трубы поз. Х-102 высотой 150 м и при необходимости за счет разрежения, создаваемого дымососами поз. Т-53_{1,2}. Для обеспечения работы блока нагрева газов на номинальной нагрузке при температуре окружающей среды выше 24 °С предусмотрено подключение дымососов, создающих дополнительное разрежение по тракту уходящих продуктов сгорания и очищенных выхлопных газов.

Температура газов на выходе из блока нагрева газов поз. Т-53 в выхлопную трубу (160÷196) °С (ТРАН-653). Также измеряется объемная доля окислов азота в смеси выхлопных и дымовых газов после ввода всех воздушников датчиком Q-283.

При отклонениях от нормального технологического режима автоматически прекращается подача природного газа в подогреватель поз. Т-53 [закрывается отсекающий (HVS-603) на линии природного газа].

К таким отклонениям в работе блока нагрева газов относятся:

- Падение давления природного газа в подогревателе до 0,03 МПа (0,3 kgf/cm²);
- Минимальное разрежение в верхней части радиантной зоны (1 mm H₂O.);
- Остановка дымососов (при их работе);
- Аварийная остановка агрегата КМА 5.

Газовая турбина поз. М-10б, которая состоит из турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД), расположенных в общем корпусе и сообщающихся по газовому пространству.

Наличие паровой турбины поз. М-10г на вале ТВД позволяет регулировать его обороты и обеспечивает работу воздушного компрессора поз. М-10а и нитрозного нагнетателя поз. М-10в в зонах, далеких от помпажа. При нарушениях в работе производства, приводящих к снижению мощности турбин ТНД и ТВД, дефицит мощности покрывается паровой турбиной и подачей пар Р=3,9 МПа, t=(420÷440) °С, в тракт после реактора каталитической очистки поз. Р-40 в количестве (10-12) t / h для увеличения рабочего тела тем самым увеличения мощности

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

газовой турбины. Для привода паровой турбины используется при пуске пар $P=3,9$ МПа, $t=(420\div 440)$ °С, поступающий из сети. При работе-пар 3,9 МПа ($3,9 \text{ kgf/cm}^2$), $t= 440$ °С, выработанный в котле-утилизаторе. Отработанный в паровой турбине пар с давлением 1,2 МПа и температурой $(300\div 380)$ °С направляется через охлаждающую установку (ОУ) в сеть. Температура пара после ОУ поддерживается до 250 °С.

Производительность компрессора в пределах нормального технологического режима может изменяться от 90 до 110 % в зависимости от оборотов осевого компрессора $(4800\div 5250)$ г/мин и времени года. Снижение оборотов осевого компрессора ниже 4800 г/мин (до 4400 г/мин) является нарушением норм технологического режима. В жаркое время года при температуре наружного воздуха выше +20 °С производительность компрессора падает, зимой растет, избыточное давление 0,36 МПа относится к зимнему периоду работы. Регулирование оборотов осевого компрессора при номинальных оборотах КМА-5 производится путем подачи пара $P = 3,9$ МПа через регулирующий клапан , после реактора поз.Р-40.

Газовая турбина поз. М-10б приводится во вращение за счет рекуперации энергии очищенных выхлопных газов. В номинальном режиме температура перед ТВД поддерживается в пределах $(750\div 770)$ °С TRSAH - 802 а давление контролируется датчиком PIR-810.

Охлаждение обойм и диска ТВД производится очищенным выхлопным газом, который отбирается от основного потока очищенных выхлопных газов после реактора поз. Р-40. Температура охлаждающего очищенного выхлопного газа $(290\div 350)$ °С (2TIR - 813) . Из коллектора очищенные выхлопные газы подаются:

- на охлаждение диска ТВД и ТНД
- на охлаждение обоймы ТВД
- на охлаждение корпуса
- на газовое уплотнение ТВД

При работе агрегата не допускается повышение температуры газа перед турбиной выше 770 °С TI – 208. Защита помещения машинного зала от проникновения окислов азота через торцевые уплотнения нитрозного нагнетателя производится подачей воздуха с нагнетания воздушного компрессора в камеры торцевых уплотнений.

Для быстрого снижения оборотов КМА-5 при аварийных остановках на линии газов перед турбиной (после зоны конвекции блока нагрева газов поз. Т-53 по ходу газов) установлены два сбросных клапана Ду 600. Для обеспечения сброса выхлопных газов из абсорбционной колонны при аварийных остановках (защита тарелок от возможного повреждения), защиты блока нагрева газов на линии выхлопных газов перед ловушкой поз. Е-23 установлен быстродействующий клапан Ду 600, автоматически закрывающийся при аварийной остановке

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

КМА-5. Дистанционное управление отсекаателем HVSA-6011 и Дистанционное управление регулирующим клапаном HCVSA- 601₂ на линии «холодного байпаса» также способствует быстрому сбросу давления газов перед турбиной и быстрой безопасной остановки КМА-5.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код продукции	Поставщик	Ед. измерения	Количество	Масса 1 ед., кг	Примечание
	<u>Оборудование</u>							
TRSAH	Преобразователь термоэлектрический	T1526-6 22 6 999 01						
- 802	T=(750÷770)	N0 H1	-	Фирма: РАКА	°С	3	-	
				-			-	
ITR-803	Термометр сопротивления RTD	T1526-6 22 6 999	-	Фирма: РАКА	°С	1	-	
TR-652	Шкала: 0÷400 °С		-			3	-	
ITR-657			-			1		
PIRA ^H -	Интеллектуальный датчик избыточного давления,	STG-94L-EIG-00000-		Фирма:	МПа	2	-	
808	Диапазон измерения: 0÷0,6 МПа	MB, CC, 3A	-	«Honeywell».				
PIR -819	Интеллектуальный датчик дифференциального	STD-924-EIH -00000-	-	Фирма:	кПа	1	-	
	давления, Диапазон измерения: 2÷6 кПа	S2,MB,CC,3A		«Honeywell».				
TRAL-	Термометр сопротивления RTD	T1002-4 04		Фирма; РАКА	°С	1	-	
305	Шкала : (0 ÷300) °С	1 999 S41 N2 HI P1	-					
TI - 308	Термометр показывающий биметаллический	TU100 -350/100	-	Фирма: МЕТРА	°С	1	-	
	Шкала: (0÷350) °С Цена деления: 5 °С							
PRCAL-	Интеллектуальный датчик избыточного давления	STG-94L-EIG-00000		Фирма:				
308	Диапазон измерения: (0÷1,6) МПа	-MB, CC, 3A	-	«Honeywell».	МПа	1	-	
	Класс точности: 0,1							

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Спецификация оборудования автоматизации отделения нагрева и каталитической очистки выхлопного газа (блок 6)	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Рахимбеков К.А.						1:1
Проб.		Беляев В.М.				Лист	Листов	1
Т.контр.						ТПУ ИШНПТ Группа 4КМ81		
Н.контр.					Спецификация оборудования, изделий и материалов			
Утв.					Копировал Формат А3			

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код продукции	Поставщик	Ед. измерения	Количество	Масса 1 ед., кг	Примечание
FQRC-302	Диафрагма камерная ДКС-10-50-А/Б-1 Ду=50 mm; Ру=10 МПа, Интеллектуальный датчик дифференциального давления,	STD-924-ЕИН-00000-S2-MB,CC,3A	-	Фирма: «Honeywell».	m ³ /h	1	-	
FQRC-650	Шкала: (0÷200) m ³ /h		-			1	-	
QR-402	Газоанализатор на кислород. Диапазон измерения: (0÷5) % Объёмного содержания O ₂ , Выходной сигнал: (4÷20) mA, Класс точности: 2,0	ГТМК-18	-	Фирма: АНПО «Химавтоматика»	%	1	-	
TR-610	Термометр сопротивления RTD,	T 1002-4 06 1	-	Фирма: РАКА	°C	1	-	
TR-614	Распределительная система управления DCS	999 S41 N2 H1 P1	-			1	-	
TR-650	Шкала: (0÷600) °C		-			3	-	
1TR-653			-			1	-	
2TR-653			-			1	-	
2TR-657			-			1	-	
PI-614	Тягомер показывающий	PM06.03	-	Фирма «WIKA»	kPa	1	-	
PI-654	Диапазон измерения(0÷ минус 1,0) kPa		-			3	-	
PI-655	Класс точности: 1,0		-			3	-	
PI-657			-			1	-	
PI-658			-			1	-	
PI-659			-			1	-	
PI-660			-			3	-	
PI-661			-			5	-	

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

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код продукции	Поставщик	Ед. измерения	Количество	Масса 1 ед., кг	Примечание
HCVSA-601 ₂	Цифровая система контроля и управления САУ и РССС. Клапан рег. Ду=150 mm; Ру=4,0 МПа	C90114 016 NO Ex	-	Фирма: «ССС».		1	-	
PRC-651	Интеллектуальный датчик дифференциального Давления, Перепад давления: (0÷1) kPa Класс точности: 0,1	STD-120- EIH-00000-S2-MB,CC, 3A	-	Фирма: «Honeywell».	kPa	1	-	
PIRAL-23	Разделитель мембранный, манометр показывающий МТП-160, Шкала: 0÷1,6 МПа, Кл. точ.: 1,5	PM5319		Фирма: «Honeywell».	МПа	1	-	
HVSA-602	Цифровая система контроля и управления DCS.	TE BTF 16/SS-WAF-	-	Фирма: «Honeywell».	-	1	-	
HVSA-603	Клапан отсечной Ду=50 mm; Ру=4,0 МПа	POP NZ Ex	-		-	1	-	
HVSA-6011			-		-	1	-	
PIR -819	Интеллектуальный датчик дифференциального давления, Диапазон измерения: 2÷6 kPa	STD-924- EIH-00000-S2,MB,CC,3A	-	Фирма: «Honeywell».	kPa	1	-	
PIR-810						1	-	
PIR-811						1	-	
FRAL-23A	Диафрагма камерная Ду=150 mm; Ру=10 МПа	STD-924- EIH-00000-S2, MB, CC, 3A	-	Фирма: Mattech	kPa	1	-	
FRAL-24A	интеллектуальный датчик дифференциального давления, Диапазон измерения:0÷40 kPa					1	-	
FIRAHL-24						1	-	
FR-25	Диафрагма безкамерная 3788CWP4449 Ду=900 mm; Ру=1,6 МПа . Интеллектуальный	STD-924- EIH-00000-S2-MB,CC,3A	-	Фирма: «Honeywell».	kPa	1	-	

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

7. Социальная ответственность

Введение

Сегодня, наиболее крупным источником выбросов в атмосферу газовых выбросов — азота NO_x — является энергетическая и химическая промышленность. В результате происходит как региональное (кислотные дожди), так и локальное (повышение концентрации NO_2 в воздухе) воздействие на окружающую среду. Что показывает на актуальность работы. Доказано, что повышенные концентрации оксидов азота в приземном слое воздуха оказывают вредное воздействие на здоровье человека, на растительный и животный мир. В России, как и в других высокоразвитых странах, приняты законодательные ограничения по выбросам оксидов азота в атмосферу. Максимально разовая (усредненная за 20 мин) предельно-допустимая концентрация NO_2 равна 0,2 мг/м³, среднесуточная — 0,04 мг/м³ (3-й класс опасности для атмосферного воздуха населенных мест). [74].

Проект реактора предполагает установку и оказывает совместимость с такими же агрегатами производства слабой азотной кислоты как на АО «Farg'onazot» г. Фергана, Ул. Саноат, 222. e-mail: info@azot.uz

Основное рабочее место оператора находится в центральном пульте управления агрегата АК-72М. В цеховой части оборудование входящий в состав отделения нагрева и каталитической очистки выхлопного газа блока № 6. На рабочем месте оператора каталитической очистки в 6 - блоке комбинированная система освещения, естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами) и искусственное освещение (светильники типа НСП-02-200) и в центральном пульте управления комбинированная система освещения, естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами) и искусственное освещение (светильники типа ARS/R 4x18 HF). Окна имеют типовую конструкцию с повышенной звукоизоляцией за счет толстых двойных стекол и воздушного пространства между ними. В помещении существует приточная и естественная вентиляции при помощи форточек и вентиляционных каналов. Оператором каталитической очистки производятся работы связанные с вредными веществами, такими как: аммиак и окиси азота. Техногенные выбросы азота в воздушную среду в основном включают оксид азота NO и его диоксид NO_x . Мировое количество этих выбросов приближается к 37 млн/т в год без учета отходящих газов нефтепереработки, причем около 97 % этого количества приходится на северное полушарие. [75]

Сооружение эффективных каталитических установок для очистки отходящих газов от оксидов азота позволило на Невинномысском химическом комбинате ликвидировать «лисьи хвосты», на Омском НПК погасить четыре промышленных факела. [76]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Режим рабочего времени организуется согласно главе 16 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Согласно которому:

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором.

Ненормированный рабочий день - особый режим работы, в соответствии с которым отдельные работники могут по распоряжению работодателя при необходимости эпизодически привлекаться к выполнению своих трудовых функций за пределами установленной для них продолжительности рабочего времени. Перечень должностей работников с ненормированным рабочим днем устанавливается коллективным договором, соглашениями или локальным нормативным актом, принимаемым с учетом мнения представительного органа работников.

Сменная работа - работа в две, три или четыре смены - вводится в тех случаях, когда длительность производственного процесса превышает допустимую продолжительность ежедневной работы, а также в целях более эффективного использования оборудования, увеличения объема выпускаемой продукции или оказываемых услуг.

При сменной работе каждая группа работников должна производить работу в течение установленной продолжительности рабочего времени в соответствии с графиком сменности.

Защита персональных данных работника организуется согласно главе 14 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Согласно которому:

В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать следующие общие требования:

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

1) обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, получении образования и продвижении по службе, обеспечения личной безопасности работников, контроля количества и качества выполняемой работы и обеспечения сохранности имущества;

2) при определении объема и содержания обрабатываемых персональных данных работника работодатель должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

3) все персональные данные работника следует получать у него самого. Если персональные данные работника возможно получить только у третьей стороны, то работник должен быть уведомлен об этом заранее и от него должно быть получено письменное согласие. Работодатель должен сообщить работнику о целях, предполагаемых источниках и способах получения персональных данных, а также о характере подлежащих получению персональных данных и последствиях отказа работника дать письменное согласие на их получение;

4) работодатель не имеет права получать и обрабатывать сведения о работнике, относящиеся в соответствии с законодательством Российской Федерации в области персональных данных к специальным категориям персональных данных, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом и другими федеральными законами;

5) работодатель не имеет права получать и обрабатывать персональные данные работника о его членстве в общественных объединениях или его профсоюзной деятельности, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом или иными федеральными законами;

6) при принятии решений, затрагивающих интересы работника, работодатель не имеет права основываться на персональных данных работника, полученных исключительно в результате их автоматизированной обработки или электронного получения;

Порядок хранения и использования персональных данных работников устанавливается работодателем с соблюдением требований настоящего Кодекса и иных федеральных законов.

В целях обеспечения защиты персональных данных, хранящихся у работодателя, работники имеют право на:

Полную информацию об их персональных данных и обработке этих данных;

Свободный бесплатный доступ к своим персональным данным, включая право на получение копий любой записи, содержащей персональные данные работника, за исключением случаев, предусмотренных федеральным законом;

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

Требование об извещении работодателем всех лиц, которым ранее были сообщены неверные или неполные персональные данные работника, обо всех произведенных в них исключениях, исправлениях или дополнениях;

Обжалование в суд любых неправомерных действий или бездействия работодателя при обработке и защите его персональных данных.

Лица, виновные в нарушении положений законодательства Российской Федерации в области персональных данных при обработке персональных данных работника, привлекаются к дисциплинарной и материальной ответственности в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами, а также привлекаются к гражданско-правовой, административной и уголовной ответственности в порядке, установленном федеральными законами.

Оплата и нормирование труда организуется согласно главе 20 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

В настоящее время компенсации за работу во вредных и (или) опасных условиях труда установлены в следующем виде:

- сокращенная продолжительность рабочего времени;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск;
- оплата труда в повышенном размере;
- выдача молока и лечебно-профилактического питания.

Сокращенная продолжительность рабочего времени в общем случае составляет не более 36 часов в неделю и 8 часов в день (или 6 часов при 30-часовой рабочей неделе) при условии, что по результатам специальной оценки условия труда на рабочих местах сотрудников отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда.

Ежедневная продолжительность рабочего дня в виде исключения также может быть увеличена до 12 часов – при 36-часовой рабочей неделе и 8 часов – при 30-часовой с письменного согласия работника и при наличии соответствующих условий в отраслевых и коллективных соглашениях.

При этом денежная компенсация за увеличенный рабочий день с сохранением недельной нормы рабочего времени не выплачивается, если иной порядок не предусмотрен в указанных выше соглашениях. В результате конкретную продолжительность рабочего времени работника устанавливают трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки.

Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск составляет не менее семи календарных дней при условии, что по результатам специальной оценки условия труда на рабочих

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

местах работников отнесены к вредным условиям 2, 3 или 4 степени, либо опасным условиям труда. Конкретную продолжительность дополнительного отпуска для работника устанавливают трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения или коллективного договора с учетом результатов специальной оценки.

На работах с особо вредными условиями предоставляют бесплатно лечебно-профилактическое питание. Нормы молока утверждены в приложении 1 к приказу Минздравсоцразвития России от 16 февраля 2009 г. № 45н, нормы профилактического питания – в приложении 2 к приказу Минздравсоцразвития России от 16 февраля 2009 г. № 46н.

7.2 Производственная безопасность

7.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Таблица 7.1- Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото- вление	Экс- плуата-	
1. Требования к технике безопасности при работе с вредными веществами			+	Требования к технике безопасности при работе с вредными веществами устанавливаются ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности и Требования к предлагаемым средствам защиты: перчатки, ухваты, спецодежде устанавливается по Общезаводской Инструкцией ОТБ-2 «О порядке обеспечения, применения и хранения специальной одежды, специальной обуви и других средствах индивидуальной защиты» и ГОСТ 12.4.299-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию
2. Превышение уровня шума		+	+	Требования к уровню шума устанавливаются ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
3. Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности	+	+	+	Требования к оборудованию как возможному источнику травмоопасности осуществляется по ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

4. Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: повышенная температура рабочей поверхности, электрический ток, короткое замыкание,			Требования к электробезопасности осуществляется по ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Требования к повышенной значение температуры поверхности оборудования осуществляется по РД 34.03.201-97 Правила техники
химические и термические ожоги, механические повреждения, отравление.		+	безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. Требования по химическим и термическим ожогам, механическим повреждениям, отравлении осуществляется по РД 153-34.0-03.702-99 Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве

7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Вредные вещества

Наиболее опасными соединениями является двуокись азота, так как она вследствие своей медленной растворимости во влаге, покрывающей слизистые оболочки дыхательных путей, имеет значительный скрытый период между моментами поступления ядовитых газов в организм и началом развития болезненных явлений, преимущественно в глубоких отделах органов дыхания.

После вдыхания окислов азота, состоявших полностью или в большей части из двуокиси азота, пострадавший во многих случаях не чувствует никакого раздражения дыхательных путей и только через 20-30 минут у него возникает кашель, отдышка, за грудиные боли; эти первичные явления часто проходят при выходе пострадавшего из загазованного помещения на свежий воздух, а затем через час или несколько часов снова нарастает отдышка, появляются кашель, боли в груди, всё более усиливающееся затруднение дыхания, развиваются синюшность и тяжёлые, опасные для жизни явления отёка лёгких.

Тетроксид, ангидрид азотной кислоты, пары и аэрозоль азотной кислоты действуют тоже раздражающе-удушающим образом на органы дыхания человека. Низшие окислы азота: закись азота и ангидрид азотной кислоты обладают преимущественно сосудорасширяющим и метгемоглобинообразующим свойствами, а отчасти и наркотическим свойством.

Систематическое воздействие превышающих предельно допустимые концентрации, но ещё не способных острое отравление концентраций двуокиси азота и других высших окислов азота ведёт к развитию тяжёлых хронических заболеваний дыхательных путей— хронических бронхитов, бронхиолитов, токсических пневмосклерозов, часто осложнённых астмическими приступами, бронхоэктазиями явлениями вторичной слабости сердца. [77]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Средства индивидуальной защиты работающих

На основании Трудового кодекса РФ ст.221 работникам, занятым в производствах с вредными и(или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, выдают сертифицированные средства индивидуальной защиты(СИЗ), а также смывающие и обезвреживающие средства в соответствии с Инструкцией ОТБ-2 «О порядке обеспечения, применения и хранения специальной одежды, специальной обуви и других средствах индивидуальной защиты» и ежегодно пересматриваемыми «Нормами бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты работникам АО "Farg'onaazot"»

Шум и вибрация

Источники инфразвука, ультразвука на предприятии отсутствуют.

В технологическом процессе не используются механизмы, устройства, оборудование, являющиеся источниками повышенной вибрации.

Источниками постоянного производственного шума на предприятии являются:

- насосное оборудование;
- вентиляционное оборудование;
- аппараты воздушного охлаждения

Согласно таблице 1 СН2.2.4/2.1.8.562-96, [78] предельно допустимый уровень звука для категории напряженности трудового процесса легкой степени с легкой физической нагрузкой– 80 дБА.

Для защиты обслуживающего персонала и окружающей среды от воздействия шума предусмотрены следующие мероприятия:

- вентиляционное оборудование вент. систем установлено на виброизоляторах в помещениях, не имеющих постоянных рабочих мест. Стены помещений являются звукоизолирующими конструкциями;
- Забор и выхлопные трубы вентиляции оснащены шумоглушителями;
- Насосное оборудование имеет конструктивную защиту– блокировки, отключающие насос при кавитации на приеме, что позволяет эксплуатировать оборудование в паспортном режиме.

Для защиты дежурного персонала в зоне обслуживания оборудования с высоким уровнем шума при периодических осмотрах, ремонтных работах предусматривается не только использование средств индивидуальной защиты (против шума), но и защита по времени пребывания– введение регламентированных перерывов не менее 10 минут в течение 1 часа работы.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Постоянные рабочие места рабочего и дежурного персонала, обслуживающего производство(операторы, дежурные слесари), располагаются в помещениях, удаленных от источников производственного шума. Согласно таблице П.7.3 Р.2.2.200605, [79] пребывание дежурного персонала при периодическом осмотре, обслуживании оборудования в зоне воздействия повышенных уровней шума ограничивается временем 10 минут.

Подвижные части производственного оборудования.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства(например двуручное управление), предотвращающие травмированные. [81]

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности. [81]

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийной установкой (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие. [81]

Конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии.

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмировании работающих, если их наличие неопределяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих. [81]

Части производственного оборудования (в том числе трубопроводы гидро-, паро-, пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания. [81]

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

Конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации.

Производственное оборудование должно быть пожаро-взрыво безопасным в предусмотренных условиях эксплуатации. [81]

Электрический ток

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором. Для минимизации опасности удара электрическим током разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам, установленный [80]. Данный ГОСТ устанавливает требования для изоляции, защитного заземления, органов управления, блокировки, оболочки, зажимов и выводных устройств, экранов и прочих средств защиты от опасного и вредного влияния электромагнитных полей, теплового, оптического и рентгеновского излучения, предупредительных знаков, надписей, сигнализаций. Также, для минимизации риска, следует соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п. Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция токопроводимых частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. Использование средств защиты и приспособлений.

Механическое повреждение может быть вызвано падением человека с высоты вследствие испуга при незначительном воздействии силы тока, практически безопасного, если не были выполнены меры безопасности при работе на высоте.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Для предотвращения этих и других несчастных случаев необходимо разработать электробезопасность конструкций.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты.

Повышенная температура поверхности оборудования

Аппараты, температура наружных поверхностей которых в процессе эксплуатации может превышать 45 °С, должны быть тепло изолированы. [82]

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите от ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.). [83]

Работы, при которых возможно бурное протекание химического процесса, разбрызгивание горячих или вредных веществ, а также работы под вакуумом должны выполняться в

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

вытяжных шкафах на противнях или поддонах. При работе следует пользоваться специальными защитными очками, спецодеждой, фартуками и перчатками из материалов, стойких к воздействию вышеназванных веществ [83].

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69.

Все горячие участки поверхностей оборудования и трубопроводов, находящиеся в зоне возможного попадания на них легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ, должны быть покрыты металлической обшивкой для предохранения тепловой изоляции от пропитывания этими веществами.

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости-специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место [83].

В соответствии с Инструкцией ОТБ-2 «О порядке обеспечения, применения и хранения специальной одежды, специальной обуви и других средствах индивидуальной защиты» АО"Фарг'онаазот" Для защиты персонала от воздействия опасных и вредных факторов предусмотрены следующие средства индивидуальной защиты:

- В качестве средства защиты органов дыхания Фильтр противогАЗа Дон А1В1Е1К1 со шлем маской. Шлем маска ШМП Размер маски ШМП от 0 до 4
- Каска промышленная КАС473-БЕЛАЯ
- Рукавицы рабочие
- Куртка Воротник отложной. Рукава на манжетах. Брюки прямые на поясе с боковыми карманами. Отделка светоотражающей лентой для повышения видимости в сумерках и при недостаточной освещённости. также Куртка и брюки зимние.
- Кожаные ботинки
- Противошумные наушники

Химические и термические ожоги

Химические ожоги это в большинстве случаев кислота, щелочь, летучие масла, битум, керосин и бензин, фосфор и т.д.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

Меры по предупреждению и предохранению от ожогов сводятся в основном к строгому соблюдению всех установленных технологических режимов и порядка эксплуатации оборудования. Все операции, связанные с транспортированием обжигающих веществ, их взвешиванием и загрузкой в аппараты, на предприятии механизированы, Кислоты и растворы щелочей передается в цеха и в отдельные аппараты не в таре, а по трубопроводам.

Каждый работник обязательно проходит инструктаж по общим вопросам ПТБ на предприятии знать ПТБ в объеме, обязательном для его должности, и пройти проверку знаний иметь отчетливое представление о возможных опасностях при работах и мерах предупреждения несчастных случаев, знать назначение и уметь практически оказать первую помощь пострадавшему при поражении электрическим током, отравлении газом, ожогах и др. знать местонахождение ближайшего медицинского пункта, газоспасательной станции, пожарной команды.

Оказание первой помощи при химических ожогах кожи включает: скорейшее удаление химического вещества с пораженной поверхности, снижение концентрации его остатков на коже за счет обильного промывания водой в течение 15-30 минут, охлаждение пораженных участков с целью уменьшения боли.

При химических ожогах кислотой для нейтрализации используют 2-3% раствор пищевой соды.

При ожогах щелочами – 1-2% раствор лимонной, борной или уксусной кислоты.

При ожогах известью сначала сухим путём удаляют остатки извести и только потом длительно и энергично смывают поражённый участок.

При ожогах фосфором необходимо сбросить горящую одежду или накинуть на горящую поверхность любую ткань, смоченную водой. Тушат пламя фосфора струёй воды из-под крана или 1-2% раствором медного купороса. Пинцетом удаляют все видимые частицы фосфора, после чего на обожжённую поверхность накладывают повязку, обильно смоченную 2% раствором медного купороса, 5% раствором двууглекислой соды или 3-5% раствором марганцевокислого калия.

Затем можно наложить стерильную повязку из марли, но не из ваты – ее использовать нельзя. В процессе нейтрализации химического агента с пострадавшего аккуратно снимается одежда, контактирующая с обожжённой областью, часы и украшения. Для снижения воспалительного процесса пострадавший участок кожи промывается прохладной водой.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

Термические ожоги

При термическом ожоге важно, как можно быстрее охладить поражённый участок, для этого бывает достаточно подставить его под струю холодной воды или приложить к обожжённому месту снег, лёд или иной холод на 10-20 минут. Если целостность так называемых ожоговых пузырей оказалась нарушена, промывать водой такие раны нельзя. Поражённый участок следует сначала накрыть сухой стерильной тканью и только потом прикладывать к этому месту холода, положив его предварительно в полиэтиленовый пакет. Следует так же помнить, что при термическом ожоге нельзя смазывать ожоги маслом, сдирать остатки одежды, вскрывать ожоговые пузыри, бинтовать ожоги или наклеивать на них пластырь.

7.3 Экологическая безопасность

Выбросы в атмосферу

Газообразными выбросами в атмосферу являются технологические отходы– выхлопной газ, вентиляционные выбросы.

Выхлопной газ образуется на стадии абсорбции нитрозного газа конденсатом водяного пара (или ЧОВ) в абсорбционной колонне поз. К-31, проходит каталитическую очистку от окислов азота и монооксида углерода в реакторе поз. Р-40 и выбрасывается в выхлопную трубу поз. Х-102 высотой 150 метров в атмосферу.

Для предотвращения выбросов в атмосферу неочищенного выхлопного газа при возникновении аварийных ситуаций на стадии его очистки предусмотрены блокировки, приводящие к остановке стадии конверсии (блокировки класса Б, II и III группы).

При пусках и остановках агрегата АК-72М повышение содержания оксидов азота в выхлопном газе, выбрасываемом в атмосферу, не наблюдается.

Сточные воды

Сточные воды производства образуются при продувке водооборотных циклов и барабанов поз. Э-14 котлов-утилизаторов поз. Э-13, с охлаждения сальников насосов. Сточные воды представляют собой условно чистые стоки и сбрасываются в промышленную ливневую канализацию.

Продувочная вода водооборотного цикла перед сбросом в канализацию используется на охлаждение продувочной воды от котлов утилизаторов и сальников насосов Н-20, Н-15, Н-46, Н-1.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		76

Оборудование стадии охлаждения и промывки нитрозного газа, абсорбции окислов азота, хранилища кислоты, насосного отделения установлено в специальных поддонах, выполненных из кислотостойкого кирпича.

Поддоны оборудованы дренажными емкостями поз. Е-48, куда собираются кислые стоки соответствующих стадий. Проливы кислот, сброс после торцевых уплотнений кислотных насосов Н-35, Н-36, Н-101, а также кислота при опорожнении оборудования и трубопроводов при подготовке к ремонту поступают в дренажные ёмкости поз. Е-48, откуда насосами Н-49 перекачиваются в ёмкость поз. Е-103/2. Собранные в ёмкости поз. Е-103/2 кислые стоки анализируются и затем используются в производстве неконцентрированной азотной кислоты.

Твёрдые и жидкие отходы

Твёрдые отходы образуются:

- при замене фильтрующих материалов в фильтрах воздуха, природного газа, аммиачно-воздушной смеси, газообразного аммиака, азота, азото-водородной смеси (технологические отходы);
- при проведении работ по изоляции трубопроводов и технологического оборудования(шлаковата);
- при проведении ремонтных работ на градирнях (отходы с градирен);
- при проведении работ по ремонту и уходу за технологическим оборудованием (прокладочные материалы, обтирочный материал);
- при проведении строительных и монтажных работ (строительно-бытовой мусор);
- при проведении работ по уборке производственных помещений (обтирочный материал);
- после загрузки катализатора АМЦ-Ю в реактор каталитической очистки поз. Р-40 (невозвратная тара).

Твердые отходы складировются на специальных площадках для хранения твёрдых отходов согласно типу отходов.

Жидкими отходами в производстве неконцентрированной азотной кислоты является отработанное масло типа ТП-22.

Отработанное масло образуется при работе комплексного машинного агрегата КМА-5. Отработанное масло ТП-22 накапливается в ёмкости отработанного масла поз. Е-72. По мере накопления– перекачивается насосом поз. Н-38 в автоцистерну отработанного масла стороннего потребителя. Транспортировка отработанного масла должна осуществляться при следующих условиях:

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		77

- автоцистерна должна быть специально оборудована и снабжена специальными знаками;
- наличие паспорта на отработанное масло;
- наличие документации для транспортирования и передачи с указанием количества транспортируемого отработанного масла, цели и места назначения транспортирования;
- соблюдения требований безопасности к транспортированию опасных отходов на транспортных средствах.

Лампы люминесцентные утратившие потребительские свойства

Люминесцентные ртуть содержащие трубки представляют собой вакуумную стеклянную колбу, наполненную парами ртути и покрытую изнутри люминофором.

В соответствии с Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 г. N 242 "Об утверждении федерального классификационного каталога отходов"

1) Отход "Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства":

- имеет код 4 71 101 01 52 1;
- относится к отходам I класса опасности - чрезвычайно опасным отходам.

Хранить упакованные отработанные лампы следует на стеллажах или в закрывающихся на замок металлических шкафах (ящиках), оборудованных деревянными или металлическими полками, окрашенными краской, исключая повреждение упаковок. Запрещается использование алюминия в качестве конструкционного материала для стеллажей или шкафов. Места временного хранения отработанных ртутьсодержащих ламп (стеллажи или шкафы) должны быть обозначены краской или табличкой с надписью: "Отход I класс опасности. Отработанные ртутные лампы".

Упакованные отработанные и/или бракованные люминесцентные лампы хранят на складе не более 11 месяцев. [84]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная и взрывная опасность

Корпус относится к взрывоопасному помещению категории Д. К категории Д относятся помещения, связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в холодном состоянии.

Пожарная безопасность в центральном пульте управления обеспечивается системой предотвращения пожара путем организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих невозможность возникновения пожара, а также системой пожарной защиты, направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения ущерба от него.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуацию людей в случае пожара;
- применение средств индивидуальных и коллективных средств защиты от огня;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта.

На блочном щите управления из средств пожаротушения находятся пенные, порошковые и водные огнетушители.

Все переходы должны быть свободными и иметь, по крайней мере, хотя бы два выхода, не должно быть длинных тупиковых проходов.

Все двери и все ворота для машин должны открываться наружу. Здание иметь оконные перелеты, которые располагаются, как правило, в одной плоскости с внутренней поверхностью стен. В зданиях должны быть предусмотрены вытяжные шахты для дыма удаления.

Для оказания первой помощи в цеху всегда должны быть:

1. бинты;
2. гигроскопическая вата;
3. 3%-вый раствор йода;
4. 2%-вый раствор борной кислоты;
5. 2%-вый раствор уксусной кислоты;

										Лист
										79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.440001 ПЗ

Основные поражающие факторы пожара: непосредственное воздействие огня (горение); высокая температура и теплоизлучение; газовая среда; задымление и загазованность помещений и территории токсичными продуктами горения.

С целью уменьшения материального ущерба, вреда жизни и здоровью работников, интересам общества и предприятия реализуется комплекс профилактических мероприятий, направленных на предупреждение и (или) устранение факторов риска пожара.

Профилактические мероприятия – важнейшая составляющая системы защиты от пожаров, направленной на формирование у коллектива мотивации на обеспечение пожарной безопасности в будущем.

Работа по предупреждению пожаров на предприятии включает:

- пожарно-техническое обследование с целью выявить истинное состояние пожаробезопасной системы объектов в целом и отдельных их частей представителями пожарного надзора с последующим вручением предписаний и приказов;
- контроль своевременного исполнения предназначенных для объекта мероприятий;
- постоянный контроль над выполнением противопожарных работ;
- проверку исправности первичных средств пожаротушения;
- установку систем пожарной автоматики;
- проведение учебных работ с персоналом организации для определения времени эвакуации людей при пожаре.

Независимо от должности, на которую принимается сотрудник, он обязан пройти противопожарный инструктаж.

Вводный и первичный (непосредственно на рабочем месте) противопожарный инструктаж проводятся со всеми вновь принимаемыми на работу (в том числе и временно) ИТР, рабочими и служащими независимо от их образования, стажа работы по данной профессии или должности, а также с прикомандированными, учащимися и студентами, прибывшими на производственное обучение или практику. Повторные противопожарные инструктажи проводятся ежеквартально.

Каждый работник обязан:

- четко знать и выполнять установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут привести к пожару;
- уметь применять имеющиеся в организации средства пожаротушения;
- в случае возникновения пожара или обнаружения его признаков немедленно сообщить об этом в пожарную охрану;
- принять меры к ликвидации пожара и эвакуации сотрудников, недопущению пожара и паники и оказать первую помощь пострадавшим.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		80

Каждый работник при обнаружении очага загорания или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т. п.) должен: незамедлительно сообщить об этом по телефону «01» или «101» (для мобильной связи). При этом назвать наименование объекта, место пожара, а также свою фамилию; принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данной главе были проанализированы условия труда отделении нагрева и каталитической очистки выхлопного газа на АО «Farg'onaazot».

Были рассмотрены виды загрязнений окружающей среды и их состав, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности по таким вопросам как Режим рабочего времени хранения и использования персональных данных работников, Оплата и нормирование труда, Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, продолжительность рабочего времени и оплачиваемый отпуск.

Рассмотрены ряд вредных веществ с возможным содержанием в воздухе рабочего места, их профилактика и симптомы отравления вредными веществами. Важно учесть, что Решающим направлением в профилактике профзаболеваний является рациональный выбор технологических процессов, исключающих использование или возможности контакта с ними.

Также Шум, вибрация, возникающее при работе подвижных частей производственного оборудования. Безопасность от электроэнергии неэлектрического персонала.

Рассмотрено выдаваемое для предотвращения влияния от вышеуказанных факторов на организм человека и сохранения работоспособности организма человека Средства индивидуальной защиты работающих.

Рассмотрены сбрасываемые Выбросы в атмосферу и отходы. Такие как выхлопной газ, сбрасываемый в выхлопную трубу поз. X-102 высотой 150 метров в атмосферу, Сточные воды и Твёрдые и жидкие отходы

Действия персонала при возникновении пожарной опасности, системы оповещения и ведения технологического режима в этой ситуации.

Рабочее место оператора полностью соответствует требованиям нормативно технических документаций, требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 8.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
Стабильность срабатывания	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Простота конструкции и ремонтоспригодность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Компактность	0,14	5	5	3	0,7	0,7	0,42
Безопасность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,13	4	4	3	0,52	0,52	0,39
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	1	0,28	0,28	0,07
Затраты на ремонт	0,06	4	3	1	0,24	0,18	0,06
Итого	1	38	31	28	3,7	3,15	2,67

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

Таблица 8.4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3
O1	+	-	-
O2	+	-	-
O3	-	-	-

Таблица 8.5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
T1	+	-	-	-	-	-
T2	-	-	-	-	-	-
T3	-	-	-	-	-	-

Таблица 8.6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3
T1	+	-	-
T2	-	+	+
T3	-	+	-

Планирование научно-исследовательских работ Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках исследования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного исследования (проекта) необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 8.7.

Таблица 8.7 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
			Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координация проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

8.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях».

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5},$$

где $t_{\min i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожci}}{C_i},$$

Где C_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.8.

8.5 Разработка графика проведения исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ки.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{кал}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}.$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ кал.дн.}.$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,28 = 2,69 \approx 3 \text{ кал.дн.}.$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 8.8.

Таблица 8.8 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Выбор направления исследований	3	4	6	6	4,2	4,8	2,1	2,4	3	4

Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	2	-	6	-	3,6	-	3,6	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	4	6	2,8	3,6	1,4	1,8	2	3
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Разработка принципиальной схемы	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	8
Технико-экономические расчеты	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	-	7	-	9	-	7,8	-	10,8	-	12

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта.

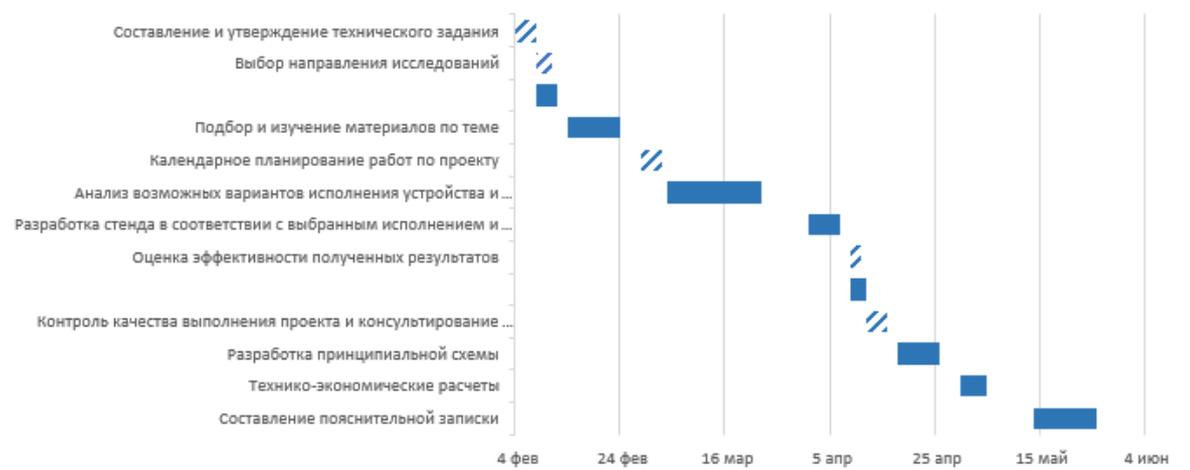


Рис. 8.1 – Диаграмма Ганта

Таблица 8.9 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	81
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	70
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	17

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

8.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 8.17.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 8.14.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

Таблица 8.14 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
тетрадь	2 шт.	25	50
Ручка	4 шт.	15	60
Картридж для принтера	1 шт.	550	550
Бумага (А4 лист)	1 шт.	300	300
Итого:			960

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 8.15 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. ПО Microsoft Office 2016	1	1557	1557
2. Компас 3D V16	1	1490	1490
3. Mathcad Application	1	30000	30000
Итого		33047	

Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 8.13 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	1. ПО Microsoft Office 2016	1	2	1.557	1.557
2	2. Компас 3D V16	1	2	1.490	1.490
3	3. Mathcad Application	1	2	30	30
Итого:					33.047 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

ПО Microsoft Office 2016:

$$A = \frac{H_A * I}{12} * m = \frac{0,1 * 1557}{12} * 4 = 52 \text{ руб.}$$

Компас 3D V16:

$$A = \frac{H_A * I}{12} * m = \frac{0,1 * 1490}{12} * 4 = 100 \text{ руб.}$$

Mathcad Application:

$$A = \frac{H_A * I}{12} * m = \frac{0,143 * 30000}{12} * 4 = 1430 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1430 + 100 + 52 = 1582$$

										Лист
										92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.440001 ПЗ

Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8.8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 8.16); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

Таблица 8.16 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 8.17 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	12	25767,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	45	78439,5
Итого:								104207,1

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 25767,6 = 3865,1 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 78439,5 = 11765,9 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (25767,6 + 3865,1) = 29632,7 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (78439,2 + 11765,9) = 27061,5 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } I \div 6) * k_{\text{кр}} = \\ = (1582 + 960 + 33047 + 104207,1 + 15630,6 + 56694,2) * 0,2 = 42424,2$$

где $k_{\text{кр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 8.18.

Таблица 8.18 – Группировка затрат по статьям

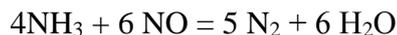
Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
1582	960	33047	104207,1	15630,6	56694,2	187031,9	42424,2	254545

Определение ресурсоэффективности исследования

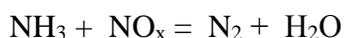
Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Селективное каталитическое восстановление аммиаком (СКВ) на катализаторе АВК 10 в присутствии аммиака при температуре 300°C проходят реакции:



2. Селективное каталитическое восстановление аммиаком (СКВ) на катализаторе АМЦ 10 в присутствии аммиака при температуре 300°C проходят реакции:



Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

					ФЮРА.440001 ПЗ			Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				95

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{254545}{382774.4} = 0.665$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{p1} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{382774.4}{382774.4} = 1 ;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{245000}{382774.4} = 0.64$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i ,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 8.19.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96

Таблица 8.19 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	СКВ на катализаторе АМЦ 10	СКВ на катализаторе АВК 10
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5	5	5
2. Стабильность работы	0,2	5	5	5
3. Технические характеристики	0,3	3	5	3
4. Ремонтопригодность	0,15	4	2	2
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	4
Итого:	1	4,25	4,4	3,8

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,25 ;$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 4,4 ;$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 3,8 .$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4.25}{0.665} = 6.4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 8.20). Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4.4}{6.4} = 0.68$$

9. Раздел выполненный на иностранном языке
(справочное)

Financial management

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM81	Рахимбеков Кахрамон Анвар угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	Кандидат технических наук		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко Анастасия Владимировна	Кандидат филологических наук		

8. Financial management.

8.1 Introduction

The main task of this section is to evaluate the prospects of the project and to plan financial and commercial value of the final product that is offered as part of the scientific research. Commercial value is determined not only by the fact that the project has some higher technical characteristics over competitive developments, but also by the speed of developer's response to the following questions - whether there will be a demand for the product on the market, how much it will cost, what the budget of the scientific research is, how long it will take to advance developed product to market.

This section considers the following tasks:

1. Assessment of the development commercial potential.
2. Planning of the scientific research;
3. Calculating the budget of the scientific research;
4. Determining resource, financial, and budgetary effectiveness of the research.

The aim of the paper is to review the above mentioned tasks to design a reactor for the catalytic purification of nitrous gases, that operates based on the catalytic method of neutralization of exhaust gases from the production of light nitric acid in the AK-72M unit from nitrogen oxides to 0.005% of its volume.

8.2 Analysis of competitive technical solutions

Three variants of the device are considered while performing the research:

Variant 1 - SLE with AMC-u catalyst using ammonia as a reducing agent;

Variant 2 – a method of selective catalytic purification of exhaust gases from nitrogen oxides, that includes reduction of nitrogen oxides with ammonia using the catalyst, which differs by the fact that while mixing with exhaust gases, it is supplied with ammonia combined with hydrogen, the hydrogen content in the mixture with exhaust gases being below the lower limit of ignition.

Variant 3 - a method for sorption purification of gases of different origin from nitrogen oxides.

It is necessary to make a detailed analysis of the design, because every type has its own positive and negative features. This analysis is performed using an evaluation map represented in Table 8. 1. Expert assessment is made based on technical characteristics and economic indicators according to a 5-point scale, where 1 is the lowest rating, and 5 is the highest. The total weight of all indicators in total should amount 1.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		100

Table 8.1 –Evaluation map to compare competitive technical solutions

Criteria for evaluation	Criterion weight	Points			Competitive ability		
		Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 1	Var. 2	Var. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Technical criteria for resource efficiency evaluating							
Possibility to integrate the device into a single automation system	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
Operating convenience	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
Operation stability	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Simple design and maintainability	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Portability	0,14	5	5	3	0,7	0,7	0,42
Safety	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Economical criteria for resource efficiency evaluating							
Price	0,13	4	4	3	0,52	0,52	0,39
Expected exploitation period	0,07	4	4	1	0,28	0,28	0,07
Repair costs	0,06	4	3	1	0,24	0,18	0,06
Total	1	38	31	28	3,7	3,15	2,67

Competitiveness calculation, based on the example of response stability, is determined by the formula:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

where K – project competitiveness; B_i – criterion weight (in unit's rates); B_i – points.

The conducted analysis of competitive technical solutions has shown that Variant 3 is the most preferred and is the best and most effective design of the finished machine.

8.3 SWOT- analysis

SWOT analysis is used to study the external and internal environment of the project.

Table 8. 2 – SWOT- analysis

	Strengths	Weaknesses
	S1. Technical simplicity of the method implementation S2. Possibility to detect either technical or mechanical damages; S3. Possibility to monitor the reactor state in real time; S4. method applicability to AK-72M machine; S5. High method efficiency; S6. Possibility of emergence stop.	W1. Complexity and necessity to use a specialized approach for setting up the reactor operation W2. Lack of a commercialization business plan W3. Market entry issues are not worked out

<p>Opportunities</p> <p>O1. Increase in the number of accidents related to reactor technical conditions</p> <p>O2. Stricter requirements for the composition of exhaust gases from the reactor</p> <p>O3. Requirements to increase the reliability of the reactor</p>	<p>O1O2O3S2S4S5S6 – to carry out work in official order at the expense of the services that are available at the enterprises that is to increase the reliability and prevent an accident at the reactor</p> <p>O3S4S5S6 – to use it in order to simplify the process and to improve products quality</p>	<p>O1O2W1 – to work out a method to determine a specific type of damage</p>
<p>Threats</p> <p>T1. Disinterest of major producers (chemical and energy industry)</p> <p>T2. Lack of investors interested in the project</p> <p>T3. Lack of demand for technology</p>	<p>T1S1 – The relatively small costs to implement the development</p>	<p>T1W1 – to motivate companies by a well-developed management methodology.</p> <p>T2W2W3 – to work out a commercialization business plan</p> <p>T3W2W3 – to use advertising</p>

Table 8.3 – Correlation of strengths with opportunities

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
O1	-	+	-	+	+	+
O2	-	+	-	+	+	+
O3	-	+	-	+	+	+

Table 8.4 – Correlation of weaknesses with opportunities

	W1	W2	W3
O1	+	-	-
O2	+	-	-
O3	-	-	-

Table 8.5 – Correlation of strengths with threats

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
T1	+	-	-	-	-	-
T2	-	-	-	-	-	-
T3	-	-	-	-	-	-

Table 8.6 – Correlation of weaknesses with threats

	W1	W2	W3
T1	+	-	-
T2	-	+	+
T3	-	+	-

Research work planning

The complex of assumed works includes the following tasks:

- to define the structure of the research work;
- to identify participants in each operation;
- to set length of every operation;
- to prepare a schedule for particular stages of the study.

In order to realize this research (project), it is necessary to create a working group, including a director and an engineer. It is necessary to choose an implementer for every operation.

The developed list of tasks and operations performed during the engineering process, as well as the distribution of implementers of these operations, are presented in Table 8.7.

Table 8.7 – List of tasks and works to be performed and their implementers

Basic stages	Oper. №	Content of the operation	Implementer's post
Development of technical specifications	1	Preparation and approval of technical specifications	Director
Choice of research areas	2	Choice of research areas	Director
			Engineer
	3	Selection and study of materials related to the topic	Engineer
	4	Calendar planning of project works	Director
Theoretical research	5	Analysis of possible device designs and computer simulation	Engineer
	6	Development of the stand in accordance with the selected design, testing	
Summarizing and evaluating the results	7	Evaluating the effectiveness of obtained results	Director
			Engineer
Project control and coordination	8	Quality control of project implementation and implementer consulting	Director
Technical documentation development, design	9	Principal scheme development	Engineer
	10	Technical and economic calculations	Engineer
	11	Preparation of an explanatory note (operational and technical documentation)	Engineer

8.4 Determining work complexity

The main cost of the project includes labor costs, so it is important to determine the labor intensity of all the participants of the project.

Despite the fact that labor intensity depends on the aspects that are difficult to be taken into account, i.e. it has probabilistic nature, it can be determined by expert means, in "man-days". The expected (average) value of labor intensity is determined by the formula:

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5},$$

where $t_{мини}$ – minimum possible time to implement the task (an optimistic estimate: at successful coincidence of circumstances), man-days; $t_{максi}$ – maximum time to implement the task (is a pessimistic estimate: in case of unsuccessful combination of circumstances), man-days.

Based on the calculations of the expected work labor intensity, it is necessary to determine the duration of every operation in working days T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{U_i},$$

Where U_i – number of implementers that are performing the task simultaneously, men.

For all the operations the results of calculating the duration in working days are represented in the Table 8. 8.

8.5 Development of the research schedule

Gantt chart is the most convenient and graphic way to represent the schedule of implementing the operations.

Gantt chart represents segments placed on a horizontal time scale. Every segment corresponds to a separate task or sub-task. The beginning, end, and length of the segment on the timeline correspond to the beginning, end, and duration of the task.

To compose Gantt chart, it is necessary to convert duration of every operation from working days to calendar ones. To do this, it is necessary to use the following formula: calculations are made individually for every implementer:

$$T_{ки.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

where $k_{кал}$ – calendar coefficient.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104

Calendar coefficient is determined by the following formula:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

where $T_{\text{кал}}$ – total amount of calendar days in a year; $T_{\text{кал}}$ – total amount of days-off in a year; $T_{\text{пр}}$ – total amount of holidays in a year.

There is represented calculation of work complexity and duration on the example of the task "Compilation and approval of technical specifications":

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{мини}} + 2t_{\text{макс}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ man-days}$$

$$T_{\text{р}} = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ work. days}$$

There is calculation of the calendar coefficient related to a 5 working-days week (engineer's work week):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

There is calculation of calendar work duration based on the example of the task "Research choice":

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ calendar days.}$$

There is calculation of the calendar coefficient related to a 6 working-days week (director's work week):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28.$$

There is calculation of calendar work duration based on the example of the task "Choice of research areas":

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,28 = 2,69 \approx 3 \text{ calendar days.}$$

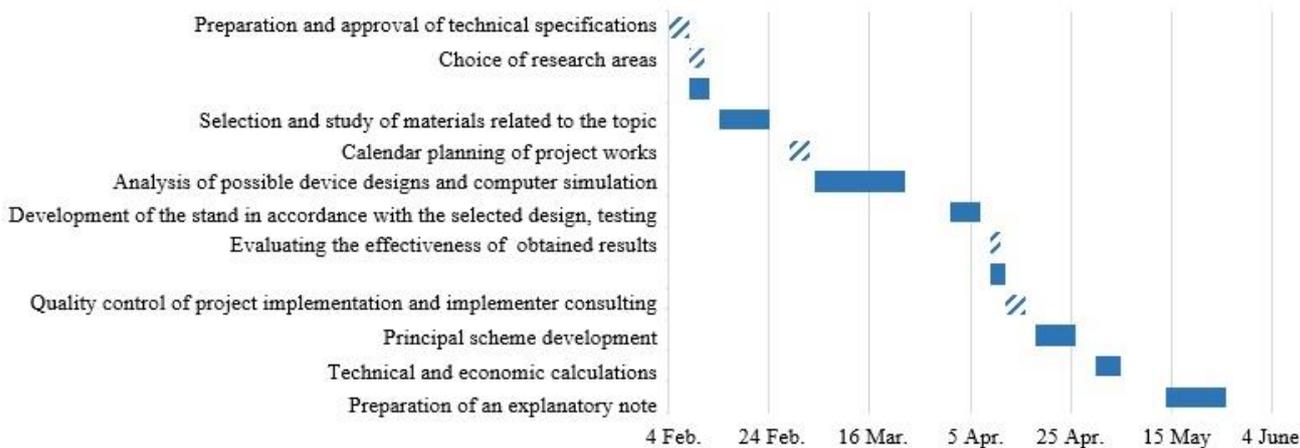
All obtained parameters in calendar days are rounded to an integer, and then are summarized in a Table 8. 8.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

Table 8.8 – Time indicators of engineering

Type of work	Work complexity						Work duration in working days T_{pi}		Work duration in calendar days T_{ki}	
	t_{min} , man-days		t_{max} , man-days		$t_{ож}$, man-days		Director	Engineer	Director	Engineer
	Director	Engineer	Director	Engineer	Director	Engineer				
Development and approval of technical specifications	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Choice of research areas	3	4	6	6	4,2	4,8	2,1	2,4	3	4
Selection and study of materials related to the topic	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
Calendar planning of project works	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Analysis of possible device designs and computer simulation	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Development of the stand in accordance with the selected design, testing	-	2	-	6	-	3,6	-	3,6	-	6
Evaluating the effectiveness of obtained results	2	2	4	6	2,8	3,6	1,4	1,8	2	3
Quality control of project implementation and implementer consulting	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Principal scheme development	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	8
Technical and economic calculations	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Preparation of an explanatory note (operational and technical documentation)	-	7	-	9	-	7,8	-	10,8	-	12

After calculating and making a table of design time indicators, Gantt chart is prepared on the basis of it.



Picture 8.1 – Gantt Chart

Table 8. 9 – A summary table based on calendar days

	Number of days
Total amount of calendar days to complete the work	81
Total amount of calendar days when the engineer worked	70
Total amount of calendar days when the director worked	17

As a result of this subsection, there was prepared a schedule for completing the stages of work for the director and an engineer, which allows to evaluate and plan working hours of the implementers, as well as to calculate the amount of days every implementer worked.

8.6 Research budget

When planning the budget of the scientific research, all types of planned expenditures necessary for its implementation should be fully and accurately reflected. While preparing the budget, planned expenditures are grouped according to sections represented in Table 8. 17.

Raw materials, materials, purchased products, and semi-finished products (net of waste)

This section includes the cost of purchasing all types of materials, components and semi-finished products necessary for work implementation. The quantity of required material values is determined by the consumption norms.

The cost of materials is calculated according to current price lists or contractual prices. The cost of materials includes transport and storage costs (3-5 % of the price). This section also includes documentation cost (stationery, replication of materials). The results for this section are represented in Table 8. 14.

Table 8. 14 – Raw materials, materials, and components

Description	Quantity, pc.	Price per item, RUB.	Amount, RUB.
Notebook	2 шт.	25	50
Pencil	4 шт.	15	60
Printer cartridge	1 шт.	550	550
Paper (A4 format)	1 шт.	300	300
Total:			960

Special equipment for research (experimental) work

This section includes all costs connected with purchase of special equipment (appliances, instrumentation, stands, devices, and mechanisms) necessary for implementing specific tasks. The cost of special equipment is determined according to current price lists, and in some cases to its contract price.

Table 8. 15 – Special equipment for experimental work

Description	Quantity, pc.	Price per item, RUB..	Amount, RUB.
1. Software Microsoft Office 2016	1	1557	1557
2. Kompas 3D V16	1	1490	1490
3. Mathcad Application	1	30000	30000
Total		33047	

Special equipment amortization calculation

Amortization is calculated for the equipment in use. The final cost of the project includes deductions for amortization during the term of equipment use, represented as overhead.

Table 8. 13 – Equipment costs

№	Equipment description	Quantity, pc.	Term of useful work, days	Price per item, thous. RUB.	Total equipment cost, thous. RUB.
1	1. Software Microsoft Office 2016	1	2	1.557	1.557
2	2. Kompas 3D V16	1	2	1.490	1.490
3	3. Mathcad Application	1	2	30	30
Total:					33.047 thous.RUB.

Amortization is calculated as follows:

Amortization rate:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

where n – term of useful work in years.

Amortization:

$$A = \frac{H_A M}{12} \cdot m,$$

where M – total amount, thous.rub.; m – term of use, months.

There is amortization calculation for the oscilloscope, taking into account its term of use as 10 years:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Total amount of amortization deductions is found as follows:

Software Microsoft Office 2016:

$$A = \frac{H_A * M}{12} * m = \frac{0,1 * 1557}{12} * 4 = 52 \text{ RUB.}$$

Kompas 3D V16:

$$A = \frac{H_A * M}{12} * m = \frac{0,2 * 1490}{12} * 4 = 100 \text{ RUB.}$$

Mathcad Application:

$$A = \frac{H_A * M}{12} * m = \frac{0,143 * 30000}{12} * 4 = 1430 \text{ RUB.}$$

Total amount of amortization deductions:

$$A = 1430 + 100 + 52 = 1582$$

Main salaries

In this section salary of the engineer and the director are calculated. More than that, it is necessary to calculate the salary costs determined by the complexity of the project and the current salary system.

The basic salary $З_{\text{он}}$ of one employee is calculated using the following formula:

$$З_{\text{очн}} = З_{\text{он}} \cdot T_p,$$

where $З_{\text{он}}$ – average salary, RUB.; T_p – work duration of one employee, work.days (Table 8. 8).

Average daily salary is calculated according to the formula:

For 6-working-days week (director's working week):

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		109

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ RUB.},$$

where $Z_{\text{м}}$ – employee's monthly salary; $F_{\text{д}}$ – valid annual amount of implementers' working hours, working days. (Table 8. 16); M – amount of working months without vacations during the year.

- with a vacation of 28 working days – $M = 11,2$ months, 5-working-days week;
- with a vacation of 56 working days – $M = 10,3$ months, 6- working-days week;

For 5-working-days week (engineer's working week):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ RUB.}$$

Employee's monthly salary:

For the director:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{mc}} \cdot (1 + k_{\text{np}} + k_{\text{д}}) k_{\text{p}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ RUB.}$$

For an engineer:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{mc}} \cdot (1 + k_{\text{np}} + k_{\text{д}}) k_{\text{p}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ RUB.},$$

where Z_{mc} – tariff rate salary.; k_{np} – bonus coefficient is 0,3; $k_{\text{д}}$ – coefficient of additional payments and premiums is 0,2; k_{p} – regional coefficient is 1,3 (for Tomsk).

Table 8. 16 – Working time balance for contractors

Working time indicators	Director	Engineer
Number of calendar days	365	365
Number of non-working days - weekends - public holiday	52/14	104/14
Loss of working time - vacation - sick absence	48/5	24/10
Real annual work time amount	246	213

Table 8. 17 – Calculation of contractors' main salary

Contractors	Z_{mc} , RUB.	$k_{\text{гр}}$	$k_{\text{рп}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, RUB.	$Z_{\text{дн}}$, RUB.	$T_{\text{р}}$, man-days	$Z_{\text{осн}}$, RUB.
Director	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	12	25767,6
Engineer	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	45	78439,5
Total:								104207,1

Additional salaries

Additional salary is determined according to the formula:

For the director:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 25767,6 = 3865,1 \text{ RUB..}$$

For an engineer:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 78439,5 = 11765,9 \text{ RUB.,}$$

where $k_{\text{доп}}$ – additional salary coefficient (at the stage of designing we assume it as 0.15).

Deductions to non-budgetary funds (insurance deductions)

Deductions to non-budgetary funds are determined according to the formula:

For the director:

$$З_{\text{внб}} = k_{\text{внб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (25767,6 + 3865,1) = 29632,7 \text{ RUB..}$$

For an engineer:

$$З_{\text{внб}} = k_{\text{внб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (78439,2 + 11765,9) = 27061,5 \text{ RUB.,}$$

where $k_{\text{внб}}$ – coefficient of deductions to non-budgetary funds (pension Fund, MHI and social insurance). Total fee rate is 30% in 2020 (articles 425 and 426 of the Tax Code of the Russian Federation).

Overhead

Overhead costs include other expenses of the organization, such as printing and photocopying project documentation, payment for telecommunication services.

General overhead:

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}} &= (\text{sum of parameters } 1 \div 6) * k_{\text{кр}} = \\ &= (1582 + 960 + 33047 + 104207,1 + 15630,6 + 56694,2) * 0.2 = \\ &42424.2 \end{aligned}$$

where $k_{\text{кр}}$ – coefficient taking into account overhead. The amount of the coefficient is 0.2.

According to the obtained data regarding certain expenses, there was calculated a planned cost of the scientific research (named) according to the form, represented in Table 8. 18.

Table 8. 18 – Expenses grouped under main parameters

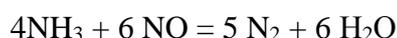
Parameter								
Amortization	Raw materials	Special equipment	Main wages	Additional wages	Social Security deductions	Total without overhead	Overhead	Total budget cost
1582	960	33047	104207,1	15630,6	56694,2	187031,9	42424.2	254545

Determining research resource efficiency

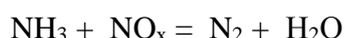
An integral indicator of the financial efficiency of the scientific research is obtained during evaluating the cost budget of three (or more) variants to implement the scientific research. To do this, the highest integral indicator, necessary to implement a technical task, is considered as the calculation base (as a denominator), which is correlated with financial data for all the variants.

The most suitable analogs are selected as possible variants:

1. Selective catalytic reduction with the help of ammonia (SLE) using the ABK 10 catalyst with ammonia at a temperature of 300°C, causing the following reactions:



2. Selective catalytic reduction with the help of ammonia (SLE) using the AMC 10 catalyst with ammonia at a temperature of 300°C, causing the following reactions:



Integral financial indicator of the project is the following:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{254545}{382774.4} = 0.665$$

where $I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}$ – Integral financial indicator of the project;

Φ_{p1} – cost of i -th variant of design;

Φ_{max} – the maximum cost to implement the research project (including analogs).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{382774.4}{382774.4} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{245000}{382774.4} = 0.64$$

The obtained value of the integral financial indicator of the project reflects the corresponding numerical increase in the project cost budget in times (the value is >1), or the corresponding numerical decrease in the cost of development in times (the value is <1, but >0).

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		112

Integral indicator of resource efficiency

In this section it is required to evaluate the project resource efficiency, that is determined by calculating the integral indicator with the help of the following formula:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

where: I_{pi} – integral parameter of resource efficiency; a_i – project weighting factor; b_i – project's score that is determined experimentally according to the selected rating scale.

The scores and weights are disposed according to the priority of the project characteristics, the final integral indicator is calculated, and the results are summarized in a Table 8. 19.

Table 8. 19 – Comparative evaluation of project characteristics

Criteria	Weighting coefficient	Development Score	SLE on AMC 10 catalyst	SLE on ABK 10 catalyst
1. Safety of the device application	0,2	5	5	5
2. Operational stability	0,2	5	5	5
3. Technical parameters	0,3	3	5	3
4. Serviceability	0,15	4	2	2
5. Simplicity of operation	0,15	5	4	4
Total:	1	4,25	4,4	3,8

Calculation of an integral indicator for the project under development:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,25;$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 4,4;$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 3,8.$$

The integral indicator of the development options effectiveness is determined according to the integral resource efficiency indicator and integral financial indicator based on the following formula:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исч.1}}{I_{исч.2}} = \frac{4.25}{0.665} = 6.4$$

Comparing integral indicator of the development design options will help to determine relative effectiveness of the project and to choose the most appropriate variant from the proposed ones (Table 8. 20). Comparative effectiveness of the project (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{учн.1}}{I_{учн.2}} = \frac{4.4}{6.4} = 0.68$$

Table 8. 20 – Summary table of resource efficiency indicators

№	Indicators	Var.1	Var.2	Var.3
1	Integral financial indicator of the project	0,665	1	0,64
2	Integral indicator of resource efficiency of the project	4,25	4,4	3,8
3	Integral indicator of efficiency	6,4	4,4	5,93
4	Comparative effectiveness of implementing variants	1	0,68	0,93

8.7 Conclusion on the section.

As a result of realization of the initially formulated goals of the section, the following conclusions can be made:

1. The result of the analysis of competitive technical solutions is the choice of one of the variants of the machine design, as the most preferable and rational, in comparison with others;

2. within the planning process, a schedule of working operations for the director and an engineer was developed, allowing them to evaluate and plan working hours of the implementers. The following factors were determined: the total amount of calendar days to complete the work is equal to 81 days, the total amount of calendar for the engineer to work is equal to 70 days, and the total number of calendar days during for the director to work is equal to 17 days;

3. A budget is planned so as to allow estimating project costs, its amount is equal to 254545 RUB;

4. Evaluating the effectiveness of research project it can be concluded:

- The value of the integrated financial indicator of the research project is equal to 0.665 which shows that the research project is financially profitable in comparison with its analogues;

- The value of the integrated indicator of resource efficiency of the research project is equal to 4.25, compared to 4.4 and 3.8;

- The value of the integrated efficiency indicator of the research project is equal to 6.4, compared to 4.4 and 5.93, and is the highest, which means that the technical solution considered in the research project is the most effective implementation variant.

10. Результаты проведенного исследования (разработки)

Согласно исследований литературного обзора и патентного поиска современных и эффективных методов очистки выхлопных газов от окисей азота остановился на проекте реактора каталитической очистки по принципу как на рис 1.5 а [3]. Задача диссертации состояло как Проект низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота агрегата АК-72М. Производительностью реактора селективной очистки было принято (по газу) – 3099.23 м³/мин (см. таблица 3.1). Так как современные модернизированные агрегаты АК-72М оснащаются для повышения производительности комплексом машинного агрегата КМА-5. Которая согласно нормам технологического режима обеспечивает подачу выхлопных газов реактору селективной очистки заданного объёма выхлопных газов. В процессе восстановитель нейтрализует оксидов азота в участии кислорода. Как восстановитель в промышленности и в проведенном расчёте действует аммиак. Который с газом контактирует в течении 2-10 с до входа в слой катализатора расход которого согласно проведенным расчётам составил 1.14 кг/мин.

Так как одновременная оптимизация процесса по нескольким критериям не представляется возможной [4]. Но в каталитической очистке промышленных газов принято добиваться минимального значения себестоимости очистки газов при заданной степени обезвреживания примесей газовых выбросов. Использование приведённых выше методик технологического, технико-экономического расчёта аппаратов каталитической очистки промышленных газов позволило решить поставленную задачу. В диссертации было рассмотрено возможность применения и влияния на конструктивные показатели реактора нового вида катализатора для этого типа реакторов РК-202 (АМЦ-Ю) Катализатор селективной очистки NO_x по ТУ 2170-302-29131036-97. Как результат был спроектирован реактор селективной очистки с подогревателем газообразного аммиака (стандартный теплообменник 159ТКГ-1.6-М1) следующих параметров. Толщина слоя катализатора составила 0.6 метров, объём катализатора в реакторе составила 17.4 м³, массой 17.4 тонны. Необходимая поверхность фильтрования составила 29 м², Порозность слоя катализатора составила 0.6 м³/ м³.

В связи с расположением на открытой площадке, где в зимнее время года минимальная температура может достигать -40 0С, поэтому, согласно рекомендациям [47], выбран в качестве материала корпуса сталь 12Х18Н10Т по ГОСТ 34347-2017, так как эта марка получила наибольшее распространение в промышленности ввиду возможности успешного использования ее в разнообразных эксплуатационных условиях. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, устойчива против межкристаллитной коррозии

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

после сварочного нагрева, сравнительно мало охрупчивается в результате длительного воздействия высоких температур.

Рассчитано геометрические размеры реактора : диаметр 3800 мм длина 8100 мм. Также было рассчитано толщина стенки аппарата и принято 20 мм и установлены 2 эллиптические крышки типа Крышка 3800-20-950-ГОСТ 6533-78 толщиной равный 20мм. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук) Опора ПЛ 630-1920-I ОСТ 26-2091-93.

Определили геометрические размеры фланцевого соединения ($D_n=740$ мм; $D_b=700$ мм; $h=35$ мм), а так же размеры ($d=20$ мм) и количество шпилек ($n=28$ штук). Условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются. Условие поворота плоского фланца выполняется. Условие прочности прокладки выполняется. Условие прочности выполняется.

На выходе из реактора содержание окиси азота в очищенном газе получился 3.117×10^{-5} что равно 0.03 гр/м³. Что доказывает эффективность работы проектируемого реактора.

По факту проведенного финансовых расчётов и оценки эффективности инженерного проекта получено следующие показатели:

- Значение интегрального финансового показателя инженерного проекта составило 0,665 что является показателем того, что инженерный проект является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности инженерного проекта составило 4,25;
- Значение интегрального показателя эффективности инженерного проекта составило 6,4 и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в инженерном проекте является наиболее эффективным вариантом исполнения из рассмотренных методов.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В ходе расчета и проектирования реактора каталитической очистки выхлопных газов от окисей азота производства слабой азотной кислоты был произведен технологический и конструктивно-механический расчет реактора селективной каталитической очистки. В ходе технологического расчета был составлен материальный баланс и тепловой баланс реактора, рассчитаны оптимальные размеры реактора и высота катализаторного слоя равное 0.6 метрам. В результате сравнения рассчитанного оптимального реактора с реально действующим аналогом проектируемого реактора за исполнительный аппарат был принят одно полочный горизонтальный адиабатический реактор. Рассчитан диаметр реактора равный 3,8 м и длина равная 8.1 м. Также рассчитан объем катализатора, требуемого для восстановления окисей азота до молекулярного азота аммиаком равная 17.4 м³.

В ходе конструктивно-механического расчета произведен выбор исполнительной марки стали реактора. Из условия прочности и устойчивости определены значения толщины стенки цилиндрической обечайки, эллиптического днища и крышки. Произведен расчет штуцеров и фланцев. Из стандартизированных значений ГОСТ и ОСТ выбраны оптимально подходящие рассчитанным параметрам исполнительные типы штуцера, фланца и люк-лазов. В соответствии с ГОСТ Р 34233.3- 2017 произведен расчет укрепления отверстий. Произведен расчет опорной обечайки, в соответствии с ГОСТ 34233.5- 2017 выбрана стандартизированная опора. Рассчитана исполнительная толщина слоя изоляции (равная 35 мм). Произведен расчет подогревателя подаваемого в реактор аммиака для восстановления оксидов азота.

Был рассчитан горизонтальный кожухотрубчатый теплообменный аппарат 159ТКГ-1.6-М1 количеством труб диаметра 25х2 13шт и толщиной стенки цилиндрического кожуха 5 мм. Для теплообменного аппарата также был произведен конструктивно-механический расчет.

Также для установки основного оборудования был выполнен расчёт монтажа. Согласно которому выбран кран КГ-100 со стрелой 25 метров для установки на промышленной площадке.

Спроектированный реактор снижает содержание окиси азота в выхлопных газах до 0.032 мг/м³. Чего достаточно с запасом так как требуемая в ГН 2.1.6.3492-17 среднесуточная ПДК окислов азота в атмосферном воздухе населенных мест ПДК_{NO}=0,06 мг/м³.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		117

Список использованных источников

- [1] Разва А.С. Лекции по курсу: «Природоохранные технологии в промышленной теплоэнергетике»/Национальный исследовательский Томский политехнический университет Кафедра теоретической и промышленной теплотехники, Томск 2010
- [2] Мельников Я., Салтаиова В. П., Наумова А. М., Блинова Ж. С. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: Учебник для техникумов. — Ал.: Химия, 1983. - 432 с., ил.
- [3] В.А.Таранушич, А.П. Савостьянов, С.И. Сулима, Н.Д. Земляков, В.Г. Бакун, Г.Б. Нарочный, В.Б. Ильин, В.В.Пономарев. Технология катализаторов: учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 96 с.
- [4] Р. З. Губайдуллин. А. С. Трескова. Г. М. Ливанский. Инженерный расчёт аппаратов каталитической очистки промышленных газов. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1987
- [5] Файловый архив студентов // [Электронный ресурс] : Электронная статья/ Методы и технологии очистки дымовых газов от оксидов азота. URL : www.studfile.net. (дата обращения: 05.05.2020)
- [6] И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: Курс лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»: Часть 1 / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 68 с.
- [7] Industrial Solutions EnviNOx®// [Электронный ресурс] : Электронная статья/ Революционное решение для охраны окружающей среды, режим доступа - <https://www.tkisrus.com/assets/pdf/brochures/ru/tkis-envinox-ru.pdf>
- [8] Носков А.С., Пай З.П. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики - Methods for environmental protection against toxic effluents of power generation plants: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, Ин-т катализа им. К.Г. Борескова; Отв. ред. чл.-кор. РАН В.Н. Пармон. - Новосибирск, 1996. - 156 с. - (Сер. "Экология". Вып. 40).
- [9] Учебные материалы. Атомная энергетика. Физика, электротехника, математика [Электронный ресурс]: Введение в экологию энергетики/ Смоленский учебно-тренировочный центр Атомтехэнерго. Город : Смоленск, 2003 год. URL : <http://smutc.ru/toxicity/anthropogenic81.htm> (дата обращения: 20.03.2020)
- [10] Архив студенческих работ [Электронный ресурс] / Экология энергетики Теплоэнергетика Методы очистки Атомная энергетика Эксплуатация электростанций; ARDIS-RU; Санкт Петербург: 2017. URL : <http://www.rstud.ru>. (дата обращения: 25.04.2020)

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118

[11] Козикова И.В., Ермолаева В.А. Использование каталитического метода обезвреживания органических примесей в газовых выбросах сложного состава // Успехи современного естествознания. - 2011. - № 7. - С. 123.

[12] Чубаров Д.Н. Адсорбционные методы очистки газов // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 192-192

[13] Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. - с.: и

[14] Архив студенческих работ [Электронный ресурс] / Защита атмосферы от загрязнения; ARDIS-RU; Санкт Петербург: 2017. URL : <http://www.rstud.ru>. (дата обращения: 25.04.2020)

[15] Инфоурок Ведущий образовательный портал России [Электронный ресурс] / «Производство азотной кислоты»; ред. А.С. Воробей. г. Смоленск, 2012 год. URL : <https://infourok.ru>. (дата обращения: 11.04.20)

[16] Справочник азотчика : В 2 т. / [Пред. ред. коллегии канд. экон. наук Н. А. Симулин] .- Москва: Химия, 1967-1969.- 2 т.] .

[17] Технология неорганических веществ и минеральных удобрений. Курс лекций Великий Новгород 2007. Факультет естественных наук и природных ресурсов Кафедра химии и экологии

[18] Пономарева Н.В. Оптимизация температуры продуктов сгорания в реакторе СКВ установки азотоочистки за котлом Е-210-140, сжигающем твёрдое топливо // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 10-1. – С. 50-51

[19] Патент RU 2011 148 903 А Способ очистки газовых выбросов от оксидов азота/ Пыжов Александр Михайлович, Рекшинский Владимир Андреевич, Пыжова Татьяна Ивановна, Расенко Александр Александрович, Попов Ярослав Сергеевич, Валуева Наталья Олеговна, Толкова Анастасия Владимировна // Заявка № 2011148903/05, от 2011.11.30, Оpubл.: 2013.06.10.

[20] Патент RU 2 297 272 С2 RU Способ селективной каталитической очистки выхлопных газов от оксидов азота в промышленных установках/ Ферд Максим Лейбович, Жигайло Борис Данилович, Поплавский Виктор Юлианович, Федорова Елена Максимовна, Юргенсон Николай Викторович // Заявка № 2004135599/15, от 2004.12.07, Оpubл.: 2007.04.20.

[21] Патент № RU 2 359 740 С2 Способ очистки газов от оксидов азота/ Крутова Валентина Петровна, Голосман Евгений Зиновьевич, Крутов Юрий Александрович, Бесков Владимир Сергеевич, Аксенова Ирина Александровна // Заявка № 2006104505/15, от 2006.02.13, Оpubл.: 2009.06.27.

[22] Патент №2171712 RU Способ и установка для очистки отходящих газов/ Джангирян Валерий Гургенович // Заявка № 2018119698, от 2018.05.29, Оpubл.: 2019.04.23.

[23] Патент RU 2 685 136 С1 Способ десульфуризации и денитрации отходящего газа и устройство/ ЛЮ Чанци // Заявка № 2018126550, от 2017.03.15, Оpubл.: 2019.04.16.

[24] Гельперин Н.И., Коган А.М., Криница Г.И. Гидравлическое сопротивление и удельная поверхность зернистых материалов // Химическая промышленность. –1977. – №2. С.67-68

[25] Репин В.Б. Оптимизация площади поверхности сотового катализатора/ Репин В.Б., Балыбердин А.С., Шарафисламов Ф.Ш., Махоткин И.А.// Вестник Казан. технол. ун-та. - 2011. – Т. 14, №18. – С.249-254.]

[26] Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика. Проблемы и решения/ Ходаков Ю.С. –М.: ООО «ЭСТ-М», 2001.–432с

[27] М. Ю. Лазарев, И. А. Махоткин, Ф. Ш. Шарафисламов Исследование кинетики реакции восстановления оксидов азота аммиаком на различных катализаторах. Вестник казанского технологического университета – 2012

[28] СТО 70238424.13.040.40.001-2008 Тепловые электрические станции. Экологическая безопасность. Технические требования к установкам очистки дымовых газов от оксидов азота по технологиям селективного некаталитического восстановления оксидов азота (СНКВ) и селективного каталитического восстановления оксидов азота (СКВ) и системам управления азотоочистными установками.

[29] Редкинский катализаторный завод [Электронный ресурс] / РК-202 (АМЦ-Ю) Катализатор селективной очистки NOx ; ред. Александр Тарарыкин. Москва. 2003 Год. URL : www.recatalys.ru. (дата обращения: 05.04.2020)

[30] ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений

[31] Технологический регламент цеха АК-72М производства слабой азотной кислоты АО Farg'onazot 2018-г.

[32] Л. Ю. Брусеицсва, А.А. Кудряшова. Краткий справочник физико-химических величин некоторых неорганических и органических соединений; - Самара: НОУ ВПО СМИ «РЕ-АВИЗ», 2011. - 68 с.

[33] Ляпков, А.А. Материальные и тепловые расчеты в химической технологии. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 105 с.

[34] Сайт о химических элементах [Электронный ресурс] : Статья / Физико-химические основы синтеза азотной кислоты из аммиака, 2010 . URL : www.o53xo.mnugk3ljmnmqwy4znmvwc44tv.cmle.ru/ (дата обращения: 06.04.20)

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		120

[35] Сыпучий материал как объект механической переработки [Электронный ресурс] : статья / Тамбов. Гос.- техн. ун-т. : ТГТУ, 1998 . URL : <http://www.gaps.tstu.ru> (дата обращения: 06.05.20)

[36] Семакина О.К., Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2011. - 127 с

[37] Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс] : Сталь марки 12X18Н10Т, 2010 . URL : http://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10T (дата обращения: 18.04.2020)

[38] Онлайн калькулятор [Электронный ресурс] : электронная статья /Онлайн калькулятор периметра эллипса. Как узнать периметр эллипса., 2016 . URL : <https://tamali.net/calculator/2d/ellipse/perimeter/> (дата обращения: 01.05.2020)

[39] Проект Хабр [Электронный ресурс] : электронная статья / Определение плотности газа по результатам измерения давления и температуры датчиками Arduino, 2006 . URL : <https://habr.com/ru/post/412915/> (дата обращения: 01.05.2020)

[40] Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 576с.

[41] ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые аппараты с температурным компенсатором на кожухе. М.: ОАО "ВНИИнефтемаш", 2002.

[42] ГОСТ 34233.1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2018.

[43] ГОСТ 34233.2. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и и плоских днищ и крышек. - М.: Стандартинформ, 2018.

[44] ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2). М.: ИПК Изд-во стандартов, 78.-9 с.

[45] Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. Пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.

[46] ГОСТ Р 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2013.

[47] Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский - Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		121

[48] ГОСТ 34233.7 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. М.: Стандартиформ, 2018.

[49] РД РТМ 26-01-141-82 Камеры греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. М.: НИИхиммаш, 83.

[50] ГОСТ 34233.6 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. М.: Стандартиформ, 2018.

[51] ГОСТ 6533-78*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 78.

[52] ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 86.

[53] ГОСТ 34233.3- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - М.: Стандартиформ, 2018.

[54] ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменением N 1) -М.: Изд-во стандартов, 1991.

[55] ГОСТ Р 34233.4- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М.: Стандартиформ, 2018.

[56] ГОСТ 34233.5- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартиформ, 2018.

[57] ГОСТ 31842-2012. Межгосударственный стандарт. Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования.

[58] ГОСТ 19903 - 73. Прокат листовой горячекатаный. -М.: Изд-во стандартов, 1974.

[59] Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств/ Ленинград "Машиностроение". - Ленинград : Изд-во: Ленинградское отделение, 1984.

[60] Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств / В.М. Беляев, В.М. Миронов. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2011. - 300с.

[61] ГОСТ 9617-76. Сосуды и аппараты. Ряды диаметров. - М.: Изд-во стандартов, 1978.

[62] Процессы и аппараты химической технологии. Основы теории, технологический, конструктивный и гидравлический расчеты кожухотрубчатого теплообменника. Учебное

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		122

пособие для студентов Химико-Технологического факультета ТПУ. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 84с.

[63] Кувшинский М.Н., Соболева А.П. Курсовое проектирование по предмету "Процессы и аппараты химической промышленности": Учеб. пособие для учащихся техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1980. – 223с.

[64] Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400с.

[65] HighExpert [Электронный ресурс] / Физические свойства аммиака; ред. Шепелёв В.А. г. Коломна ;, 2006. URL : <http://www.highexpert.ru/content/gases/ammonia.html> (дата обращения: 11.05.20)

[66] Википедия свободная энциклопедия, [Электронный ресурс] : электронная статья / Теплообменник, 2001. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%BA> (дата обращения: 01.05.2020)

[67] Г. С. Борисов, В. П.Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию . / Стереотипное издание. Перепечатка с издания 1991г. - М.: Альянс», 2015. -496 с.

[68] TLV [Электронный ресурс] : электронная статья / Калькулятор: Таблица свойств перегретого пара, 1995. URL : <https://www.tlv.com/global/RU/calculator/superheated-steam-table.html> (дата обращения: 05.04.2020)

[69] PPT онлайн [Электронный ресурс] : электронная статья / Элементы механики газа, 2013 . URL : <https://ppt-online.org/27703> (дата обращения: 20.04.2020)

[70] Справочник по свойствам веществ и материалов: плотность, теплопроводность, теплоемкость, вязкость и другие физические свойства веществ в таблицах в зависимости от температуры и давления [Электронный ресурс] Динамическая вязкость газов и паров / ред. Вадимов В.А.; Москва: 2012. URL : <http://www.thermalinfo.ru>. (дата обращения: 05.05.2020)

[71] Справочник химика : справочное издание. Т.5. Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты [химической технологии]. Коррозия. Гальванотехника. Химические источники тока / гл. ред. Б. П. Никольский . - 2-е изд., перераб. и доп. - М. ; Л. : Химия, 1966. - 974 с.(рис. VII-8).

[72] Фролов В. Ф. . Конструкции и выбор теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] В. Ф. Фролов, Р.Ш. Абиев / Новый справочник химика и технолога. – 2009. - URL: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsesty_i_apparat_y_khimicheskikh_tekhnologiy

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		123

[73] Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов.- Москва: изд-во Альянс, 2015-352 с.

[74] Демьянцева Е. А., Шваб Е. А., Реховская Е. О. Механизм образования и негативное влияние выбросов, содержащих оксиды азота // Молодой ученый. — 2017. — №2. — С. 231-234.

[75] Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов/Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская.— М.: Высш. шк— 2002,— 334 с.: ил.

[76] Экология нефтегазового комплекса: Учебное пособие. В 2 т. / Под общ.ред. Л.И. Владимирова и В.В. Ремизова. — М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003

[77] Реакция организма человека на воздействие оксидов азота// [Электронный ресурс], режим доступа - URL: <http://www.1435mm.ru/ecology/reakciya-organizma-cheloveka-na-vozdejstvie-oksidov-azota.html>

[78] СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;

[79] Р2.2.2006-05 «Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;

[80] ГОСТ12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

[81] ГОСТ12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

[82] Теплообменники кожух трубчатые. Руководство по эксплуатации. ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» -Москва, 2013

[83] РД34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.

[84] Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 г. N 681 "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде"

[85] ГОСТ 21.110-2013 СПДС. Спецификация оборудования, изделий и материалов

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		124

Приложения А

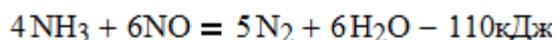
3 Технологический и механический расчёта низкотемпературного реактора селективной очистки выхлопных газов от оксидов азота.

3.1 Технологический расчет

Цель технологического расчета — определение основных размеров реактора каталитического окисления вредных примесей, подлежащих удалению из промышленных выбросов. Кроме того, определяют толщину слоя катализатора. Технологические расчёты выполняются в объёме, достаточном для последующего проектирования оборудования. Задачи технологических расчётов:

- составление материального баланса проектируемого оборудования, в котором определяются расходные показатели по сырью и материалам на единицу вырабатываемого продукта и материальные потери;
- составление теплового баланса, где определяются удельные расходы энергии на единицу вырабатываемого продукта и потери тепла в единицу времени.
- определение основных геометрических размеров оборудования и эффективности конструкции, включающей минимальный вес и стоимость материалов, расходов на изготовление и эксплуатацию.

В качестве восстановителя применяется аммиак, и процесс идет на низкотемпературном катализаторе АМЦ-Ю (алюмомедьцинковом) при температурах 280...350°C [31]:



Для обеспечения очистки выхлопных газов до содержания оксидов азота не более 0,005% с учетом проскока аммиака и побочных реакций необходим избыток аммиака на 10-20% сверх стехиометрического количества.

Конструкция аппарата согласно заключению литературного обзора имеет вид Рис.3.1:

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		125

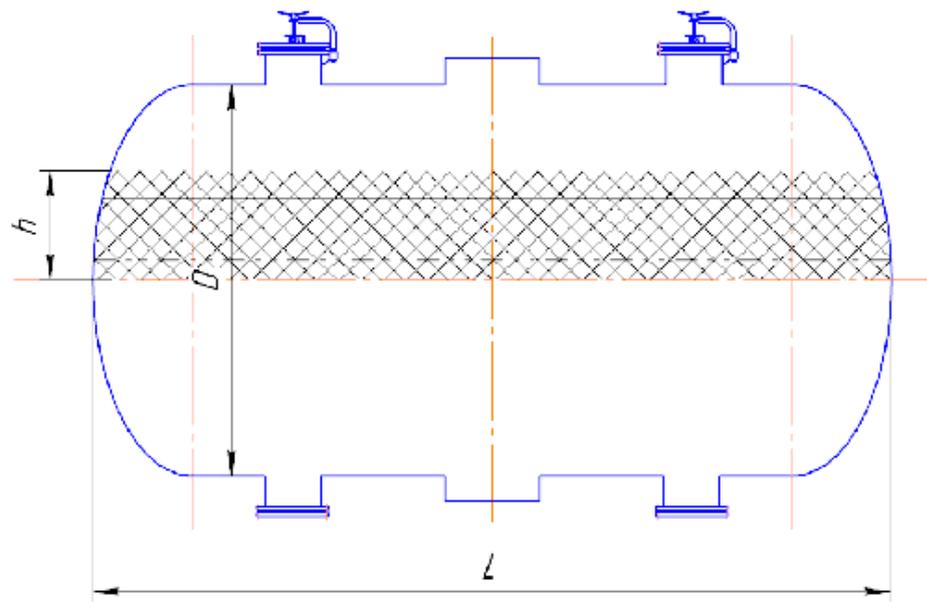


Рис.3.1 Конструктивный вид реактора

3.1.1 Материальный баланс

Процесс основан на восстановлении оксидов азота на катализаторе с помощью аммиака. В отличие от других способов сжигания окислителя в данном случае оксиды азота не улавливаются, а разрушаются, восстанавливаются до элементарного азота. Себестоимость этого способа очистки зависит от стоимости катализатора и газа-восстановителя, механической прочности катализатора, а также сочетания узла каталитической очистки выхлопных газов с аппаратурой основного производства и аппаратурного оформления самого узла каталитической очистки. В качестве катализаторов наиболее широкое распространение получили оксиды металлов, включая природные минералы, представляющие собой сложную комбинацию различных оксидов.

В результате исследований обзора литературы установлено, что наиболее подходящим катализатором является АМЦ-Ю на основе таблетированного оксида алюминия. Опытные промышленные испытания показали возможность полной очистки отходящих газов от оксидов азота при объемной скорости 7500 - 15000 ч⁻¹, соотношения аммиака к окиси азота 1.2 - 1 и температуре процесса 350 °С.

Срок службы катализатора АМЦ-Ю составляет 5 лет; потери катализатора - 2-5% в год.[29]

						ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			126

Исходные данные:

Производительность по газу – 3099.23 м³/мин.

Начальная концентрация.:

NO – 0,82 мг/м³

Конечная концентрация:

NO – не более ПДК

В соответствии со списком ГН 2.1.6.3492-17 среднесуточная ПДК окислов азота в атмосферном воздухе населенных мест [30]:

ПДК_{NO}=0,06 мг/м³

Температура в реакторе – 573 К

Состав исходной смеси:

Таблица 3.1

	м ³	%	Кг	%
NO	1.56	0.05	2.53	0.07
O ₂	74.38	2.40	106.19	2.73
N ₂	3013.71	97.24	3766.77	97.00
H ₂ O	9.58	0.31	7.70	0.02
Всего:	3099.23	100	3883	100

Определим молекулярные массы исходных веществ:

H := 1.00794 г / моль

N := 14.0067 г / моль

O := 15.9994 г / моль

Mr_{NO} := N + O

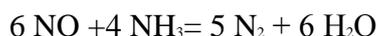
Mr_{N₂} := 2·N

Mr_{NH₃} := N + 3H

Mr_{H₂O} := 2H + O

Mr_{O₂} := 2O

Основной реакцией восстановления окиси азота является:



Исходя из стехиометрического соотношения определим количество требуемого аммиака и образуемого количества молекулярного азота и паров воды с учётом эффективности реакции 94%[31].

$$n_{\text{NO}} := 2530 \cdot 94\% = 2.378 \times 10^3 \quad \text{гр}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		127

$$G_{\text{NH}_3} := \frac{n_{\text{NO}} \cdot 4 \cdot \text{Mr}_{\text{NH}_3}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 899.861 \quad \text{гр}$$

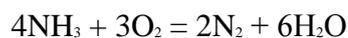
$$n_{\text{N}_2} := \frac{n_{\text{NO}} \cdot 5 \cdot \text{Mr}_{\text{N}_2}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 1.85 \times 10^3 \quad \text{гр}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} := \frac{n_{\text{NO}} \cdot 6 \cdot \text{Mr}_{\text{H}_2\text{O}}}{6 \cdot \text{Mr}_{\text{NO}}} = 1.428 \times 10^3 \quad \text{гр}$$

Для определения общего расхода аммиака следует учесть пропуск и расход на побочные реакции как указано в условии задачи избытка 20% от стехиометрической массы [1].

$$G_{\text{общNH}_3} := 120\% \cdot G_{\text{NH}_3} = 1.08 \times 10^3 \quad \text{гр}$$

Аммиак реагирует по побочной реакции с кислородом в незначительном количестве с эффектом реакции 30% так как для полного взаимодействия потребуется Pt катализатор



Избыток аммиака составит:

$$\text{NH}_{\text{изб}} := G_{\text{общNH}_3} - G_{\text{NH}_3} = 179.972 \quad \text{гр}$$

Так, как эффект реакции составляет 30% количество прореагировавшего аммиака с кислородом:

$$G_{\text{побочNH}_3} := \text{NH}_{\text{изб}} \cdot 30\% = 53.992 \quad \text{гр}$$

$$G_{\text{побочныйO}_2} := \frac{G_{\text{побочNH}_3} \cdot 3 \cdot \text{Mr}_{\text{O}_2}}{4 \cdot \text{Mr}_{\text{NH}_3}} = 76.084 \quad \text{гр}$$

$$n_{\text{побочныйN}_2} := \frac{G_{\text{побочNH}_3} \cdot 2 \cdot \text{Mr}_{\text{N}_2}}{4 \cdot \text{Mr}_{\text{NH}_3}} = 44.405 \quad \text{гр}$$

$$n_{\text{побочныйH}_2\text{O}} := \frac{G_{\text{побочNH}_3} \cdot 6 \cdot \text{Mr}_{\text{H}_2\text{O}}}{4 \cdot \text{Mr}_{\text{NH}_3}} = 85.67 \quad \text{гр}$$

Всего воды образуется в кг:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} := 7.70 + \frac{n_{\text{побочныйH}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{O}}}{1000} = 9.214 \text{ кг}$$

Всего азота образуется в кг:

$$n_{\text{N}_2} := 3766.77 + \frac{n_{\text{побочныйN}_2} + n_{\text{N}_2}}{1000} = 3.769 \times 10^3 \text{ кг}$$

С учётом эффективности реакции 94% количество непрореагировавшего окиси азота составит:

$$n_{\text{NO}} := 2.53 \cdot (1 - 0.94) = 0.152 \text{ кг}$$

Остаток кислорода составит:

$$n_{\text{O}_2} := 106.19 - \frac{G_{\text{побочныйO}_2}}{1000} = 106.114 \text{ кг}$$

Непрореагировавший аммиака остаётся:

$$n_{\text{непрорNH}_3} := \frac{G_{\text{общNH}_3} - G_{\text{побочNH}_3} - G_{\text{NH}_3}}{1000} = 0.126 \text{ кг}$$

Расчет объёмов газов на выходе из реактора

Объём аммиака на входе в реактор: $V_{\text{NH}_3} = \frac{m}{\rho_0}$

$$V_{\text{NH}_3} := \frac{1.14}{0.715} = 1.594 \text{ м}^3$$

Так, как температура и давление практически постоянны для входа и выхода из реактора, то и плотность будет неизменной. Тогда плотности газов на входе

$$M_0 := \begin{pmatrix} 2.53 \\ 106.19 \\ 3766.77 \\ 7.70 \\ 1.14 \end{pmatrix} \quad V_0 := \begin{pmatrix} 1.56 \\ 74.38 \\ 3013.71 \\ 9.58 \\ 1.594 \end{pmatrix} \quad \rho_0 := \frac{M_0}{V_0} \quad \rho_0 = \begin{pmatrix} 1.622 \\ 1.428 \\ 1.25 \\ 0.804 \\ 0.715 \end{pmatrix}$$

$$M_1 := \begin{pmatrix} 0.152 \\ 105.93 \\ 3769.00 \\ 9.21 \\ 0.126 \end{pmatrix} \quad V_1 := \overrightarrow{(M_1 \cdot R_o)} \quad V_1 = \begin{pmatrix} 0.247 \\ 151.233 \\ 4.711 \times 10^3 \\ 7.403 \\ 0.09 \end{pmatrix}$$

Объем газа на входе в реактор, м³

$$\sum \begin{pmatrix} 1.56 \\ 74.38 \\ 3013.71 \\ 9.58 \\ 1.594 \end{pmatrix} = 3.101 \times 10^3$$

Объем газа на выходе из реактора, м³

$$\sum \begin{pmatrix} 0.247 \\ 151.233 \\ 4.711 \times 10^3 \\ 7.403 \\ 0.09 \end{pmatrix} = 4.87 \times 10^3$$

В пересчете в ПДК содержание окиси азота получится:

$$NO_{\text{выход}} := \frac{n_{NO}}{4.87 \cdot 10^3} = 3.117 \times 10^{-5} \text{ кг / м}^3 \quad \text{что равно } 0.03 \text{ гр/м}^3$$

Что доказывает эффективность работы проектируемого реактора

Материальный баланс процесса

Вход в реактор

Таблица 3.2

	м ³	%	кг	%
NO	1.56	0.05	2.53	0.06
O ₂	74.38	2.39	106.19	2.73
N ₂	3013.71	97.18	3766.77	96.97
H ₂ O	9.58	0.3	7.70	0.19
NH ₃	1.59	0.05	1.14	0.29
Всего:	3101	100	3884	100

Выход из реактора

Таблица 3.3

	м ³	%	кг	%
NO	0.247	0.005	0.152	0.004
O ₂	151.23	3.10	105.93	2.73
N ₂	4711.00	96.73	3769.00	97.04
H ₂ O	7.40	0.15	9.21	0.23
NH ₃	0.09	0.001	0.126	0.003
Всего:	4870	100	3884	100

3.1.2 Тепловой расчет реактора

Определим молекулярные массы исходных веществ:

$$\underline{H} := 1.00794 \text{ г / моль}$$

$$\underline{N} := 14.0067 \text{ г / моль}$$

$$\underline{O} := 15.9994 \text{ г / моль}$$

$$\underline{Mr}_{NO} := N + O$$

$$\underline{Mr}_{NH_3} := N + 3H$$

$$\underline{Mr}_{N_2} := 2 \cdot N$$

$$\underline{Mr}_{H_2O} := 2H + O$$

$$\underline{Mr}_{O_2} := 2O$$

Материальный баланс процесса в моль/с рассчитаем из материального баланса процесса в кг/мин, согласно таблицам 3.2 и 3.3

Вход в реактор:

$$X_0 := \begin{pmatrix} \frac{2530}{60 \underline{Mr}_{NO}} \\ \frac{1140}{60 \underline{Mr}_{NH_3}} \\ \frac{3766770}{60 \underline{Mr}_{N_2}} \\ \frac{7700}{60 \underline{Mr}_{H_2O}} \\ \frac{106190}{60 \underline{Mr}_{O_2}} \end{pmatrix} \quad X_0 = \begin{pmatrix} 1.405 \\ 1.116 \\ 2.241 \times 10^3 \\ 7.124 \\ 55.309 \end{pmatrix} \quad \text{моль/с}$$

Выход из реактора:

$$X1 := \begin{pmatrix} \frac{152}{60Mr_{NO}} \\ \frac{126}{60Mr_{NH3}} \\ \frac{3769000}{60Mr_{N2}} \\ \frac{9210}{60Mr_{H2O}} \\ \frac{105930}{60Mr_{O2}} \end{pmatrix} \quad X1 = \begin{pmatrix} 0.084 \\ 0.123 \\ 2.242 \times 10^3 \\ 8.521 \\ 55.174 \end{pmatrix} \quad \text{моль/с}$$

Молярные термодинамические свойства чистых веществ

Теплоемкость (в Дж/(моль·К) при температуре T в указанном в таблице 3.4 [32] интервале температур выражается уравнением [33]

$$C_p = a + b \cdot T + c/T^2$$

Таблица 3.4

Вещество	$\Delta H_{обр,298}$, кДж/моль	$C_{p,298}$ Дж/(моль·К)	Коэффициенты уравнения $C_p = f(T)$			Температур- ный интер- вал, К
			a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$	
NO (г)	91,26	29,86	29,58	3,85	-0,59	298-2500
NH ₃ (г)	-45,94	35,16	29,80	25,48	-1,67	298-1800
N ₂ (г)	0	29,287	27,88	4,27	0	298-2500
H ₂ O (г)	-241,81	34,575	30	10,71	0,33	298-2500
O ₂ (г)	0	30,40	31,46	3,39	-3,77	298-3000

Теплоемкости (в Дж/(моль·К) при температуре $T = 573$ К:

$$a := \begin{pmatrix} 29.58 \\ 29.80 \\ 27.88 \\ 30 \\ 31.46 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 3.85 \cdot 10^{-3} \\ 25.48 \cdot 10^{-3} \\ 4.27 \cdot 10^{-3} \\ 10.71 \cdot 10^{-3} \\ 3.39 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad c := \begin{pmatrix} -0.59 \cdot 10^5 \\ -1.67 \cdot 10^5 \\ 0 \\ 0.33 \cdot 10^5 \\ -3.77 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad T := 573$$

$$C_p := a + b \cdot T + \frac{c}{T^2} \quad C_p = \begin{pmatrix} 31.606 \\ 43.891 \\ 30.327 \\ 36.237 \\ 32.254 \end{pmatrix} \quad \text{Дж/(моль*К)}$$

Тепловой баланс процесса очистки от окиси азота аммиаком с выделением тепла по реакции восстановления : $6 \text{ NO} + 4 \text{ NH}_3 = 5 \text{ N}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$ в присутствии не вступающих в реакцию газов (без учета потерь в окружающую среду)

Тепловой эффект реакции равен разности теплоты образования продуктов реакции и исходных веществ (следствие закона Гесса). При это стоит учитывать, что теплоты образования простых веществ равны 0. Исходя из следующих данных с учетом изменения энтальпии от температуры:

- теплота образования аммиака при 600 К $Q_{\text{NH}_3} = -23.74$ кДж/моль,
- теплота образования оксида азота при 600 К $Q_{\text{NO}} = +109.59$ кДж/моль,
- теплота образования паров воды при 600 К $Q_{\text{H}_2\text{O}} = -221.408$ кДж/моль,

получим:

$$\Delta H_0 := 6 \cdot (-221.408) - 4 \cdot (-23.74) - 6 \cdot (109.59) = -1.891 \times 10^3 \quad \text{кДж/моль}$$

При стандартной температуре 298 К

$$\Delta H_{00} := 6 \cdot (-241.81) - 4 \cdot (-45.94) - 6 \cdot (91.26) = -1.815 \times 10^3 \quad \text{кДж/моль}$$

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		133

Для экзотермических процессов $\Delta H < 0$, так как в термодинамике отрицательной считается теплота, отданная системой в окружающую среду, а положительной - поглощенная системой из окружающей среды, то есть для эндотермических процессов $\Delta H > 0$.

В результате экзотермической реакции газы должны нагреться от температуры T_0 до T_1 . Тепло, вносимое газами при T_0 , определяется по уравнению:

$$T_0 := 580 \quad Q_0 := \sum \left[T_0 \cdot \overrightarrow{(X_0 \cdot C_p)} \right] = 4.066 \times 10^7 \quad \text{Вт}$$

А тепло, уносимое газами при неизвестном T_1 , определяется по уравнению:

$$Q_1 = \sum \left[T_1 \cdot \overrightarrow{(X_1 \cdot C_p)} \right]$$

Тогда, по закону сохранения тепла, можем записать

$$\Delta H_0 \cdot X_{00} \cdot p_k = Q_1 - Q_0$$

Здесь p_k - показатель (степень) конверсии NO. Тогда при $p_k := 0.94$

$$\Delta H_0 := 1.891 \times 10^6 \quad \text{Дж/моль} \quad T_1 := 600 \quad \text{- начальное значение для функции Find}(T_1)$$

Given

$$\Delta H_0 \cdot X_{00} \cdot p_k = \sum \left[T_1 \cdot \overrightarrow{(X_1 \cdot C_p)} \right] - \sum \left[T_0 \cdot \overrightarrow{(X_0 \cdot C_p)} \right]$$

$$T_1 := \text{Find}(T_1)$$

$$T_1 = 615.624 \quad \text{К}$$

Таким образом, газы будут нагреваться на $616 - 573 = 43 \text{ К}$

Конвертируемое количество NO, моль/с $X_{00} \cdot p_k = 1.321$

Тепло от конвертируемого NO, Вт

$$Q_1 := \Delta H_0 \cdot X_{00} \cdot p_k = 2.498 \times 10^6$$

Определим значение теплоёмкости газов при полученной температуре:

$$a := \begin{pmatrix} 29.58 \\ 29.80 \\ 27.88 \\ 30 \\ 31.46 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 3.85 \cdot 10^{-3} \\ 25.48 \cdot 10^{-3} \\ 4.27 \cdot 10^{-3} \\ 10.71 \cdot 10^{-3} \\ 3.39 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad c := \begin{pmatrix} -0.59 \cdot 10^5 \\ -1.67 \cdot 10^5 \\ 0 \\ 0.33 \cdot 10^5 \\ -3.77 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad T_1 = 615.624 \quad \text{К}$$

$$C_{p1} := a + b \cdot T_1 + \frac{c}{T_1^2} \quad C_{p1} = \begin{pmatrix} 31.794 \\ 45.045 \\ 30.509 \\ 36.68 \\ 32.552 \end{pmatrix} \quad \text{Дж/(моль*К)}$$

Количество тепла которую нужно отводить , чтобы температура отходящих газов оставалась равной T_0

$$Q_3 := \sum [T_1 \cdot \overrightarrow{(X1 \cdot Cp1)}] - \sum [T_0 \cdot \overrightarrow{(X0 \cdot Cp)}] \quad Q_3 = 2.762 \times 10^6 \quad \text{Вт}$$

Тепло, теряемое аппаратом в окружающую среду примем 5% [2]

$$Q_4 := (Q_1 + Q_0) \cdot 0.05 \quad Q_4 = 2.158 \times 10^6 \quad \text{Вт}$$

Количество тепла уносимое общим объёмом газа

$$Q_5 := Q_0 + Q_1 - Q_3 - Q_4 \quad Q_5 = 3.824 \times 10^7 \quad \text{Вт}$$

Таблица 3.5

Тепловой баланс составит:

Приход		Расход	
$Q_0 = 4.066 \times 10^7$	Вт	$Q_3 = 2.762 \times 10^6$	Вт
$Q_1 = 2.498 \times 10^6$	Вт	$Q_4 = 2.158 \times 10^6$	Вт
		$Q_5 = 3.824 \times 10^7$	Вт
Всего приход	$Q_{\text{приход}} := Q_1 + Q_0$	Всего расход	$Q_{\text{расход}} := Q_3 + Q_4 + Q_5$
	$Q_{\text{приход}} = 4.316 \times 10^7$		$Q_{\text{расход}} = 4.316 \times 10^7$
	Вт		Вт

3.1.3 Расчёт реактора каталитической очистки

Исходные данные

Начальная концентрация окиси азота, C_H , г/м³

$$C_H := 0.82 \text{ г/м}^3$$

Катализатор АМЦ-Ю имеет цилиндрическую форму с диаметром d и длиной l частиц, м [31]

$$d := 0.004 \text{ м}$$

$$l := 0.01 \text{ м}$$

Температура в реакторе, t_p , °C

$$t_p := 300 \text{ °C}$$

Давление в реакторе, P , МПа:

$$P := 1 \text{ МПа}$$

Молярный объём окиси азота, V_A , л

$$V_A := 33.6 \text{ л}$$

Молекулярная масса окиси азота, M_A , г/моль

$$M_A := 30 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Расчётная часть:

Конечная концентрация окиси азота, C_K , г/м³

$$C_K := C_H \cdot (1 - 0.94) = 0.049 \text{ г/м}^3$$

Необходимое число единиц переноса

$$N := \ln \left(\frac{C_H}{C_K} \right) = 2.813$$

Степень превращения реагентов

$$Y := 1 - \exp(-N) = 0.94$$

Скорость фильтрования, м/с

Принимаем по [29]

$$u_{0a} := 1.8 \text{ м/с}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		136

Коэффициент диффузии, D_0 , м²/с

$$t_0 := 273 \text{ К}$$

$$D_0 := \frac{0.986 \cdot 10^{-8} \cdot t_0^{1.75}}{P \cdot \left(V_A^{\frac{1}{3}} + 2.719 \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + 0.0345} = 1.332 \times 10^{-6}$$

Удельная поверхность слоя катализатора, a_0 , м²/м³,

$$a_0 := \frac{6}{d} \cdot \left(\frac{2}{3} + \frac{d}{31} \right) = 1.2 \times 10^3$$

Порозность слоя катализатора[35], ϵ , м³/м³

$$\rho_{\text{насып}} := 1000 \text{ кг/м}^3$$

насыпная плотность катализатора АМЦ

$$\rho_{\text{вещества}} := 2500 \text{ кг/м}^3$$

плотность катализатора АМЦ

$$\epsilon := 1 - \frac{\rho_{\text{насып}}}{\rho_{\text{вещества}}} = 0.6 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Эквивалентный диаметр каналов слоя катализатора по формуле, d_3 , м

$$d_3 := \frac{4 \cdot \epsilon}{a_0 \cdot (1 - \epsilon)} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Теплоемкость воздуха, C_v , кДж/(м³*К)

Теплота сгорания аммиака равна

$$Q_H := 273 \text{ кДж/моль}$$

$$C_p := 30 \text{ кДж/(моль*К)}$$

$$R := 8.31$$

$$C_v := \frac{C_p - R}{22.4} = 0.968 \text{ кДж/(м}^3\text{*К)}$$

Удельная величина адиабатического разогрева, $q_{ap}, \text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{г}$

$$q_{ap} := \frac{Q_H}{M_A \cdot C_V} = 9.398 \frac{\text{м}^3 \cdot \text{К}}{\text{г}}$$

Конечная температура катализатора, $T_K, \text{К}$

Примем по [29]

$$T_H := 565 \text{ К}$$

из условия задания концентрация окиси азота $0.82 \text{ г} / \text{м}^3$

$$T_K := T_H + q_{ap} \cdot (0.82 - 0.0084) = 610.627 \text{ К}$$

Средняя температура катализатора, $T_c, \text{К}$

$$T_c := 0.5 \cdot (T_H + T_K) = 598.814 \text{ К}$$

Коэффициент массопередачи, β

Примем по [34] кинематическую вязкость воздуха при нормальной температуре, $\text{м}^2 / \text{с}$

$$V_0 := 94.85 \cdot 10^{-6}$$

$$T_0 := 273 \text{ К}$$

$$\beta_0 := \frac{0.395 \cdot D_0^{0.67} \cdot u_{oa}^{0.64}}{\varepsilon^{0.64} \cdot V_0^{0.31} \cdot d_3^{0.36}} = 0.011$$

$$\beta := \beta_0 \cdot 2 \cdot \left(\frac{T_H}{T_0} \right)^{1.3} = 0.057$$

Удельная доступная поверхность катализатора по диаграмме связанности порозности слоя и коэффициента доступной поверхности по Рис.3.2, $a, \text{м}^3 / \text{м}^3$

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		138

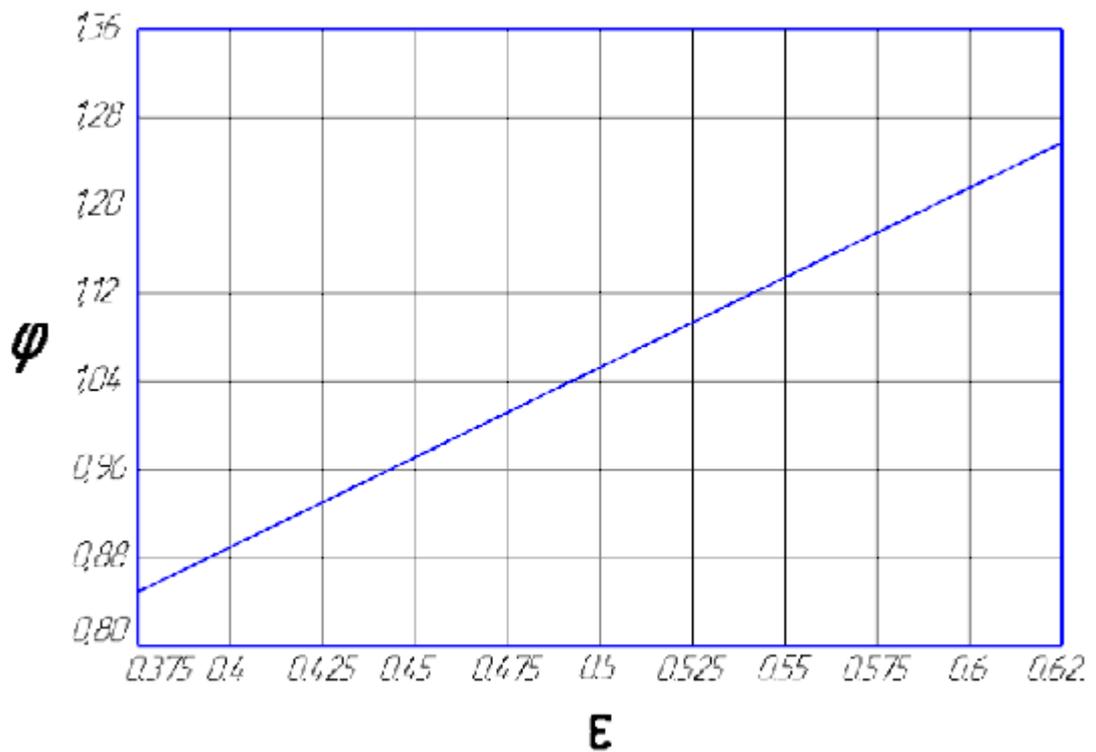


Рис.3.2 Диаграмма связанности порозности слоя и коэффициента доступной поверхности.

Примем по рисунку коэффициент доступной поверхности

$$\varphi := 1.22$$

$$a := a_0 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \varphi = 585.6 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$$

Высота слоя по массопередаче, h_{β} , м

$$h_{\beta} := \frac{N \cdot u_{\text{оа}} \cdot T_{\text{Н}}}{\beta \cdot a \cdot T_0} = 0.316 \text{ м}$$

Константа скорости реакции окисления аммиака, k

Примем по [31]

$$E := 44350 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$R = 8.31$$

$$k_0 := 3.051 \times 10^5$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

$$k := k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_c}\right) = 25.682$$

Коэффициент кинетического уравнения, b

$$b_0 := 1.19 \cdot 10^{-7}$$

Предэкспонциальный множитель

$$Q := 57836$$

Энергия абсорбционных стадий

$$b := b_0 \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T_c}\right) = 0.025$$

Скорость реакции восстановления окиси азота, r , $r/\text{м}^3 \cdot \text{с}$

$$r := \frac{k \cdot C_{\text{H}}}{\left[1 + b \cdot (C_{\text{H}} - C_{\text{K}})\right]^2} = 20.286 \quad \frac{\text{г}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$$

Составляющая высота слоя по кинетике рассчитывается по формуле, h_{r} , м

$$h_{\text{r}} := \frac{N \cdot u_{\text{оа}} \cdot C_{\text{H}}}{r} = 0.205 \quad \text{м}$$

Рабочая высота слоя катализатора, h_{p} , м

$$h_{\text{p}} := h_{\beta} + h_{\text{r}} = 0.521 \quad \text{м}$$

Рабочая толщина слоя катализатора для компенсации влияния неравномерности газораспределения принимается h , м:

$$h := h_{\text{p}} \cdot (1.15 \div 1.45)$$

$$h := h_{\text{p}} \cdot 1.15 = 0.599 \quad \text{м}$$

Примем $h=0.6$ метра.

$$h_{\text{пр}} := 0.6 \quad \text{м}$$

Необходимая поверхность фильтрования, S_1 , м^2

Так как

$$G := 3099.23 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		140

$$S_1 := \frac{G}{60 \cdot u_{oa}} = 28.697 \quad \text{м}^2$$

Принимаем поверхность катализаторной решетки 29 м²

$$S_{1\text{пр}} := 29 \quad \text{м}^2$$

Объём занимаемый катализаторным слоем составит

$$V_{\text{кат}} := S_{1\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}$$

$$V_{\text{кат}} = 17.4 \quad \text{м}^3$$

Определим массу катализатора в реакторе $m_{\text{кат}}$, тн:

$$\rho_{\text{кат}} := 1 \quad \text{тн/м}^3$$

плотность катализатора

$$m_{\text{кат}} := V_{\text{кат}} \cdot \rho_{\text{кат}}$$

$$m_{\text{кат}} = 17.4 \quad \text{тн}$$

Определение длины и диаметра реактора

Так как поверхность корзины имеет вид Рис.3.3:

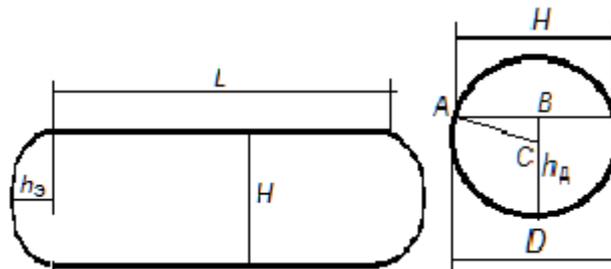


Рис.3.3 Вид поверхности корзины

Тогда $S_k = L \cdot H + S_э$, где $S_э$ - площадь сечения двух концевых полу эллипсов, которую можно определить через длины полуосей эллипса а и b: $S_э = \pi \cdot a \cdot b$ или через размеры H и $h_э$ (см. Рис.3.3):

$$S_э = \pi \cdot \frac{H}{2} \cdot h_э$$

$h_э$ - высота эллипса в сечении $h_д$;

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14.1

h_d - расстояние корзины от дна.

Для стандартного эллиптического днища: $h_d := \frac{H}{4}$

Из прямоугольного треугольника ABC

$$AB^2 = AC^2 - BC^2 \quad \left(\frac{H}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2$$

Тогда

$$S_d = \pi \cdot \frac{H^2}{8} \quad \text{или} \quad S_d = \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2 \right]$$

В итоге формула для определения площади корзины будет иметь вид:

$$S_K = 2L \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2} + \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2 \right]$$

В расчете площадь корзины:

$$S_K := 29 \text{ м}^2$$

Тогда, принимая диаметр аппарата D и h_d , найдем L

$$D := 3.8 \quad h_d := 1.1 \frac{D}{2}$$

$$L := \frac{29 - \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2 \right]}{2 \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2}} \quad L = 6.185 \text{ м}$$

Принимаем $L := 6.2 \text{ м}$

Тогда

$$S_K := 2L \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2} + \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(h_d - \frac{D}{2}\right)^2 \right]$$

$$S_K = 29.056 \text{ м}^2$$

									Лист
									142
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

Расчет каталитической решетки

В реакторе каталитической очистки газа гранулы катализатора насыпаны на решетке высотой 600 мм. В механическом расчете необходимо определить толщину и прогиб решетки, равномерно нагруженной от собственного веса и веса катализатора.

Так как решетка расположена поперек продольного сечения аппарата, она имеет следующий вид Рис 3.4:

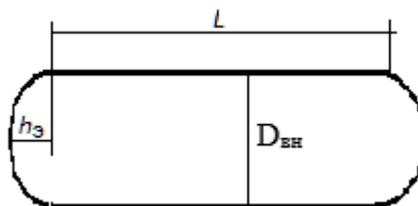


Рис. 3.4 Вид расположение решетки.

- $L := 6.2 \text{ м}$ - длина цилиндрической части реактора;
- $D_{\text{вн}} := 3.8 \text{ м}$ - внутренний диаметр реактора;
- $h_{\text{э}} := 0.95 \text{ м}$ - высота эллиптической крышки

Определим периметр решетки P , м.

Для определения периметра крышки 3800-14-950 ГОСТ 6533-78 вычислим периметр эллипса по осям Рис.3.5, так как в реакторе два эллиптических крышки [38], $P_{\text{кр}}$, м

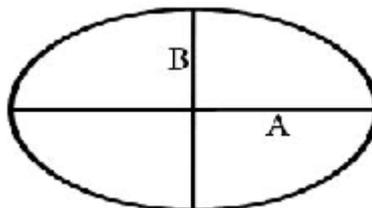


Рис.3.5 Периметр эллипса по осям.

$$B := D_{\text{вн}} = 3.8 \quad \text{м} \qquad A := 0.95 \cdot 2 = 1.9 \quad \text{м}$$

$$P_{\text{кр}} := 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{(A^2 + B^2)}{8}}$$

$$P_{\text{кр}} = 9.438 \quad \text{м}$$

Тогда периметр аппарата P будет равно, м

$$P := P_{\text{кр}} + L \cdot 2$$

$$P = 21.838 \quad \text{м}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		143

$S := 29 \text{ м}^2$ - поверхность катализаторного слоя

Определим эквивалентный диаметр решетки $D_э$, м:

$$D_э := \frac{4 \cdot S}{P}$$

$$D_э = 5.312 \text{ м}$$

Расчет веса и площади решетки

Площадь отверстий занимает 8% от поверхности решетки F_1 , м^2 :

$$F_1 := 0.08 \cdot S = 2.32 \text{ м}^2$$

Тогда площадь решетки с учётом отверстий, м^2

$$S_{\text{реш}} := S - F_1$$

$$S_{\text{реш}} = 26.68 \text{ м}^2$$

Примем толщину решетки в 20 мм [36]:

$$h := 0.02 \text{ м}$$

Удельный вес стали:

$$\gamma_{\text{стали}} := 0.0795 \text{ МН/м}^2$$

Вес решетки, МН:

$$G_{\text{реш}} := h \cdot S_{\text{реш}} \cdot \gamma_{\text{стали}}$$

$$G_{\text{реш}} = 0.042 \text{ МН}$$

Масса катализатора на решетке $P_{\text{исх}}$, кг:

$$P_{\text{исх}} := 17400 \text{ кг}$$

Вес слоя катализатора на поверхности на решетке равен:

$$G_{\text{кат}} := P_{\text{исх}} \cdot 9.81 \cdot 10^{-6}$$

$$G_{\text{кат}} = 0.171 \text{ МН}$$

Общая нагрузка на которую рассчитывается решетка:

$$G := G_{\text{кат}} + G_{\text{реш}}$$

$$G = 0.213 \text{ МН}$$

Удельная нагрузка на решетку:

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		144

$$P_p := \frac{G}{S}$$

$$P_p = 7.349 \times 10^{-3} \text{ МН/м}^2$$

Примем конструктивную прибавку равной сумме прибавки на коррозию и на минусовое отклонение в соответствии с рекомендацией [36]:

$$c_T := 1.7 \text{ мм}$$

В этом случае толщину решетки определяют по формуле [36]:

$$\sigma_d := 196 \text{ МПа}$$

$$h_{\text{решетки}} := 0.56 \cdot D_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_d} + c_T \cdot 10^{-3}}$$

$$h_{\text{решетки}} = 0.02 \text{ м или в миллиметрах:}$$

$$h_{\text{решетки.}} := h_{\text{решетки}} \cdot 1000 = 19.914 \text{ мм}$$

$$\text{Url_tar} := \begin{cases} \text{"Расчёт верный"} & \text{if } h_{\text{решетки}} \leq h \\ \text{"Необходимо проверить расчет"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Url_tar} = \text{"Расчёт верный"}$$

Расчёт решетки на прогиб

Коэффициент Пуассона μ в соответствии с рекомендацией [36] примем равным:

$$\mu := 0.3$$

Цилиндрическая жесткость [2], Н*м:

$$E := 1.81 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$N := \frac{E \cdot h_{\text{решетки}}^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 1.309 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$N := 0.13 \text{ МН/м}$$

$$R := \frac{1}{2} \cdot D_{\text{э}}$$

$$\frac{0.02^3 \cdot 1.81 \cdot 10^{11}}{12 \cdot (1 - 0.91)} = 1.341 \times 10^6$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист 145
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Прогиб в центре тарелки, м:

$$P_p = 7.349 \times 10^{-3}$$

равномерная нагрузка или давление, МПа;

$$\omega := 4.08 \cdot \frac{P_p \cdot (R)^4}{64 \cdot N}$$

$$\omega = 0.179 \text{ м}$$

Так как величина прогиба решетки не должна превышать более 3-х мм:

$$\omega_d := 3 \text{ мм}$$

$$\omega \leq \omega_d$$

$$\text{Url_kar} := \begin{cases} \text{"Каркас не нужен"} & \text{if } \omega \cdot 10^3 \leq \omega_d \\ \text{"Каркас нужен"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Url_kar} = \text{"Каркас нужен"}$$

Так как прогиб больше допустимого то устанавливаем каркас из 7 поперечных балок выполненных из двутавров шириной 55 мм высотой 100 мм марки 10Б1 по ГОСТ Р 57837-2017. Рис.3.6

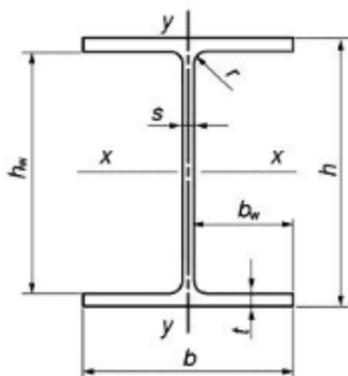


Рис.3.6 Двутавр по ГОСТ Р 57837-2017.

3.1.4 Расчет штуцеров

Определим плотность газа при входе в реактор

										Лист
										146
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Состав газовой смеси при входе в реактор

Таблица 3.6

	м ³	%	кг	%
NO	1.56	0.05	2.53	0.06
O ₂	74.38	2.39	106.19	2.73
N ₂	3013.71	97.18	3766.77	96.97
H ₂ O	9.58	0.3	7.70	0.19
NH ₃	1.59	0.05	1.14	0.29
Всего:	3101	100	3884	100

Молекулярные массы газов:

$$M_{\text{NO}} := 30 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{N}_2} := 28 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{NH}_3} := 17 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{O}_2} := 32 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} := 18 \text{ г/моль}$$

Вычисляем молярную массу смеси, как среднее арифметическое взвешенное:

$$M_{\text{смеси}} := \frac{M_{\text{NO}} \cdot 0.06 + M_{\text{O}_2} \cdot 2.73 + M_{\text{N}_2} \cdot 96.97 + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0.19 + M_{\text{NH}_3} \cdot 0.29}{100}$$

$$M_{\text{смеси}} = 28.127 \text{ г/моль}$$

$R := 8.31$ - универсальная газовая постоянная

Введём обозначение параметра К который зависит от молярной массы газовой смеси [39]:

$$K := \frac{M_{\text{смеси}}}{R}$$

$$K = 3.385$$

$p := 1000 \text{ кПа}$ - давление в аппарате

$t := 287 \text{ °C}$ - температура в реакторе

$T := 273 \text{ °K}$ - абсолютная температура

						Лист
						147
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ	

Плотность газовой смеси будет равно ρ , кг / м³ [39] :

$$\rho := K \cdot \frac{P}{t + T}$$

$$\rho = 6.044 \quad \text{кг / м}^3$$

$$G := \frac{3884}{60} \quad \text{кг/сек}$$

$$\omega := 17 \quad \text{м/с}$$

- скорость движения газов в патрубке

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению d , м:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

$$d = 0.896 \quad \text{м}$$

Примем как патрубок трубу бесшовную 900x28 мм цельнометаллическая сталь 20 по ТУ 14-3Р-50-2001 высотой 250 мм Рис.3.6

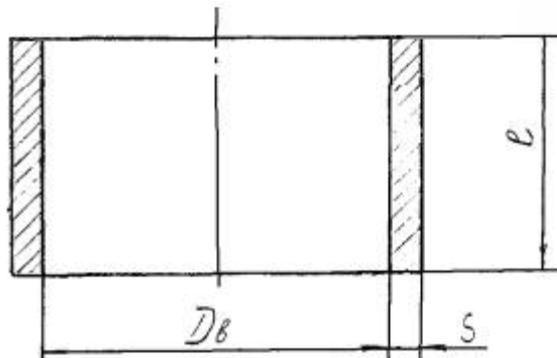


Рис.3.6 Патрубок входного штуцера

Штуцер вывода очищенных газов

Плотность очищенного газа на выходе ρ_0 , кг / м³:

$$\omega := 19$$

$$t_0 := 343$$

$$\rho_0 := K \cdot \frac{P}{t_0 + T}$$

$$\rho_0 = 5.495 \quad \text{кг / м}^3$$

										Лист
										148
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.440001 ПЗ

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению d_o , м:

$$d_o := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_o \cdot \omega}}$$

$$d_o = 0.889 \text{ м}$$

Примем такой же патрубок трубу 900x28 мм стальную электросварную прямошовную трубу высотой 250 мм Рис. 1

3.1.5 Подбор люк лазов

В реактор для загрузки и выгрузки катализатора трубеустья установить люк-лазы диаметром в 600 мм. С верхней стороны реактора 2 штуки оснастить подъёмно поворотным устройством 1-600-1.6-1 ОСТ 26-2013-83. Рис 3.7.

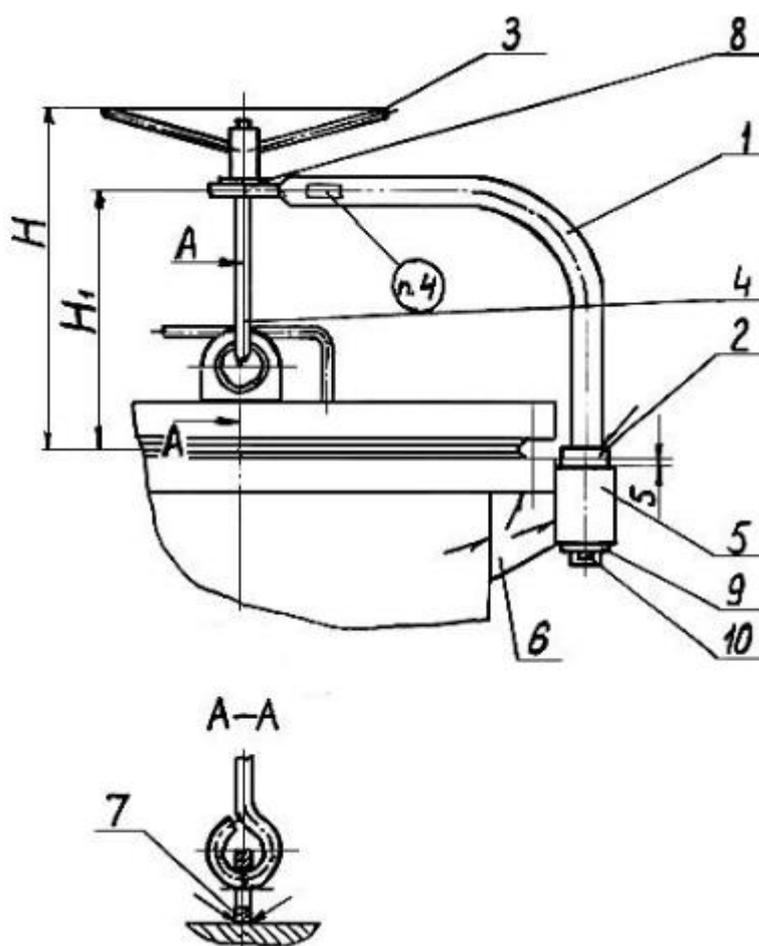


Рис 3.7 Люк-лаз с подъёмно поворотным устройством

1. Кронштейн. 2. Втулка. 3. Рукоятка. 4. Болт. 5. Втулка. 6. Ребро. 7. Серьга
8. Шайба. 9. Шайба. 10. Шплинт

С нижней стороны реактора оснастить двумя люками высотой патрубков 250 мм оснащёнными фланцами выступ впадина ГОСТ 28759.3-90 Фланец 1-600-1,6-12X18N10T ГОСТ

						Лист
						149
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ	

28759.3-90 и Фланец 2-600-1,6-12X18Н10Т ГОСТ 28759.3-90 с массой каждого люка 40.7 кг.

Рис 3.8

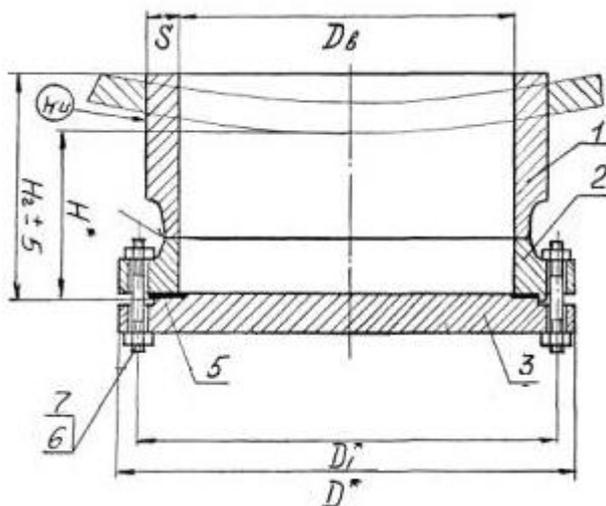


Рис 3.8 Люк.

Для выгрузки катализатора в решетке имеются два люка Рис3.9, которые состоят из приваренных к решетке цилиндров, закрытых съемной крышкой. Во время работы реактора цилиндр люка, вместе с цилиндром, служат инерционными отбойниками уносимого газом катализатора.

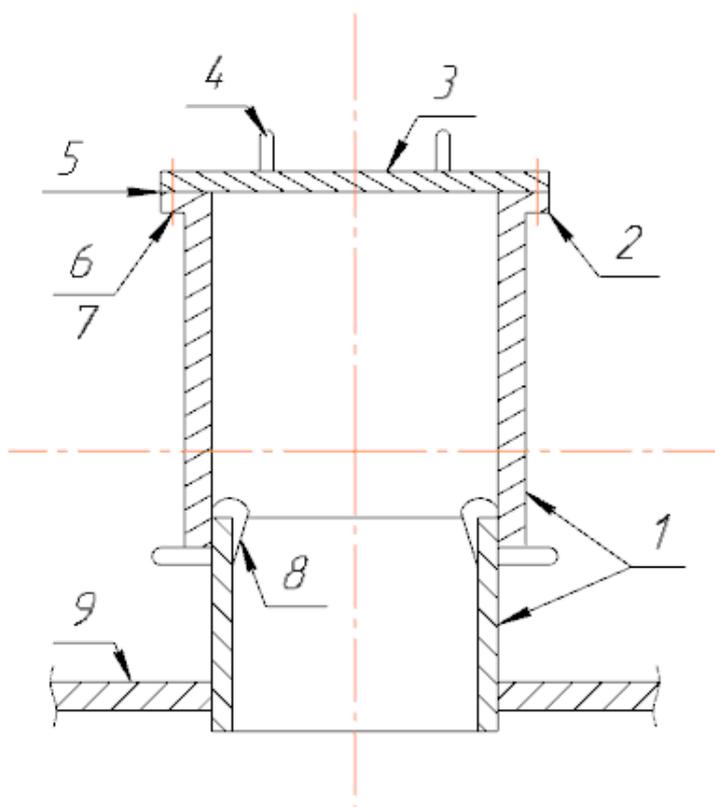


Рис.3.9 Разгрузочный люк

1. Обечайка; 2. Фланец; 3. Крышка; 4. Ручка; 5. Прокладка; 6. Шпилька;
7. Гайка; 8. Ушко; 9. Решетка.

					Лист
					150
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ

3.1.6 Защитное сито

Сито потребуется для исключения попадания осколков катализаторной пыли в технологические потоки.

Сито в реакторе будет установлен Сетка Р 2.6-1.2-20x13 ГОСТ 3306-88 на каркасе выполненных из уголков 20x20x3 ГОСТ 8509-93

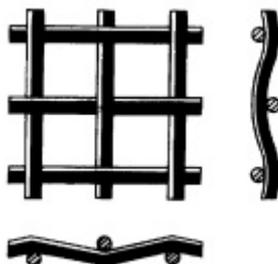


Рис 3.10 Сетка

3.2 Расчет изоляции и тепловых потерь в окружающую среду

$t_{oc} := 25$ °С-температура окружающей среды

$t_s := 343$ °С-температура газовой смеси

$D_k := 3.84$ м -внешний диаметр аппарата

$L := 8.1$ м -длина теплообменной камеры

$Q := 4.316 \times 10^7$ Вт -расход теплоты

Допустимая температура поверхности изоляции:

$t_{из} := 60$ °С (температура не приносящая повреждений кожному покрову при коротком прикосновении)

Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху:

$$\alpha_n := 9.3 + 0.05 \cdot t_{из}$$

$$\alpha_n = 12.3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопередачи в окружающую среду [73]:

$$K_n := \alpha_n \cdot \frac{t_{из} - t_{oc}}{t_s - t_{oc}}$$

$$K_n = 1.354 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		151

В качестве теплоизоляционного материала используем минеральную вату, которая имеет коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_{\text{из}} := 0.04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Толщина изоляционного слоя:

$$\delta_{\text{из}} := \lambda_{\text{из}} \cdot \left(\frac{1}{K_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right)$$

$$\delta_{\text{из}} = 0.033 \text{ м}$$

Наружная поверхность теплообмена [73]:

$$F_n := \pi \cdot D_k \cdot L + \pi \cdot \frac{(D_k)^2}{2}$$

$$F_n = 120.878 \text{ м}^2$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот}} := K_n \cdot F_n \cdot (t_s - t_{\text{oc}})$$

$$Q_{\text{пот}} = 52038.2 \text{ Вт}$$

Отношение потерянной теплоты к затрачиваемой

$$\eta_{\text{пот}} := \frac{Q_{\text{пот}}}{Q} \cdot 100 = 0.121 \%$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		152

3.3 Механический расчет

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы Реактора каталитической очистки. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

3.3.1 Выбор конструкционного материала

Выбор определенной исполнительной марки стали обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно, необходимость удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна. Также выбранная сталь должна обладать достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Реактор каталитической очистки располагается на открытой площадке, где в зимнее время года минимальная температура может достигать -40°C , поэтому, согласно рекомендациям [47], выбираем в качестве материала корпуса сталь 12X18H10T по ГОСТ 34347-2017, так как эта марка получила наибольшее распространение в промышленности ввиду возможности успешного использования ее в разнообразных эксплуатационных условиях. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева, сравнительно мало охрупчивается в результате длительного воздействия высоких температур и может быть применена в качестве жаропрочного материала при температурах $\sim 600^{\circ}\text{C}$. Будучи высокопластичной в условиях глубокого холода, эта сталь используется в установках для получения жидкого кислорода. и широко распространена на рынке. А также, выбранная сталь обладает достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях и хорошо сваривается. Расчетная модель имеет вид как на Рис.3.1

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		153

3.3.2 Расчет каталитического реактора на прочность

Исходные данные для расчета на прочность представлены в таблице 3.7

Таблица 3.7 - Исходные данные для расчета на прочность

Длина цилиндрической обечайки, мм	$H := 8100$
Внутренний диаметр, мм	$D := 3800$
Рабочее давление, МПа	$P_{\text{раб}} := 1$
Материал обечайки	листовой прокат из стали 12X18H10T
Скорость коррозии, мм/год	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации, лет	$\tau_{\text{в}} := 10$
Плотность стали при 20 °С, кг/м³ [37]	$\rho := 7920$
Ускорение свободного падения, м/с²	$g := 9.8$
Максимальная температура, °С	$t_{\text{т}} := 345 \text{ } ^\circ\text{C}$

3.3.2.1 Расчет толщины стенки кожуха

Целью расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего условия: $P \leq p_1$,

где P - расчетное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа;

p_1 - допускаемое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа

Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{\text{и}} \leq p_{\text{ли}}$$

где $P_{\text{и}}$ - расчетное значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа;

$p_{\text{ли}}$ - допускаемое значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа.

Кожух аппарата отмечен на рисунке 3.11 позицией номер 1.

Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха представлена на рис.3.11

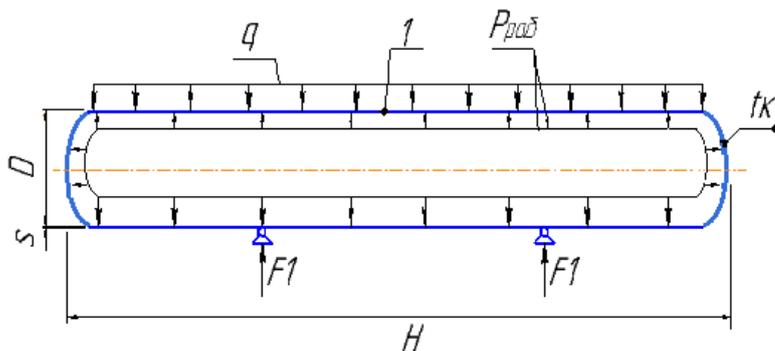


Рис.3.11 - Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха

					Лист
					154
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ

Примем в качестве расчетной температуры среды в реакторе наибольшую температуру среды, округленную до значения [42]:

$$t_T = 345 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По [42] допускаемое напряжение $\sigma_{\text{д}}$ для стали 12X18H10T при температуре 345°C принимается равным:

$$\sigma := 144.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °C для стали 12X18H10T определим согласно таблице Б.8 [42]

$$R_e := 240 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при температуре 20 °C гидравлического испытания принимаем по [42]

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{1.1}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{\text{н}} = 218 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T по [42]

при $t=20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\sigma_{20} := 218 \text{ МПа}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката, поправочный коэффициент принимаем в соответствии с рекомендациями [42], п.8.3

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := 1 \cdot 196 = 196 \text{ МПа}$$

Определение коэффициента прочности сварных швов.

Для бесшовных элементов сосудов по [42]:

$$\varphi := 1$$

Так как реактор горизонтальный, гидростатическим столбом жидкости можно пренебречь, тогда принимаем

$$P := P_{\text{раб}} = 1 \text{ МПа}$$

Давление испытаний:

$$P_{\text{н}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma} = 1.696 \text{ МПа}$$

Прибавка для компенсации коррозии обечайки [47]:

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		155

$$c_1 := \Pi \cdot \tau_b = 1 \text{ мм}$$

В соответствии с таблицей 2 [44] примем поправку на минусовое отклонение равной:

$$c_2 := 1.3 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [42] примем прибавку на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях равной:

$$c_3 := 0.2 \text{ мм}$$

Расчетную прибавку к толщинам вычисляют согласно [42] по формуле 13:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2.5 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 2 [43]:

$$s_p := \max\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - P}, \frac{P_H \cdot D}{1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi - P_H}\right) = 16.49 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 1 [43]:

$$s_m := \text{ceil}(s_p + c) = 19 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки равной

$$s_m := 20 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности выполняются по формуле 3 [43]:

$$p_1 := 2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.325 \text{ МПа}$$

$$p_{1H} := 1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.799 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{rov}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P \leq p_1 \\ P_H \leq p_{1H} \end{cases} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{\text{rov}} = \text{"Условие выполняется"}$$

Из расчетов, представленных выше, можно сделать вывод, что при толщине стенки 20 мм обеспечивается прочность кожуха как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях

3.3.3 Поверочный расчет Реактора каталитической очистки

3.3.3.1 Расчет вспомогательных величин

Внутренний радиус кожуха равен:

$$a := \frac{D}{2} = 1.9 \times 10^3 \text{ мм}$$

						Лист
						156
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ	

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата

Модуль упругости для материала 12х18н10т при температуре 345 °С по [42]:

$$t_T := \begin{pmatrix} 300 \\ 400 \end{pmatrix}$$

$$E_K := \begin{pmatrix} 1.81 \cdot 10^5 \\ 1.74 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_K := \text{linterp}(t_T, E_K, 345)$$

$$E_K = 1.779 \times 10^5 \text{ МПа}$$

$$s = 20 \text{ мм}$$

$$E_K = 1.779 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Примем по таблице 3.8 [51] крышку эллиптическую с толщиной стенки равной:

$$s_2 := 20 \text{ мм}$$

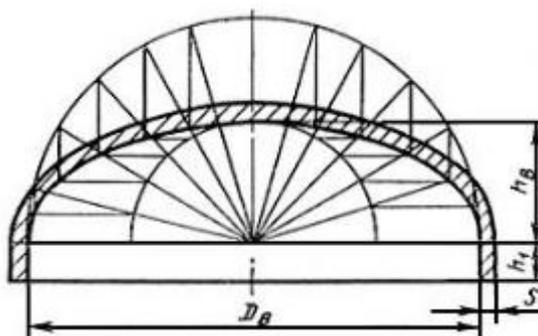


Рис. 3.12 Эллиптическая крышка

Таблица 3.8

D_B	h_1	h_2	s	F , м ²	V , дм ³	Масса, кг
3800	80	950	20	16,61	8057,2	2640,6

Модуль упругости для материала 12х18н10т при температуре 345 °С по [42]:

$$E_P := 1.79 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

3.3.4 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки

Исходя из рекомендаций [56] примем крышку для реактора эллиптическую. Эллиптическая крышка изображена на рисунке 1 под номером 5. Расчетная схема крышка изображена на Рис. 3.13

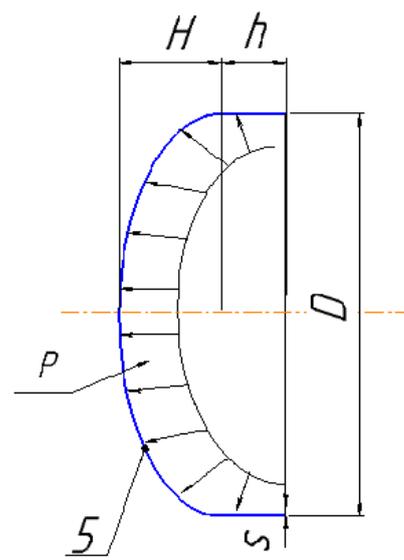


Рис. 3.13 - Расчетная схема эллиптической крышки

Цель расчета толщины эллиптической крышки такая же, как и у расчета кожуха: определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и условиях испытания

Глубина крышки по табл 2 [43]

$$H := 0.25 \cdot D = 950 \text{ мм}$$

Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки по формуле 45 [43]:

$$R := D$$

$$R = 3.8 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки с внутренним диаметром равным

$$s_{1p} := \max \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0.5 \cdot P}, \frac{P_H \cdot R}{1.8 \cdot \varphi \cdot \sigma_H - 0.5 \cdot P_H} \right) = 16.455 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 42 [43]:

$$s_1 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 19 \text{ мм}$$

Принимаем

$$s_1 := 20 \text{ мм}$$

3.3.4.1 Проверка условия прочности

Проверка условия прочности выполняются по формуле 44 [43]:

$$P_d := \frac{2 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 1.328 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист 158
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{\text{дн}} := \frac{1.8 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{н}}}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 1.803 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{rov1}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P < P_{\text{дн}} \\ & P < P_{\text{д}} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

P_{rov1} = "Условие выполняется"

Принимаем по табл.2 [43] 2 эллиптические крышки типа Крышка 3800-20-950-ГОСТ 6533-78. При толщине стенки 20 мм обеспечивается прочность крышки как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

3.3.5 Проверка необходимости укрепления отверстий

В реакторе имеются два отверстия под технологические штуцера. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла. Цель расчета необходимости укрепления отверстий заключается в определении предельного диаметра неукрепленного отверстия и сравнении его с расчетным диаметром отверстия. Если расчетный диаметр превышает предельный диаметр, то данное отверстие подлежит укреплению в целях компенсации возникающих напряжений в зоне отверстия. Укрепление следует производить по самому большому отверстию.

На Рис. 3.13 представлена расчетная схема укрепления отверстия.

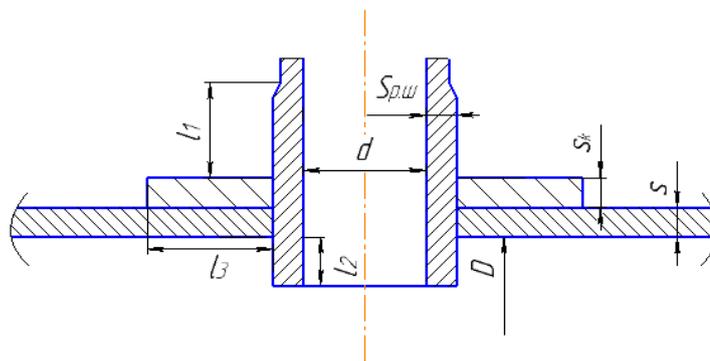


Рис. 3.13 - Расчетная схема необходимости укрепления цилиндрической обечайки избыточной толщиной стенки штуцера и накладным кольцом

Исходные данные для проверки необходимости укрепления отверстий:

Внутренний диаметр аппарата,	$D := 3800$	мм
Марка стали	12x18н10т	
Внутреннее расчетное давление, Мпа	$P := 1$	
Исполнительная толщина стенки оболочки, мм	$s := 20$	

					Лист
					159
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ

Диаметр отверстия, мм	$d := 900$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c := 2.5$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, МПа	$\sigma_d := 144.5$
Допускаемое напряжение при 20 °С, МПа	$\sigma_{20} := 184$

3.3.5.1 Расчет параметров цилиндрической оболочки и штуцера

Расчетный диаметр аппарата вычисляется по формуле 3 [53]:

$$D_p := D = 3.8 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [53]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 905 \text{ мм}$$

Расчетная длина зоны укрепления в обечайках и крышках при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца.

Ширина зоны укрепления в крышках вычисляются по формуле:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 257.876 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

пров1 = "Условия применения формул выполняются"

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 16 [53]:

$$s_p := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 13.194 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера по [53]:

$$s_{p,ш} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 3.142 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера

$$s_o := \text{ceil}(s_{p,ш} + c) = 6 \text{ мм}$$

Принимаем

$$s_{p,ш} := 20 \text{ мм}$$

						Лист
						160
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ	

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле 26 [53]:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 271.448 \text{ мм}$$

3.3.5.2 Проверка условий расчета укреплений отверстий

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

пров3 = "требуется"

Принимаем исполнительную толщину накладного кольца по [54]:

$$s_k := 12 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений по [53] стр 7:

для внешней части штуцера

$$\sigma_{д1} := \sigma_d$$

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_d}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

3.3.5.3 Укрепление отверстия штуцером:

Расчетная длина штуцера по формуле 17 [53]:

$$l_{1p} := \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} = 125.847 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} = 58.256 \text{ мм}$$

Принимаем

$$l_1 := 130 \text{ мм}$$

$$l_2 := 60 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца для штуцера будет равно [53]:

$$l_{3p} := \sqrt{D_p \cdot (s + s_k - c)} = 334.813 \text{ мм}$$

Принимаем ширину кольца равной

$$l_3 := 340 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления [53]:

$$d_{o,p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 103.15 \text{ мм}$$

3.3.5.4 Проверка условия укрепления отверстия

Проверка условия укрепления одиночного отверстия выполняется по формуле 28 [53]:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{o,p}) \cdot s_p = 5.29 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$O_{ne} := l_{1p} \cdot (s_o - s_{p,ш} - c) \cdot \chi_1$$

$$T_{wo} := l_{2p} \cdot (s_o - c - c) \cdot \chi_2$$

$$T_{three} := l_{3p} \cdot s_k \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$\Sigma := O_{ne} + T_{wo} + T_{three}$$

$$Prov2 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Sigma \leq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov2 = \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для штуцера:

Коэффициент понижения прочности по формуле 32 [53]:

$$K1 := 1.5$$

$$W := 1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_o - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_k \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_k - c - c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}$$

$$V := \min \left(1, \frac{W}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_0}{l_p} + K1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right) = 0.737$$

3.3.5.5 Проверка условия прочности для одиночного отверстия

Находим допускаемое избыточное давление для рабочих условий испытаний по формуле 31 [53]:

$$P_{гор} := \frac{2 \cdot K1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_d \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V} = 1.467 \text{ МПа}$$

						Лист
						162
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{горн} := \frac{1.8 \cdot K1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{20} \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V} = 1.681 \text{ МПа}$$

Условие прочности для одиночного отверстия:

$$P_{н} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 1.592 \text{ МПа}$$

$$Prov2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P < P_{гор} \\ & P_{н} < P_{горн} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov2 = "Условие прочности выполняется"

В результате проектного расчёта необходимости укрепления отверстия цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением получены следующие значения:

- расчетный диаметр отверстия $d_p = 905$ мм

- расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки

$d_0 = 271.5$ мм.

Так как условие $d_p \leq d_0$ ($905 \text{ мм} > 271.5 \text{ мм}$) не выполняется, отверстие было дополнительно укреплено накладным кольцом толщиной 12 мм. После укрепления отверстия проверка на рабочие условия и на условия испытания аппарата показала, что полученные и использованные значения толщин стенок удовлетворяют заданным условиям эксплуатации:

$P < P_{гор}$ ($1 < 1.467 \text{ МПа}$)

$P_{н} < P_{горн}$ ($1.592 < 1.681 \text{ МПа}$)

3.3.6 Расчет фланцевого соединения

Целью расчета фланцевого соединения является подбором такого типа фланца и прокладки, при которых выполняются условия герметизации фланцевого соединения и прочность в рабочих условиях и в условиях испытания. В качестве критериев надежности выступают прочность и герметичность.

Фланец изображен на рисунке 1 под номером 4. Расчетная схема фланца изображена на рис. 3.14

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		163

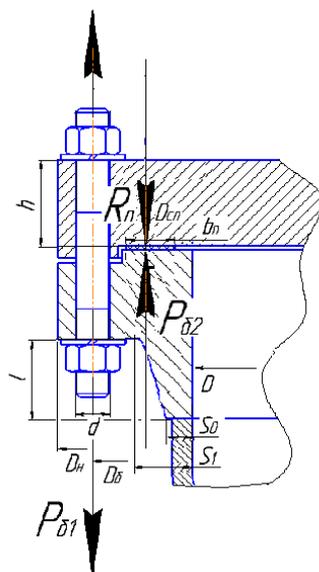


Рис. 3.14 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета фланцевого соединения:

$$D := 600 \text{ мм}$$

$$P := 1 \text{ МПа}$$

Число шпилек [47]:

$$n := 28$$

$$c_0 := 10 \text{ мм}$$

$$t := 345^\circ \text{C}$$

$$M := 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$F := 0 \text{ Н}$$

Для условных давлений среды 1.6 МПа согласно прил. А [55] рекомендуется применять фланцы с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина

Принимаем фланец типа 1 по табл.21.12 [47] с наружным диаметром равным:

$$D_H := 740 \text{ мм}$$

С диаметром болтовой окружности равным:

$$D_B := 700 \text{ мм}$$

С диаметром шпильки равным:

$$d := 20 \text{ мм}$$

Принимаем:

Толщину фланца

$$h := 35 \text{ мм}$$

Меньшую толщину конической втулки

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		164

$$S_0 := 20 \text{ мм}$$

Большую толщину конической втулки

$$S_1 := 20 \text{ мм}$$

Длину конической втулки приварного встык фланца

$$l_w := 46 \text{ мм}$$

Выбираем прокладку типа А по табл.4 [52] с наружным диаметром равным:

$$D_{\text{нп}} := 663 \text{ мм}$$

с шириной равной:

$$b_{\text{п}} := 26 \text{ мм}$$

с толщиной равной:

$$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям [47] :

Материал обечаек - 12X18Н10Т

Фланцев - сталь 09Г2С

Материал шпилек - сталь 25Х1МФ

Материал прокладки - паронит ПОН.

3.3.6.1 Основные расчетные значения

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по табл. В1 [55]

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{\text{ф}} = 331.2 \text{ °C}$$

- расчетная температура шпилек по табл. В1 [55]

$$t_{\text{б}} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\text{б}} = 293.25 \text{ °C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ по табл Г1 [55]

$$t_w := \begin{pmatrix} 200 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma_w := \begin{pmatrix} 217 \\ 199 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{б}})$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 200.215 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 25Х1МФ при расчетной температуре по табл Ж1 [55]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		165

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 300 \end{pmatrix} \quad E_6 := \begin{pmatrix} 2.08 \cdot 10^5 \\ 2.02 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_6 := \text{linterp}(t, E_6, t_6)$$

$$E_6 = 2.024 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл Г [55]

$$\sigma_{206} := 238 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания $20 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл Ж1 [55]

$$E_{206} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 25Х1МФ при $t = 20\text{-}400 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл Ж2 [55]

$$\alpha_6 := 13.9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Допускаемые напряжения для фланцев стали 09Г2С по [55]

$$t := \begin{pmatrix} 300 \\ 350 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 151 \\ 140 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{linterp}(t, \sigma, t_\phi)$$

$$\sigma = 144.136 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma$$

$$\sigma_{д.ф} = 144.136 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 09Г2С при расчетной температуре по [55]

$$t := \begin{pmatrix} 300 \\ 350 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.71 \cdot 10^5 \\ 1.66 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{linterp}(t, E, t_\phi)$$

$$E = 1.679 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ по [3]

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{д20} = 196 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		166

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания 20 °С по [3]

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

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 20 - 200$ °С по [3]

$$\alpha_{\text{ф}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпилек из стали 25Х1МФ при $t = 20$ °С по табл Г1 [55]

$$\sigma_{\text{дбн}} := \sigma_{206} = 238 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [55] :

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий $K_{\text{у.р.р}} := 1$

- для условий испытания $K_{\text{у.р.и}} := 1.35$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{\text{у.з}} := 1$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций

$$K_{\text{у.т}} := 1.0$$

$$\sigma_{\text{дбм}} := \xi \cdot K_{\text{у.р.р}} \cdot K_{\text{у.з}} \cdot K_{\text{у.т}} \cdot \sigma_{\text{дбн}} = 285.6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{дбр}} := \xi \cdot K_{\text{у.р.и}} \cdot K_{\text{у.з}} \cdot K_{\text{у.т}} \cdot \sigma_{\text{дбн}} = 385.56 \text{ МПа}$$

3.3.6.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [55]

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{п}}} = 19.376 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [55]

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = 643.624 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [55]

Прокладочный коэффициент

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		167

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки

$$q_{обж} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия прокладки

$$K_{обж} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_{п} := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [55]

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 3.918 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [55]

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 9.795 \times 10^4 \text{ Н}$$

3.3.6.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил.Д [55]

$$f_6 := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [55]

$$A_6 := n \cdot f_6 = 6.3 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [55]

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P = 3.254 \times 10^5 \text{ Н}$$

3.3.6.4 Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [55]

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 1.712 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек принимаем

$$L_{60} := 110 \text{ мм}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		168

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [55]

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 121.2 \text{ мм}$$

Податливость болтов по формуле К.2 [55]

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 8.948 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

3.3.6.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [55]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 109.545 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [55]

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.233$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [55]

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.824$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 10.314$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 9.475$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 4.838$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [55]

$$\beta_F := 0.67$$

$$\beta_V := 0.12$$

$$f := 1.2$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 1$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		169

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.42$$

- коэффициент λ по формуле К.11 [55]

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 0.677$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [55]

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.849 \times 10^{-11} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [55]

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

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [55] при

$$D \geq 20 \cdot S_1$$

$$D_{\text{пр}} := D$$

3.3.6.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [55]

$$b := 0.5(D_6 - D_{\text{сп}}) = 28.188 \text{ мм}$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [55]

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [55]

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 20 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [55]

$$e_{\text{мм}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 11.812 \text{ мм}$$

						Лист
					ФЮРА.440001 ПЗ	170
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле E.8 [55]

$$\gamma := \frac{1}{y_{\pi} + y_{\phi} \cdot \frac{E_{20\phi}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 6.802 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле E.11 [55]

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\pi} + y_{\phi} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} = 0.965$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [55]

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] = 5.854 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} - Q_t \end{array} \right] = 4.118 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек

$$P_{62} := \max \left[(P_{обж}), 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{20\phi} \right] = 5.998 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [55]

$$P_{6м} := \max(P_{61}, P_{62}) = 5.998 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [55]

$$P_{6р} := P_{6м} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 6.698 \times 10^5 \text{ Н}$$

3.3.6.7 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

- при затяжке по формуле 19 [55]

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6м}}{A_6} = 95.2 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		171

- в рабочих условиях по формуле 20 [55]

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} = 106.317 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [55]

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{дбм} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{дбр} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6м}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 12.741 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

3.3.6.8 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [55]

$$M_M := C_F \cdot P_{6м} \cdot b = 1.691 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [23]

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6p} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 2.272 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

3.3.6.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [55]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_{1м} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 416.115 \quad \text{МПа}$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

						Лист
						172
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 499.338 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [55]

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 43.64 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 6.802 \text{ МПа}$$

3.3.6.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 по формуле 34 [55]

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 559.295 \text{ МПа}$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 по формуле 35 [55]

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 671.154 \text{ МПа}$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [55]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_{P1MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)} \right] = 16.704 \text{ МПа}$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right] = 16.704 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении S_0 вычисляют по формуле 39 [55]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		173

$$\sigma_{Ромо} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_0)} = 30 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [55]

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 58.656 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение по формуле 41 [55]

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 9.143 \text{ МПа}$$

3.3.6.11 Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [55]

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

$$K_T := 1.0$$

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [3]

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 216.204 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.R} := 3 \cdot \sigma = 432.408 \text{ МПа}$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\begin{array}{l} \left(\left| \sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Rp} \right| \right) \\ \left(\left| \sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Tp} \right| \right) \\ \left(\left| \sigma_{1p} + \sigma_{P1MM} \right| \right) \end{array} \right)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_1

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \geq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

- при затяжке

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{1M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{1M} + \sigma_{TM} \right| \right)$$

						Лист
					ФЮРА.440001 ПЗ	174
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_1

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \geq K_T \cdot \sigma_{д,М} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

- в рабочих условиях

$$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}|$$

$$R := |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{P0Mo}|$$

$$W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}|$$

$$T := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$e := |0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{P0Mo}|$$

$$Y := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$\sigma_{Pmax,z} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 687.858$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax,z} \geq 1.3 \cdot \sigma_{д,R} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д,R} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для фланцев всех типов в сечении S_0 должно выполняться условие по формуле 53 [55]

Проверка условий для фланцев всех типов в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{P0Mo}|, |\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [55]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$\underline{Usl_1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

- в рабочих условиях по формуле 55 [55]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$\underline{Usl_1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

3.3.6.12 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [55]

$$\Theta := M_p \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 4.982 \times 10^{-4} \text{ рад}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца

$$\underline{D} := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_d := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_d := \text{linterp}(D, \Theta_d, 1000)$$

$$\Theta_d = 8.625 \times 10^{-3}$$

рад

$$\underline{Usl_P} := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_P = \text{"Условие поворота фланца выполняется"}$

3.3.6.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [47], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [50] не проводится.

										Лист
										176
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ					

Вывод: определили геометрические размеры фланцевого соединения ($D_n=740$ мм; $D_o=700$ мм; $h=35$ мм), а так же размеры ($d=20$ мм) и количество шпилек ($n= 28$ штук). Условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются. Условие поворота плоского фланца выполняется. Условие прочности прокладки выполняется. Условие прочности выполняется.

3.3.7 Расчет массы аппарата

Исходные данные для расчета массы аппарата

Наружный диаметр корпуса, м $D_n := 3.840$

Внутренний диаметр аппарата, м $D_{вк} := 3.800$

Внутренний диаметр крышки, м $D_{кр} := 3.800$

Плотность среды,

$$\rho_c := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Толщина стенки корпуса, м

$$s_{\text{корп}} := 0.02$$

Прибавка на коррозию, м

$$c := 0.0025$$

Длина корпуса, м

$$L_{\text{корп}} := 6.2$$

Ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$g := 9.81$$

Плотность стали, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_{\text{мет}} := 7950$$

Вес корпуса аппарата:

$$G_{\text{корп}} := \pi \cdot \left(\frac{D_n^2 - D_{вк}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 1.161 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Вес катализаторной решетки:

$$S := 29 \text{ м}^2$$

Поверхность катализаторной решетки

$$s := 0.02 \text{ м}$$

толщина катализаторной решетки

$$G_{\text{кат.р}} := S \cdot s \cdot \rho_{\text{мет}} = 4.611 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		177

По (12) вес эллиптической крышки:

$$G_{э.к.} := 2640.6 \text{ кг}$$

Вес пустого не груженого катализатором аппарата:

Принимаем, что фланцы, патрубки и пр. составляют 30% массы аппарата

$$G_{ап1} := (2G_{э.к.} + G_{кат.р} + G_{корп}) \cdot 1.3 = 1.637 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{жид1} := \left(\pi \cdot \frac{D_{вк}^2}{4} \cdot L_{корп} \right) \cdot \rho_c \cdot g = 6.898 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{ап2} := G_{ап1} + G_{жид1} = 8.535 \times 10^5 \text{ Н}$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F := G_{ап2} = 8.535 \times 10^5 \text{ Н}$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F1 := \frac{F}{1000000} = 0.854 \text{ МН}$$

3.3.8 Расчёт обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор [56]

Целью расчета является проверка несущей способности корпуса аппарата от воздействия опорной нагрузки от рабочего веса аппарата, а также подбор седловых опор на основе рассчитанной максимальной массы кожухотрубчатого теплообменника. В расчете определяется необходимость подкладного листа.

Седловая опора изображена на рисунке 1 под номером 3. Расчетная схема опоры изображена на рис. 3.15

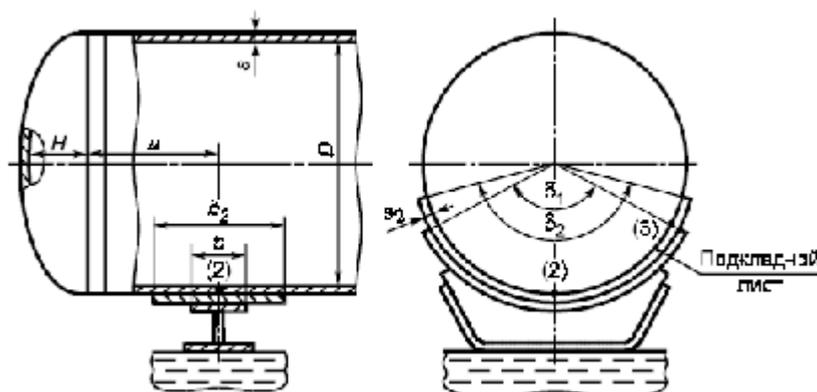


Рис. 3.15 - Расчетная схема седловой опоры

Исходные данные для расчета обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор:

Аппарат изготовлен из стали	09Г2С
Плотность материала, кг/м ³	$\rho := 7850$
Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;	$H := 950$
Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;	$L := 8.1$
Внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;	$D := 3800$
Внутреннее избыточное или наружное давление, МПа	$P_{rab} := 1$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;	$\phi := 1$
Модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа	$E := 1.86 \times 10^5$
Ширина седловой опоры, мм;	$b := 300$
Исполнительная толщина подкладного листа, мм;	$s_2 := 20$
Ширина подкладного листа, мм;	$b_2 := 500$
Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;	$\sigma_t := 141.5$
Предел текучести при расчетной температуре, МПа;	$\sigma_T := 175$
Допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;	$\sigma_{20} := 196$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;	$a := 2000$
Длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;	$e := a + H$
Расчетная температура в аппарате, °С;	$t_{rab} := 345$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;	$c := 2.5$
Угол охвата седловой опоры, °;	$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$
Угол охвата сосуда подкладным листом, °.	$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения симметрично опёртый на две опоры.

					<i>ФЮРА.440001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		179

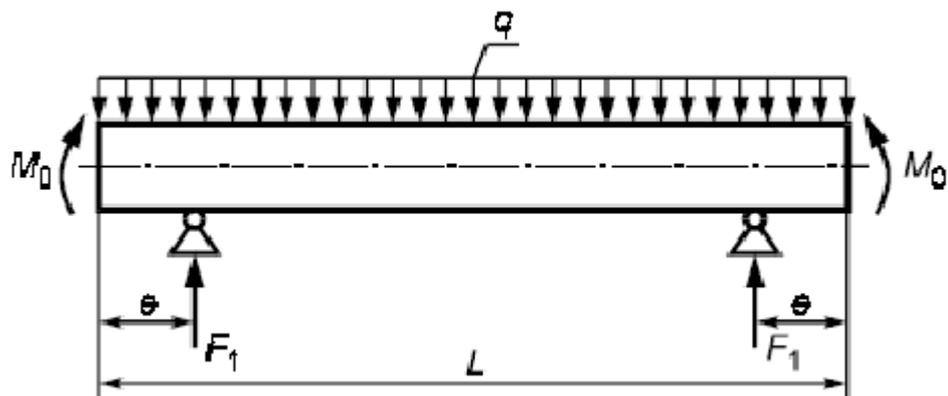


Рисунок 3.16 - Расчетная схема определения усилий

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [3] при расчётной температуре $t=345$ °С

$$\sigma_d := \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5)$$

$$\sigma_d = 141.5 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := p_{rab}$$

$$p = 1 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки по [43]

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p} = 13.475 \text{ мм}$$

$$s_{mm} := \text{floor}(s_r + c)$$

Принимаем

$$s = 15 \text{ мм}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{ан2} = 8.535 \times 10^5 \text{ Н}$$

Площадь эллиптической крышки:

$$A_k := 1.24 \cdot D = 4.712 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Проверка применимости формул:

						Лист
						180
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ	

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} A_k \geq (s - c) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \\ 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s - c}{D} \leq 0.5 \\ s_2 \geq s \end{cases} \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров = "Формулы применимы"

Распределенную нагрузку и изгибающий момент, действующие на обечайку по приведенной на рис.3.16, вычисляют по формулам 30,31

$$\underline{H} := 950 \text{ мм}$$

$$\underline{q} := \frac{G_{\text{ап2}}}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} = 669.554 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} = 6.043 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие вычисляют по формуле 33

$$F_1 := \frac{G_{\text{ап2}}}{2} = 4.268 \times 10^5 \text{ Н}$$

Моменты над опорой вычисляют по формуле 34

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 = 2.309 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_2 := M_1 = 2.309 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальный момент между опорами вычисляют по формуле 35

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot H \right)^2 = -3.835 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой вычисляют по формуле 36

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 = -1.336 \times 10^6 \text{ Н}$$

Условие проверки несущей способности обечайки в сечении между опорами по формуле 40

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Проверка требуется"} & \text{if } M_{12} \geq M_1 \\ \text{"Проверка не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

181

Пров_{нес.сп.} = "Проверка не требуется"

Следовательно, несущую способность обечайки в сечении между опорами проверять не следует

3.3.8.1 Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла

Параметр, определяемый расстоянием до дна вычисляют по формуле 45 :

$$\gamma_{\text{ww}} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s-c)}{D}} = 0.085$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры вычисляют по формуле 46:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 1.253$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла вычисляют по формуле 55

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 16.288 \quad \text{МПа}$$

Проверка несущей способности обечайки

$$u := 2$$

для подкладного листа по формуле 61

$$w := \begin{cases} s-c & \text{if } u = 1 \\ (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$b_{\text{ww}} := \begin{cases} b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$\delta_{\text{ww}} := \begin{cases} \delta_1 & \text{if } u = 1 \\ \delta_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

Условие прочности по формуле 56

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

F_{d2} - допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении.

F_{d3} - допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении

Предельные напряжения изгиба σ_{i2} , σ_{i3} :

Коэффициенты для определения $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$ при $\sigma := 2$

										Лист
										182
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$K_2 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

для рабочих условий

для условий испытания

$$K_2 = 1.05$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.851$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.425$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} = 0.663$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta} = 0.488$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.071$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) = 0.305$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.798$$

по табл.1

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}}$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta)}$$

$$v_{212} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{\text{mx}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

по стр.3

$$K_{112} := \frac{1 - v_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right)^2 + \left(1 - v_{212}^2 \right) \cdot v_{12}^2}} = 1.469$$

$$K_{122} := \frac{1 - v_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right)^2 + \left(1 - v_{213}^2 \right) \cdot v_{13}^2}} = 0.276$$

$$K_{113} := \frac{1 - v_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right)^2 + \left(1 - v_{222}^2 \right) \cdot v_{12}^2}} = 1.476$$

$$K_{123} := \frac{1 - v_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right)^2 + \left(1 - v_{223}^2 \right) \cdot v_{13}^2}} = 0.424$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 0.276$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.424$$

Предельное напряжение изгиба по формуле 1

$$\sigma_{12} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 40.975 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 63.006 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении по формуле 57

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		184

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{12} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 9.514 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении по формуле 58

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{13} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 2.913 \times 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности: по формуле 56

$$F_1 \leq |\min(F_{d2}, F_{d3})|$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq |\min(F_{d2}, F_{d3})| \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры по формуле 60.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 9.22 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [43]

$$\varphi_T := 1$$

по прил.5 [43]

$$F_d := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \cdot \varphi_T = 2.118 \times 10^7 \text{ Н}$$

по графику 7 [43]

$$\varphi_3 := 0.97$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности, Н*мм определяется по формуле 22 [43]:

$$M_{\text{пр}} := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d = 7.648 \times 10^{13}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости, Н*мм определяется по формуле 23 [43]:

$$M_E := \frac{10.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{1.8} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 3.836 \times 10^{10}$$

Допускаемый изгибающий момент, Н*мм определяем по формуле 21 [43]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		185

$$M_d := \frac{M_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\pi}}{M_E}\right)^2}} = 3.836 \times 10^{10}$$

Проверка условия устойчивости по формуле 59:

$$\frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} \leq 1$$

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \left| \frac{M_1}{M_d} \right| + \left| \frac{F_e}{F_d} \right| \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие устойчивости выполняется"

Таким образом, подбираем седловую опору типа 2 для сосудов и аппаратов диаметром от 800 до 4000 мм, согласно табл. 29.12 [47]

Исходя из веса аппарата выбираем две опоры 2-100 ОСТ 26-2091-93.

По расчетам, произведенным в данном разделе, можно сделать вывод, что выбранные седловые опоры не оказывают на обечайку аппарата воздействий, которые могли бы привести к потере прочности и устойчивости теплообменника.

3.3.10 Принимаем прокладку по [52]

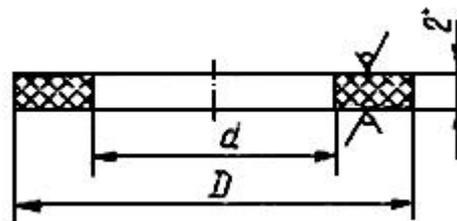


Рис.3.16 - Прокладка из паронита

Внешний диаметр прокладки:

$$D_1 := 663 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр прокладки:

$$d := 637 \text{ мм}$$

Ширина прокладки:

$$\frac{D_1}{2} - \frac{d}{2} = 13 \text{ мм}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		186

3.3.11 Ушки для строповки крышек принимаем по табл. 30.3 [47]

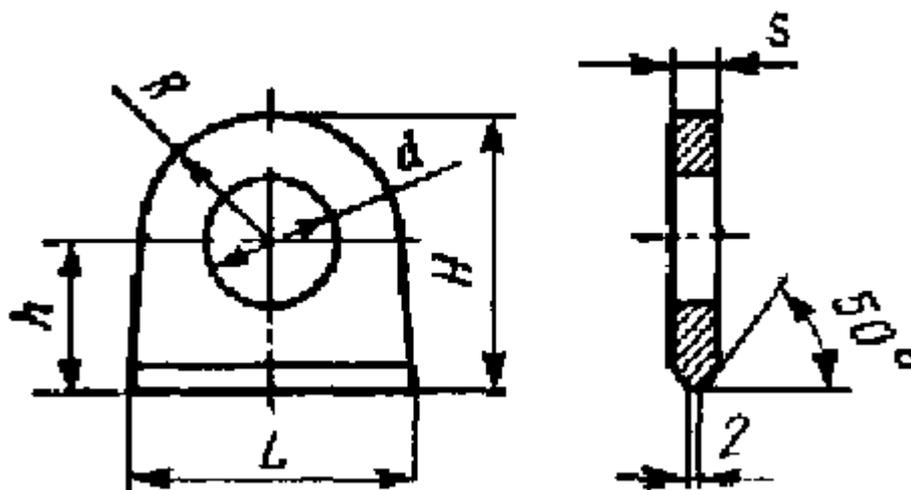


Рис. 3.17 - Ушко 3-1-ГОСТ 13716-68

Грузоподъемность ушка

$$G := 1 \cdot 10^2 \text{ МН}$$

$$L := 345 \text{ мм}$$

$$H := 80 \text{ мм}$$

$$h := 45 \text{ мм}$$

$$d := 35 \text{ мм}$$

$$R := 36 \text{ мм}$$

$$s := 22 \text{ мм}$$

3.3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы был рассчитан стандартный реактор низкотемпературный селективной очистки окисей азота от выхлопных газов. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук) Опора ПЛ 630-1920-I ОСТ 26-2091-93.

Также было рассчитано толщина стенки аппарата и принято 20 мм и толщина эллиптической крышки равный 20мм.

									Лист
									187
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

Приложение Б

Технологический и механический расчёт кожухотрубчатого теплообменника

4. Расчет кожухотрубчатого теплообменника (подогревателя)

4.1 Технологический расчет кожухотрубчатого теплообменника

Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для теплообмена между паром и газообразным аммиаком, производительностью по аммиаку $G_2 := 0.0648$ т/ч. Пар подается с давлением 1.5 МПа и температурой от $t_{1н}$ - 200 °С. Начальная температура холодного газа (G_2) - $t_{2н}$ - 70 °С. Давление газообразного аммиака 1.25 МПа.

Проектируемый аппарат согласно заданию должен соответствовать следующим параметрам имеют вид как на Рис.4.1. К корпусу, кожуху по торцам приварены трубные решетки, в которых закреплены пучки труб. В основном трубы в решетках крепятся с уплотнением развальцовкой или каким-то другим способом в зависимости от материала труб и давления в аппарате. Трубные решетки закрываются крышками на прокладках и болтах или шпильках. На корпусе имеются патрубки (штуцера), через которые один теплоноситель проходит через межтрубное пространство. Второй теплоноситель через патрубки (штуцера) на крышках проходит по трубам. В многоходовом теплообменнике в корпусе и крышках установлены перегородки для повышения скорости теплоносителей. В случае необходимости, конструкция аппарата должна предусматривать его очистку [63].

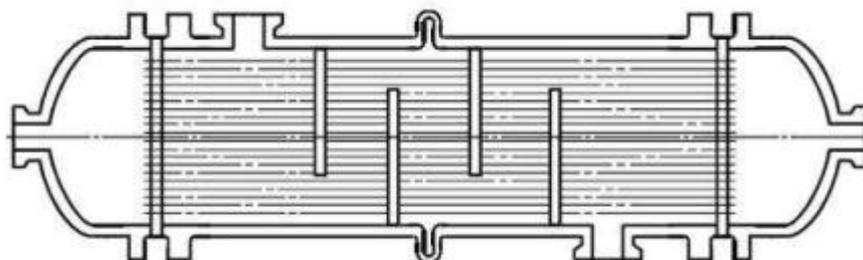


Рис. 4.1. Теплообменный аппарат с компенсатором на кожухе

Исходные данные: (индекс 1-греющий пар; 2-Аммиак газообразный):

$G_2 := 0.0648$	т/ч	Расход аммиака
$t_{2н} := 70$	°С	Начальная температура аммиака
$t_{2к} := 160$	°С	Конечная температура аммиака
$t_{1н} := 200$	°С	Начальная температура пара

									Лист
									188
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

$t_{1к} := 200$	°С	Конечная температура конденсата пара
$P_1 := 1.5$	МПа	Рабочее давление греющего пара
$P_2 := 1.25$	МПа	Рабочее давление аммиака

Выбор взаимного направления движения теплоносителей.

Правильный выбор взаимного направления движения теплоносителей имеет существенное значение для наиболее экономичного проведения процесса теплообмена. Поэтому, в соответствии с рекомендациями, изложенными в [62] принимаем противоточное направление движения теплоносителей. Также, по рекомендациям [62], аммиак направим в трубное пространство, а водяной пар в межтрубное пространство.

Расчет средней разницы температур между теплоносителями

Согласно методике, изложенной в [40], определим среднюю разность температур при противотоке теплоносителей, изобразив температурную схему процесса:

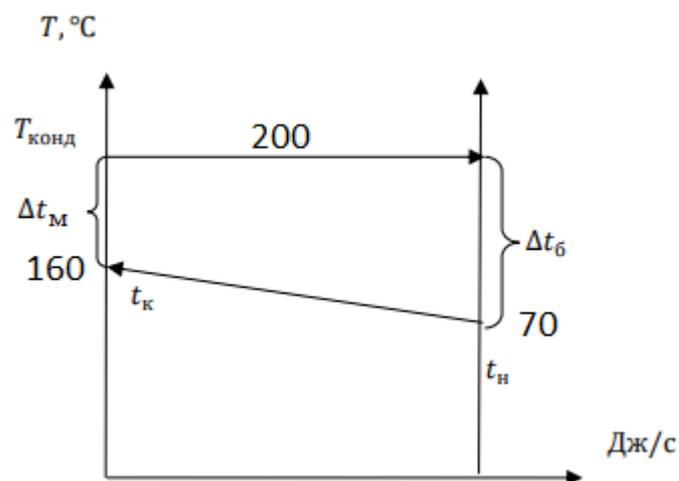


Рис. 4.2 - Температурная схема процесса

Рассчитаем большую и малую разность температур на концах теплоносителей:

$$\Delta t_б := t_{1к} - t_{2н} = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_м := t_{1н} - t_{2к} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Т.к. > 2 , то среднюю разность температур рассчитаем по формуле 5.13 [73]:

$$\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м} = 3.25$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2.3 \cdot \log\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}\right)} = 76.4 \quad ^\circ\text{C}$$

Определим средние температуры теплоносителей:

$$t_{1cp} := 200 \quad ^\circ\text{C}$$

Средняя температура пара

$$t_{2cp} := t_{1cp} - \Delta t_{cp} = 123.556 \quad ^\circ\text{C}$$

Средняя температура аммиака

Выбор значений теплофизических свойств теплоносителей:

Значения теплофизических свойств теплоносителей при их средних температурах подбираем из таблиц II-LVII [40].

$$\rho_{гр.п} := 7.84 \quad \text{кг/м}^3 \quad \text{плотность греющего пара}$$

$$\rho_0 := 0.68 \quad \text{кг/куб.м} \quad \text{плотность аммиака}$$

$$p_0 := 101.325 \quad \text{кПа}$$

$$T_0 := 293 \quad \text{К}$$

$$p := 1250 \quad \text{кПа} \quad \text{Давление газа в аппарате}$$

$$T := t_{2cp} + 273 \quad \text{Температура газа в аппарате}$$

$$\rho_{аммиака} := \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$\rho_{аммиака} = 6.198 \quad \text{кг/куб.м}$$

$$r := 1945 \quad \text{кДж/кг} \quad \text{удельная теплота парообразования}$$

$$C_{p2} := 2.287 \quad \text{кДж/(кг*К)} \quad \text{удельная теплоемкость аммиака}$$

$$\mu_2 := (1.37 \times 10^{-5}) \quad \text{Па*с} \quad \text{вязкость аммиака}$$

$$\lambda_2 := 37 \cdot 10^{-3} \quad \text{Вт/(м*К)} \quad \text{коэффициент теплопроводности аммиака}$$

$$\rho_{конд} := 941 \quad \text{кг/м}^3 \quad \text{плотность конденсата пара}$$

Расчет расходов теплоносителей

Переведем расход аммиака из т/ч в кг/с:

$$G_2 := \frac{G_2 \cdot 1000}{3600} = 0.018 \quad \text{кг/с}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		190

Рассчитаем тепловую нагрузку(количество теплоты, необходимое для нагрева аммиака по формуле 3.8 [62]:

$$Q := G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2к} - t_{2н}) = 3.705 \quad \text{кВт}$$

Рассчитаем расход греющего пара с учетом потерь 5%:

$$G_1 := \frac{1.05Q}{r} = 2 \times 10^{-3} \quad \text{кг/с}$$

4.1.1 Предварительный расчет ориентировочной поверхности теплообмена

Поверхность теплообмена рассчитывается по формуле 1.5 [62]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}$$

По таблице 5.3 [73] определяем ориентировочные значения коэффициента теплопередачи:

$$K_{\min} := 10 \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$K_{\max} := 60 \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Рассчитаем ориентировочные значения требуемой поверхности теплообмена:

$$F_{\min} := \frac{Q \cdot 1000}{K_{\max} \cdot \Delta t_{cp}} = 0.8 \quad \text{м}^2$$

$$F_{\max} := \frac{Q \cdot 1000}{K_{\min} \cdot \Delta t_{cp}} = 4.8 \quad \text{м}^2$$

Для обеспечения турбулентного режима зададимся $Re_2=12000$

$$Re_2 := 12000$$

Определяем общее число труб для теплообмена по формуле 3.23 [62], приняв трубы диаметром $d=25 \times 2$ мм.:

$$n_z := \text{ceil} \left(\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot 0.021 \cdot \mu_2 \cdot Re_2} \right) = 7$$

По таблице 4.12 [40] подбираем теплообменник с параметрами:

$$D := 159 \quad \text{мм} \quad \text{наружный диаметр теплообменника}$$

$$z := 1 \quad \text{число ходов}$$

$$n := 13 \quad \text{число труб}$$

$$F := 2 \quad \text{м}^2 \quad \text{поверхность теплообмена}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						191
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$L := 2$ м длина труб
 $d := 0.021$ м внутренний диаметр труб
 $d_H := 0.025$ м наружный диаметр труб

4.1.2. Уточненный расчет поверхности теплопередачи

Определяем действительное число Рейнольдса по формуле 4.13 [40]:

$$Re := \frac{4 \cdot G_2 \cdot z}{n \cdot \pi \cdot 0.021 \cdot \mu_2} = 6128$$

т.к $2300 < Re = 6128 < 10000$ (переходный режим), то критерий Нуссельта вычисляется по формуле 3.28 [62]:

$$Nu = 0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43}$$

Критерий Прандтля вычисляется по формуле 4.12 [40]:

$$Pr := \frac{C_{p2} \cdot 1000 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = 0.847$$

$$Nu := 0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} = 19.08$$

Коэффициент теплоотдачи к аммиаку от стенки вычисляется по формуле 1.47 [63]:

$$\alpha_2 := \frac{Nu \cdot \lambda_2}{d} = 34 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при конденсации пара на пучке горизонтальных труб определяется по формуле 2.25 [64]:

$$\alpha_1 = 2.02 \cdot \varepsilon \cdot \lambda_1 \cdot \left(\frac{\rho^2 \cdot n \cdot L}{\mu_1 \cdot G_1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Значения теплофизических величин выбираются по таблице XXXIX [40] при температуре пленки конденсата, которая вычисляется по формуле 1.38 [63]:

$$t_{ст} := t_{1Н} - 0.1 \Delta t_{ср} = 192.356 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{пл} := \text{ceil} \left(\frac{t_{1Н} + t_{ст}}{2} \right) = 197 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_1 := 189.4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad \text{вязкость воды при } \Delta t_{пл}$$

$$\rho := 864 \text{ кг/м}^3 \quad \text{плотность воды при } \Delta t_{пл}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		192

$\lambda_1 := 0.685$ Вт/(м*К) теплопроводность воды при $\Delta t_{пл}$

$\varepsilon := 0.7$ при $n < 100$ (коэффициент местного сопротивления)

$$\alpha_1 := 2.02 \cdot \varepsilon \cdot \lambda_1 \cdot \left(\frac{\rho^2 \cdot n \cdot L}{\mu_1 \cdot G_1} \right)^{\frac{1}{3}} = 3.597 \times 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Сумма термических сопротивлений рассчитывается по формуле 3.22 [62]:

$$\Sigma R := \frac{1}{R_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{R_2}$$

Значения термических сопротивлений выбираются по таблице 3.3 [62]:

$R_1 := 1860$ Вт/(м²*К) термическое сопротивление со стороны загрязненной воды

$R_2 := 2900$ Вт/(м²*К) термическое сопротивление со стороны аммиака

$\delta_{ст} := 0.002$ м толщина стенки трубок

$\lambda_{ст} := 45$ Вт/(м*К) коэффициент теплопроводности стали

$$\Sigma R := \frac{1}{R_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{R_2} = 9.269 \times 10^{-4} \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$$

Рассчитаем действительный коэффициент теплопередачи по формуле 3.21 [62]:

$$K := \text{ceil} \left(\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma R + \frac{1}{\alpha_2}} \right) = 33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тогда требуемая поверхность теплопередачи равна:

$$F_{тр} := \frac{Q \cdot 1000}{K \cdot \Delta t_{ср}} = 1.47 \text{ м}^2$$

Относительная разность действительной и требуемой поверхности теплопередачи

$$\Delta := \frac{(F - F_{тр})}{F}$$

$$\Delta = 26.567\%$$

_Запас := $\begin{cases} \text{"Запас поверхности недостаточен"} & \text{if } \Delta < .15 \\ \text{"Запас поверхности в норме"} & \text{if } .15 \leq \Delta \leq .30 \\ \text{"Запас поверхности избыточен"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Запас = "Запас поверхности в нормe"

Как видно, выбранный теплообменник с поверхностью теплообмена $F = 2$ м удовлетворяет требованиям.

4.1.3 Расчет штуцеров

Диаметр условного прохода для подвода и отвода аммиака:

$\omega := 0.5$ м/с - скорость движения газов в патрубке примем по [70]

Расчет штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению d , м:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_{\text{аммиака}} \cdot \omega}}$$

$d = 0.086$ м

Примем диаметр патрубка по ТУ 3612-024-00220302-02 80мм.

Таблица 4.1 - параметр фланцев

Проклад условный D_y	Наружный диаметр трубы $d_{нц}$	D	D_1	d_1	b	h	D_4	h_2	D_2	h_1	D_4	h_3	D_m	D_n	r	d	n	Номинальный диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса теоретическая в кг	
																			с выступом	с впадной
80	89	195	160	78	17	50	120	4	138	3	121	3	110	90	5	18	4	16	4,15	4,04

Штуцер подвода и отвода греющего пара

Расчет штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению d_o , м:

$$d_o := \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{\text{гр.п}} \cdot \omega}}$$

$\rho_{\text{гр.п}} = 7.84$

$d_o = 0.025$ м

Примем патрубков диаметром 32 мм.

Таблица 4.2 - параметр фланцев

Проклад условный D_y	Наружный диаметр трубы $d_{нц}$	D	D_1	d_1	b	h	D_4	h_2	D_2	h_1	D_4	h_3	D_m	D_n	r	d	n	Номинальный диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса теоретическая в кг	
																			с выступом	с впадной
32	38	135	100	31	13	40	65	4	78	2	66	3	55	39	4	18	4	16	1,54	1,48

4.1.4 Расчет гидравлического сопротивления.

$$L = 2 \text{ м}$$

$$s_{\text{м}} := 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Скорость жидкости в трубах:

$$S_{\text{тр}} := \frac{\pi \cdot (d_{\text{Н}} - 2 \cdot s)^2 \cdot n}{4}$$

$$S_{\text{тр}} = 4.503 \times 10^{-3} \text{ кв.м}$$

$$\omega_{\text{тр}} := \frac{G_2}{S_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{аммиака}} \cdot (t_{2\text{ср}})}$$

$$\omega_{\text{тр}} = 5.22 \times 10^{-3} \text{ м/с}$$

Коэффициент трения рассчитывают по формуле (2.31) [67]:

$$\Delta_{\text{тр}} := 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\lambda_1 := 0.25 \cdot \left[\log \left[\frac{\Delta_{\text{тр}}}{3.7 \cdot (d_{\text{Н}} - 2 \cdot s)} + \left(\frac{6.81}{\text{Re}} \right)^{0.9} \right] \right]^{-2}$$

$$\lambda_1 = 0.046$$

Диаметр штуцеров в распределительной камере [62]:

$$d_{\text{трш}} := 0.08 \text{ м}$$

Скорость в штуцерах:

$$\omega_{\text{трш}} := \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_{\text{трш}}^2 \cdot \rho_{\text{аммиака}}}$$

$$\omega_{\text{трш}} = 0.578 \text{ м/с}$$

В трубном пространстве следующие местные сопротивления: вход в камеру, выход из нее, три поворота на 180 град., четыре входа в трубы и четыре выхода из них.

В соответствии с формулой (2.35) [67] гидравлическое сопротивление трубного пространства равно:

$$\Delta_{\text{ртр}} := \lambda_1 \cdot \frac{L \cdot z}{d_{\text{Н}} - 2 \cdot s} \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_{\text{аммиака}}}{2} + [2.5 \cdot (z - 1) + 2 \cdot z] \cdot \frac{\rho_{\text{аммиака}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_{\text{аммиака}} \cdot \omega_{\text{трш}}^2}{2}$$

$$\Delta_{\text{ртр}} = 3.104 \text{ Па}$$

										Лист
										195
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Число рядов труб, омываемых потоком в межтрубном пространстве

$$m := \sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$m = 2.082$$

Принимаем $m := 3$

Число сегментных перегородок (см. таблицу 2.7 [67]) принимаем:

$$X := 14$$

Диаметр штуцеров к кожуху

$$d_{\text{мтрш}} := 0.08 \text{ м}$$

Тогда скорость потока в штуцерах:

$$\omega_{\text{мтрш}} := \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_{\text{мтрш}}^2 \cdot \rho_{\text{гр.п}}}$$

$$\omega_{\text{мтрш}} = 1.644 \text{ м/с}$$

Скорость жидкости в наиболее узком сечении межтрубного пространства площадью $S_{\text{мтр}}$

(см. таблицу 2.3 [67]) равна:

$$S_{\text{мтр}} := 0.0045 \text{ кв.м}$$

$$\omega_{\text{мтр}} := \frac{G_2}{S_{\text{мтр}} \cdot \rho_{\text{гр.п}}}$$

$$\omega_{\text{мтр}} = 1.837 \text{ м/с}$$

В межтрубном пространстве следующие местные сопротивления: вход и выход жидкости через штуцера, 18 поворотов через сегментные перегородки (по их числу X) и 19 сопротивлений трубного пучка при его поперечном обтекании ($X+1$).

В соответствии с формулой (2.36) [67] сопротивление межтрубного пространства равно:

$$\Delta_{\text{рмтр}} := \frac{3 \cdot m \cdot (X+1)}{\text{Re}^{0.2}} \cdot \frac{\omega_{\text{мтр}}^2 \cdot \rho_{\text{гр.п}}}{2} + 1.5 \cdot X \cdot \frac{\rho_{\text{гр.п}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_{\text{гр.п}} \cdot \omega_{\text{мтрш}}^2}{2}$$

$$\Delta_{\text{рмтр}} = 621.582 \text{ Па}$$

									Лист
									196
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					ФЮРА.440001 ПЗ

4.1.5 Расчет изоляции и тепловых потерь в окружающую среду

$t_{oc} := 25 \text{ }^\circ\text{C}$ -температура окружающей среды

$t_s := 200 \text{ }^\circ\text{C}$ -температура пара

$D_k := 0.159 \text{ м}$ -внешний диаметр аппарата

$L := 2 \text{ м}$ -длина теплообменной камеры

$Q := 3.705 \times 10^3 \text{ Вт}$ -расход теплоты на нагрев раствора

Допустимая температура поверхности изоляции:

$t_{из} := 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура не приносящая повреждений кожному покрову при коротком прикосновении)

Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху:

$$\alpha_n := 9.3 + 0.06 \cdot t_{из}$$

$$\alpha_n = 12.9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопередачи в окружающую среду:

$$K_n := \alpha_n \cdot \frac{t_{из} - t_{oc}}{t_s - t_{oc}}$$

$$K_n = 2.58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

В качестве теплоизоляционного материала используем минеральную вату, которая имеет коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_{из} := 0.04 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Толщина изоляционного слоя:

$$\delta_{из} := \lambda_{из} \cdot \left(\frac{1}{K_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right)$$

$$\delta_{из} = 0.019 \text{ м}$$

Наружная поверхность теплообмена:

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		197

$$F_n := \pi \cdot D_k \cdot L + \pi \cdot \frac{(D_k)^2}{2}$$

$$F_n = 1.039 \text{ м}^2$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот}} := K_n \cdot F_n \cdot (t_s - t_{\text{oc}})$$

$$Q_{\text{пот}} = 469 \text{ Вт}$$

Отношение потерянной теплоты к затрачиваемой

$$\eta_{\text{пот}} := \frac{Q_{\text{пот}}}{Q} \cdot 100 = 12.658 \%$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		198

4.2 Механический расчет

Исходные данные:

Расход холодного теплоносителя, кг/с	$G_1 := 0.018$
Начальная температура холодного теплоносителя, °С	$t_{1н} := 70$
Конечная температура холодного теплоносителя, °С	$t_{1к} := 160$
Начальная температура горячего теплоносителя, °С	$t_{2н} := 200$
Конечная температура горячего теплоносителя, °С	$t_{2к} := 200$
Теплоемкость аммиака Дж/(кг*К)	$c_1 := 2287$
Теплоемкость пара Дж/(кг*К)	$c_2 := 2768.44$

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

На рис. 4.3 изображена расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника.

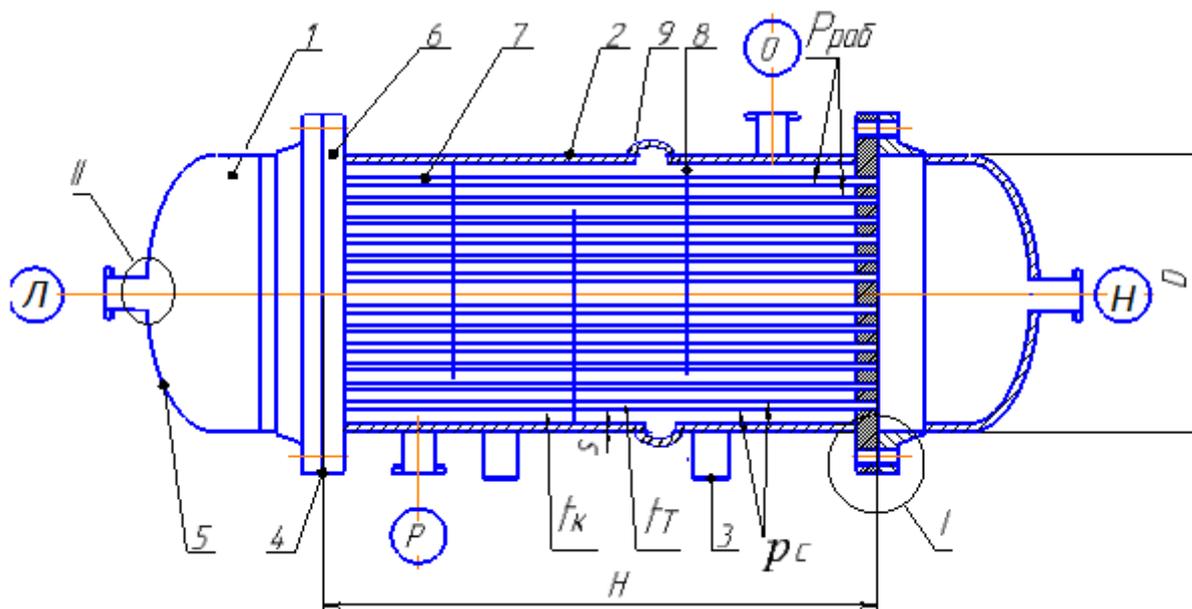


Рисунок 4.3 - Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

Номера позиций и названия элементов представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Номера позиций и названия элементов

Номер позиции	Название элемента	Количество
1	Камера распределительная	1
2	Кожух аппарата	1
3	Седловая опора	2
4	Фланец	4

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

199

Продолжение таблицы 4.3

5	Крышка аппарата	2
6	Трубная решетка	2
7	Теплообменная труба	13
8	Поперечная перегородка	14
9	Компенсатор	1

Данные о штуцерах представлены в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Штуцера

Обозначение	Наименование	Условный диаметр, мм	Условное давление, МПа
Л	Вход аммиака	80	1.6
Н	Выход аммиака	80	1.6
О	Вход пара	32	1.6
Р	Выход конденсата	32	1.6

4.2.1 Выбор конструкционного материала

Выбор определенной исполнительной марки стали обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно, необходимость удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна. Также выбранная сталь должна обладать достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Кожухотрубчатый теплообменник располагается в производственном корпусе, где в зимнее время года минимальная температура может достигать -10°C , поэтому, согласно рекомендациям [47], выбираем в качестве материала корпуса сталь 16ГС, так как эта марка относится к широко распространенным на рынке. А также, выбранная сталь обладает достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях и хорошо сваривается. Выбранное исполнение по материалу представлено в таблице 4.5

Таблица 4.5 - Исполнение по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Распределительная камера	Трубная решетка	Теплообменная труба
М1	16ГС			сталь 10

4.2.2 Расчет теплообменного аппарата на прочность

Исходные данные для расчета на прочность представлены в таблице 4.6

Таблица 4.6 - Исходные данные для расчета на прочность

Длина цилиндрической обечайки, мм	$H := 2000$
Внутренний диаметр, мм	$D := 159$
Рабочее давление, МПа	$P_{\text{раб}} := 1.25$
Материал обечайки	листовой прокат из стали 16ГС
Скорость коррозии, мм/год	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации, лет	$t_{\text{в}} := 10$
Плотность стали при 20 °С, кг/м ³	$\rho := 7850$
Плотность среды в трубном пространстве кг/м ³	$\rho_{\text{с1}} := 6.2$
Плотность среды в межтрубном пространстве кг/м ³	$\rho_{\text{с2}} := 7.84$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g := 9.8$
Максимальная температура горячего теплоносителя, °С	$t_{\text{г}} := 200 \text{ } ^\circ\text{C}$
Максимальная температура холодного теплоносителя, °С	$t_{\text{х}} := 160 \text{ } ^\circ\text{C}$

Расчет толщины стенки кожуха

Целью расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего условия: $P \leq p_1$,

где P - расчетное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа;

p_1 - допускаемое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа

Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия: $P_{\text{и}} \leq p_{1\text{и}}$

где $P_{\text{и}}$ - расчетное значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа; $p_{1\text{и}}$ - допускаемое значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа

Кожух аппарата отмечен на рисунке 2.1 позицией номер 2. Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха представлена на рисунке 4

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
						201
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

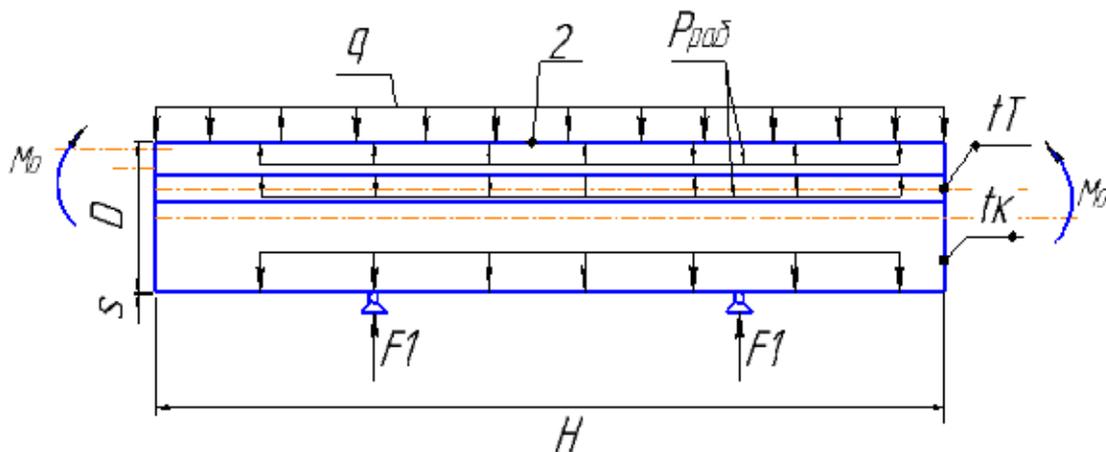


Рис. 4 - Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха

Горячий теплоноситель находится в трубном пространстве, холодный - в межтрубном. Примем в качестве расчетной температуры горячего теплоносителя наибольшую температуру среды, округленную до значения [42]:

$$t_r = 200$$

$$^{\circ}\text{C}$$

По [42] допускаемое напряжение $\sigma_{\text{д}}$ для стали 16ГС при температуре 200 $^{\circ}\text{C}$ принимается равным:

$$\sigma := 163.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20 $^{\circ}\text{C}$ для стали 16ГС определим согласно таблице Б.1 [42]

$$R_s := 300 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при температуре 20 $^{\circ}\text{C}$ гидравлического испытания принимаем по [42]

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_s}{1.1}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{\text{н}} = 272.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС по [42]

при $t=20$ $^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката, поправочный коэффициент принимаем в соответствии с рекомендациями [42], п.8.3

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := 1 \cdot 196 = 196 \text{ МПа}$$

										Лист
										202
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Определение коэффициента прочности сварных швов.

Для бесшовных элементов сосудов по [42]:

$$\varphi := 1$$

Так как теплообменник горизонтальный, гидростатическим столбом жидкости можно пренебречь, тогда принимаем

$$P := P_{\text{раб}} = 1.25 \text{ МПа}$$

Давление испытаний:

$$P_H := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma} = 1.873 \text{ МПа}$$

Прибавка для компенсации коррозии обечайки [47]:

$$c_1 := \Pi \cdot \text{ТВ} = 1 \text{ мм}$$

В соответствии с таблицей 2 [44] примем поправку на минусовое отклонение равной:

$$c_2 := 1.3 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [42] примем прибавку на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях равной:

$$c_3 := 0.2 \text{ мм}$$

Расчетную прибавку к толщинам вычисляют согласно [42] по формуле 13:

$$c_{\text{расч}} := c_1 + c_2 + c_3 = 2.5 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 2 [43]:

$$s_p := \max\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - P}, \frac{P_H \cdot D}{1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi - P_H}\right) = 0.61 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 1 [43]:

$$s_{\text{исп}} := \text{ceil}(s_p + c) = 4 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки равной

$$s_{\text{пр}} := 5 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности выполняются по формуле 3 [43]:

$$p1 := 2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 5.062 \text{ МПа}$$

$$p_{\text{н}} := 1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 7.593 \text{ МПа}$$

$$Proc := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P \leq p1 \\ P_H \leq p_{\text{н}} \end{cases} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

										Лист
										203
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.440001 ПЗ

Prov = "Условие выполняется"

Из расчетов, представленных выше, можно сделать вывод, что при толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность кожуха как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях

4.2.3 Поверочный расчет кожухотрубчатого теплообменника

Определение количества трубок основывается на расположении их по вершинам правильного шестиугольника. Схема расположения труб представлена на рисунке 3.

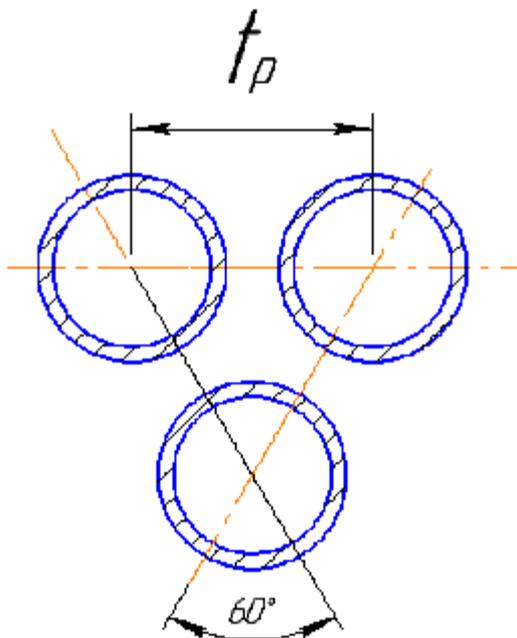


Рисунок 3 - Схема расположения труб по вершинам правильного шестиугольника

Принимаем трубы 25x2 мм по табл. 1 [41]. Тогда наружный диаметр труб равен:

$$d_t := 25 \text{ мм}$$

Определим шаг расположения труб по [45]:

$$t_p := 1.2 \cdot d_t + 2$$

$$t_p = 32 \text{ мм}$$

Коэффициент заполнения трубной решетки примем

$$\eta := 0.7$$

Определяем число труб по [45]:

$$i := \eta \cdot \left[\left(\frac{D}{1.1 \cdot t_p} \right)^2 \right] = 14.283$$

По табл. 4.12 [40] число труб равно:

$$i := 13$$

По [46] минимальная толщина трубной решетки для труб 25x2 равна:

										Лист
										204
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.440001 ПЗ

$$s_{\text{реш}} := 5 \text{ мм}$$

Так как трубная решетка выполняется заодно с фланцем, принимаем, что толщина решетки равна толщине фланца по [47]

$$s_{\text{реш}} := 19 \text{ мм}$$

Расчет вспомогательных величин

Внутренний радиус кожуха равен:

$$a := \frac{D}{2} = 79.5 \text{ мм}$$

По [49] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки равно::

$$a_1 := 0.525 \cdot t_p \cdot \sqrt{i} = 60.573 \text{ мм}$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки по формуле 1 [48]:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.312$$

Для гладких теплообменных труб 25x2 мм из материала 12x18н10г толщина стенки труб равна:

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку
- со стороны межтрубного пространства по формуле 2 [48]:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.446$$

- со стороны трубного пространства по формуле 3 [48]:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.609$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата
Модуль упругости для материала Сталь 10 при температуре 200 °С по [42]:

$$t_{\text{ст}} := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_T := \begin{pmatrix} 2.03 \cdot 10^5 \\ 1.99 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_T := \text{linterp}(t_T, E_T, 170)$$

$$E_T = 2.002 \times 10^5 \text{ МПа}$$

По [41] половина длины трубы теплообменного аппарата, мм

$$l_{\text{ст}} := \frac{H}{2} = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

									Лист
									205
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

Модуль упругости основания(системы труб) по формуле 4 [48]:

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_{M1})}{1} = 32.629 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

$$s = 5 \text{ мм}$$

Модуль упругости для 16ГС при температуре 200 °С по [42]:

$$E_K := 1.8 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [48]:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot 1}{E_T \cdot s} = 1.974$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_q = 1 + K_q'$$

$$K_p = 1 + K_p'$$

Для аппаратов с плавающей головкой:

$$K_q' = K_p' = 0$$

$$K_q := 1$$

$$K_p := 1$$

Коэффициент жесткости трубной решетки по приложению Б [48]:

$$\eta_{M1} := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad \psi_0 := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{linterp}(\eta_T, \psi_0, 0.609)$$

$$\psi_0 = 0.313 \text{ МПа}$$

Диаметр отверстия в решетке, мм

$$d_0 := 25.7$$

Коэффициенты ослабления трубной решетки по приложению Б [48]:

$$\varphi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p}$$

$$\varphi_p := 1 - \frac{25.7}{32} = 0.197$$

$$d_E := d_0 - s_1$$

$$d_E := 25.7 - 2 = 23.7 \text{ мм}$$

Примем толщину стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем равной толщине стенки кожуха, мм

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		206

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_k

$$\alpha_k := 14 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Коэффициент линейного расширения материала труб при температуре t_t

$$\alpha_t := 13.2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$t_k := 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_t := 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_T := 1.25 \text{ МПа}$$

$$p_M := 1 \text{ МПа}$$

$$\eta_T := 0.609$$

Температура сборки аппарата

$$t_0 := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб по формуле 12 [48]:

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.281$$

Приведенное давление вычисляют по формуле 11[48]:

$$p_{11} := [\alpha_t \cdot (t_t - t_0) - \alpha_k \cdot (t_k - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 = -42.418$$

$$p_{22} := [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T = 3.636$$

$$p_{33} := [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M = 2.228$$

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} = -41.01 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения по формуле 13 [48]:

$$K_\Phi := K_{\Phi 1}$$

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\Phi \cdot R_1} = 0.881$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб определяют по табл.1 [48]

$$\omega := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_1 := \begin{pmatrix} 5.39 \\ 6.19 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 3.95)$$

$$\Phi_1 = 6.11$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		208

$$\omega := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_2 := \begin{pmatrix} 3.59 \\ 4.13 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 3.95)$$

$$\Phi_2 = 4.076$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_3 := \begin{pmatrix} 5.36 \\ 6.03 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 3.95)$$

$$\Phi_3 = 5.963$$

$$\omega := 3.95$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляются по формулам 14,15,16,17[48]:

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 2.728$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 32.197$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 11.119$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 7.826$$

По формулам 20,21,22 [48]:

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 263.3 \quad \text{мм}^2$$

Так как фланцы на кожухе одинаковые, примем, что коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца равен коэффициенту влияния давления на изгиб 1-го фланца

$$m_2 := m_1$$

Приведенное давление на фланцы равно:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\Phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = -0.041 \quad \text{МПа}$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют:

- для изгибающего момента по формуле 18 [48]:

$$M_n := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 5.102 \times 10^3 \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

- для перерезывающей силы по формуле 19 [48]:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -124.218 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

						Лист
						209
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_{\text{к}} := \pi \cdot D \cdot Q_{\text{к}} = 8.687 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

Принимаем трубную решетку, приваренную втавр к обечайке кожуха по [48]. Нагрузки на решетку представлены на рисунке 4. Расчетная схема решетки представлена на рисунке 5. Трубная решетка аппарата отмечена на рисунке 1 позицией номер 6.

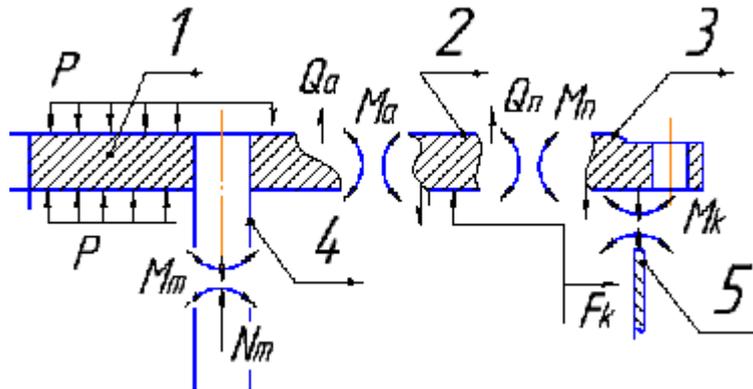


Рисунок 4 - Нагрузки на трубную решетку:

- 1 - центральная перфорированная часть; 2- кольцевая неперфорированная часть;
3 - фланец; 4 - трубы; 5 - корпус.

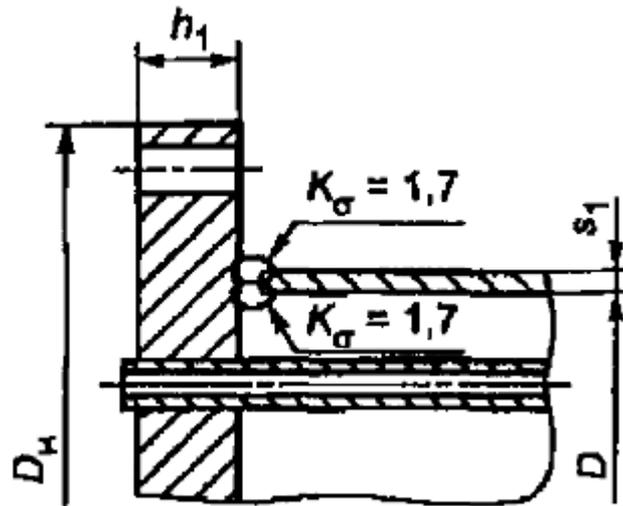


Рис. 5 - Расчетная схема трубной решетки

$$s_p := s_{\text{реш}}$$

Ширина тарелки фланца кожуха

$$b_1 := \frac{D_{\text{н}} - D}{2} = 60.5 \text{ мм}$$

$$s_p = 19 \text{ мм}$$

Принимаем толщину решетки в зоне кольцевой канавки равной толщине трубной решетки

					Лист
					ФЮРА.440001 ПЗ
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	211

$$s_{1p} := s_{\text{реш}}$$

$$s_{1p} = 19 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом

- изгибные по формуле 30 [48]:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 112.448 \text{ МПа}$$

- касательные по формуле 31 [52]:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 7.528 \text{ МПа}$$

При

$$-1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1$$

A - коэффициент, определяемый по табл. Г2 [48] в зависимости от ω и m_A

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -0.524$$

$$\omega = 3.95$$

$$A := 0.39$$

Максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки по формуле 34 [48]:

$$M_{\text{max}} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 2.049 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } |M_a| \geq M_{\text{max}} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров = "Условие выполняется"

Напряжения в перфорированной части трубной решетки

- изгибные по формуле 32 [48]:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\text{max}}}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 229.344 \text{ МПа}$$

- касательные по формуле 33 [48]:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 50.188 \text{ МПа}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке

- в меридиональном направлении по формулам 38,39 [48]:

мембранные

										Лист
										212
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ					

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = 69.562 \quad \text{МПа}$$

изгибные

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_1 - c)^2} = 367.389 \quad \text{МПа}$$

- в окружном направлении по формулам 40,41 [48]:

мембранные $\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{(s_1 - c)} = 31.8 \quad \text{МПа}$

изгибные $\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 110.217 \quad \text{МПа}$

Напряжения в трубах

- в осевом направлении по формулам 42,43 [48]:

мембран- $\sigma_{1r} := \frac{|N_r|}{\pi \cdot (d_r - s_r) \cdot s_r} = 67.579 \quad \text{МПа}$
ные

суммарные $\sigma_1 := \sigma_{1r} + \frac{d_r \cdot |M_r|}{2 \cdot J_r} = 678.097 \quad \text{МПа}$

- в окружном направлении по формуле 44 [48]:

$$\sigma_{2r} := \frac{(d_r - s_r) \max(|p_r|, |p_M|, |p_r - p_M|)}{2 \cdot s_r} = 7.188 \quad \text{МПа}$$

Расчет прочности кожуха

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке по формуле 53 [48]:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие статической прочности выполняется"

Проверка прочности и жесткости трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 12x18н10т при температуре 160 °С по [42]:

$$\sigma_{др} := 165 \text{ МПа}$$

Проверка статической прочности

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие статической прочности выполняется"

									Лист
									213
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

По таблице 2 [48] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетк

$$[W] := 11 \text{ мм}$$

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 1.359 \text{ мм}$$

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } W \leq [W] \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие выполняется"

Расчет труб на прочность и расчет крепления труб в решетке

Примем, что трубки крепятся в трубной решетке при помощи развальцовки. Расчетная схема крепления труб в трубной решетке представлена на рисунке 6.

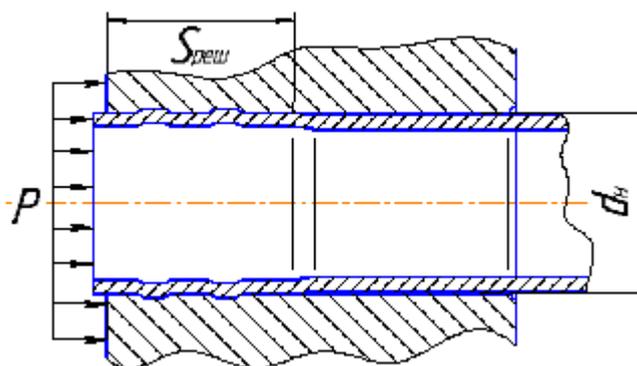


Рисунок 4.6 - Схема крепления труб в трубной решетке

Допускаемое напряжение для материала труб 12x18н10т при температуре 170 °С по [42]:

$$\sigma_{дт} := 165 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности труб:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие статической прочности выполняется"} & \text{if } (\max(\sigma_{1т}, \sigma_{2т}) \leq \sigma_{дт}) \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие статической прочности выполняется"

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [40], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [40] не проводится.

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если $N_t < 0$.

$$N_t = -9.766 \times 10^3 \text{ Н}$$

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой

Примем глубину развальцовки

$$l_b := 21 \text{ мм}$$

По приложению Е [42] для труб, завальцованных в пазы с двумя и более пазами:

										Лист
										214
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ					

$$[N]_{тр} := 0.8 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min(\sigma_{дт}, \sigma_{др}) = 1.908 \times 10^4 \text{ Н}$$

Условие крепления труб в трубной решетке

$$Prov := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (|N_T| \leq [N]_{тр}) \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Условие прочности выполняется"

Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [40], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [58] не проводится для обечайки, труб и трубной решетки.

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, болтов и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения.

Исходя из полученных данных, принят теплообменник типа 159ТКГ-1.6-М1

Для труб:

-проведена проверка статической прочности:

$$\max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{дт}$$

-проведена проверка крепления труб в трубной решетке:

$$|N_T| \leq [N]_{тр}$$

Для трубной решетки:

-проведена проверка статической прочности:

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др}$$

- величина прогиба трубной решетки:

$$W \leq [W]$$

- изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки

$$|M_a| \leq M_{max}$$

По произведенным расчетам можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает всем критериям надежности.

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		215

4.2.4 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки

Исходя из рекомендаций [56] примем крышку для теплообменного аппарата эллиптическую. Эллиптическая крышка изображена на рисунке 1 под номером 5. Расчетная схема крышка изображена на рисунке 7

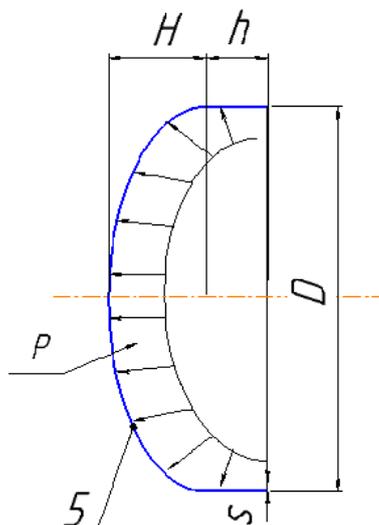


Рисунок 4.7 - Расчетная схема эллиптической крышки

Цель расчета толщины эллиптической крышки такая же, как и у расчета кожуха: определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и условиях испытания

Глубина крышки по табл 2 [4]

$$H := 0.25 \cdot D = 39.75 \text{ мм}$$

Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки по формуле 45 [43]:

$$R := D$$

$$R = 159 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки с внутренним диаметром равным

$$s_{1p} := \max \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0.5 \cdot P}, \frac{P_n \cdot R}{1.8 \cdot \varphi \cdot \sigma_n - 0.5 \cdot P_n} \right) = 0.609 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 42 [43]:

$$s_1 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 4 \text{ мм}$$

Принимаем

$$s_1 := 6 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности

Проверка условия прочности выполняются по формуле 44 [43]:

$$P_n := \frac{2 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 7.12 \text{ МПа}$$

						Лист
						216
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{\text{дн}} := \frac{1.8 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_H}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 10.68 \quad \text{МПа}$$

$$Prov1 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P < P_{\text{дн}} \\ & P < P_{\text{д}} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov1 = "Условие выполняется"

Принимаем по табл.2 [43] 2 эллиптические крышки типа Крышка 159-6-40-ГОСТ 6533-78

При толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность крышки как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

4.2.5 Проверка необходимости укрепления отверстий

В кожухотрубном теплообменнике имеются четыре отверстия под технологические штуцера. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла. Цель расчета необходимости укрепления отверстий заключается в определении предельного диаметра неукрепленного отверстия и сравнении его с расчетным диаметром отверстия. Если расчетный диаметр превышает предельный диаметр, то данное отверстие подлежит укреплению в целях компенсации возникающих напряжений в зоне отверстия. Укрепление следует производить по самому большому отверстию.

На рисунке 8 представлена расчетная схема укрепления отверстия.

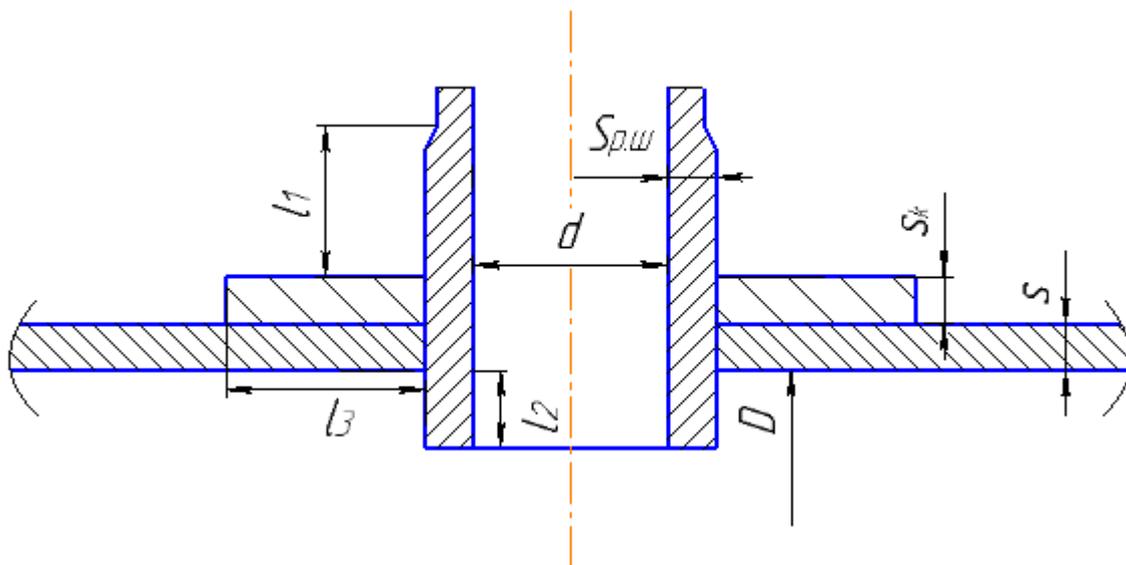


Рисунок 4.8 - Расчетная схема необходимости укрепления цилиндрической обечайки избыточной толщиной стенки штуцера и накладным кольцом

Исходные данные для проверки необходимости укрепления отверстий:

Внутренний диаметр аппарата, мм

$D := 149$

									Лист
									217
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

Марка стали	16ГС
Внутреннее расчетное давление, МПа	$P := 1.25$
Исполнительная толщина стенки оболочки, мм	$s_{\text{н.н.}} := 6$
Диаметр отверстия, мм	$d := 32$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c := 2$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, МПа	$\sigma_{\text{д}} := 163.8$
Допускаемое напряжение при 20 °С, МПа	$\sigma_{20} := 196$

Расчет параметров цилиндрической оболочки и штуцера

Расчетный диаметр аппарата вычисляется по формуле 3 [53]:

$$D_p := D = 149 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [53]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 36 \quad \text{мм}$$

Расчетная длина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца.

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляются по формуле:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 24.413 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 16 [53]:

$$s_{\text{р.н.}} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д}} - P} = 0.571 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера по [53]:

$$s_{\text{р.ш.}} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д}} - P} = 0.138 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера

$$s_o := \text{ceil}(s_{\text{р.ш.}} + c) = 3 \quad \text{мм}$$

Принимаем

$$s_{\text{р.ш.}} := 5 \quad \text{мм}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		218

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле 26 [53]:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 303.155 \text{ мм}$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий

провз := $\begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

провз = "НЕ требуется укрепление отверстий"

Отношения допускаемых напряжений по [53] стр 7:

для внешней части штуцера

$$\sigma_{д1} := \sigma_{д}$$

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}} \right) \chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$d_p = 36$$

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_{д}}{\sigma_{д}} \right) \chi_3 = 1$$

$$d_0 = 303.155$$

В связи с выполнением условия $d_p \leq d_0$ (36 мм > 303мм) проектного расчёта необходимости укрепления отверстия нет необходимости дополнительно укреплено накладным кольцом.

4.2.6 Расчет фланцевого соединения

Целью расчета фланцевого соединения является подбором такого типа фланца и прокладки, при которых выполняются условия герметизации фланцевого соединения и прочность в рабочих условиях и в условиях испытания. В качестве критериев надежности выступают прочность и герметичность.

Фланец изображен на рисунке 1 под номером 4. Расчетная схема фланца изображена на рисунке 9.

						Лист
						219
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

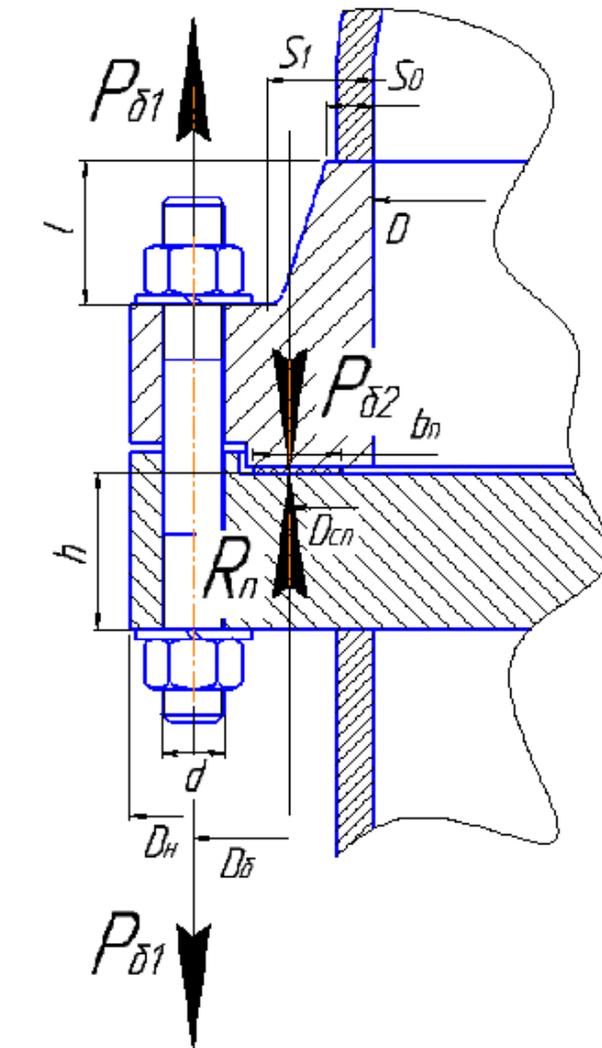


Рис. 4.9 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета фланцевого соединения:

$D := 159 \text{ мм}$

$P := 1.25 \text{ МПа}$

Число шпилек [47]:

$n := 8$

$c_0 := 2.5 \text{ мм}$

$t := 200 \text{ °C}$

$M := 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

$F_x := 0 \text{ Н}$

Для условных давлений среды 1.6 МПа согласно прил. А [55] рекомендуется применять фланцы с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина

Принимаем фланец типа 1 по табл.21.12 [47] с наружным диаметром равным:

$D_{\text{ф}} := 280 \text{ мм}$

С диаметром болтовой окружности равным:

					Лист
					220
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ

$$D_6 := 240 \text{ мм}$$

С диаметром шпильки равным:

$$d := 20 \text{ мм}$$

Принимаем:

Толщину фланца

$$h := 19 \text{ мм}$$

Меньшую толщину конической втулки

$$S_0 := 1 \text{ мм}$$

Большую толщину конической втулки

$$S_1 := 18 \text{ мм}$$

Длину конической втулки приварного встык фланца

$$l := 57 \text{ мм}$$

Выбираем прокладку типа Б по табл.4 [52] с наружным диаметром равным:

$$D_{\text{пр}} := 203 \text{ мм}$$

с шириной равной:

$$b_{\text{п}} := 21 \text{ мм}$$

с толщиной равной:

$$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [47] :

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал шпилек - сталь 25Х1МФ

Материал прокладки - паронит ПОН.

Основные расчетные значения

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по табл. В1 [55]

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{\phi} = 192 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- расчетная температура шпилек по табл. В1 [55]

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\sigma} = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ по табл Г1 [55]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 227 \\ 217 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.6}} := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\sigma})$$

$$\sigma_{\text{д.6}} = 220 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		221

Модуль упругости для шпилек из стали 25Х1МФ при расчетной температуре по табл Ж1 [55]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_6 := \begin{pmatrix} 2.12 \cdot 10^5 \\ 2.08 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_6 := \text{linterp}(t, E_6, t_6)$$

$$E_6 = 2.092 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20$ °С по табл Г [55]

$$\sigma_{206} := 238 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания 20 °С по табл Ж1 [55]

$$E_{206} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 25Х1МФ при $t = 20$ -200 °С по табл Ж2 [55]

$$\alpha_6 := 12.7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 16ГС по [55]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{linterp}(t, \sigma, t_\Phi)$$

$$\sigma = 165.96 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta_{л.} := 1$$

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma$$

$$\sigma_{д.ф} = 165.96 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 16ГС при расчетной температуре по [55]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.91 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{linterp}(t, E, t_\Phi)$$

$$E = 1.818 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t = 20$ °С по [42]

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{д20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания 20 °С по [42]

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

										Лист
										222
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ					

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 20 - 200$ °С по [42]

$$\alpha_{\text{л}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпилек из стали 25Х1МФ при $t = 20$ °С по табл Г1 [55]

$$\sigma_{\text{дбн}} := \sigma_{206} = 238 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [55]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий $K_{y.p.p} := 1$

- для условий испытания $K_{y.p.и} := 1.35$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{y.z} := 1$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций

$$K_{y.t} := 1.0$$

$$\sigma_{\text{дбн}} := \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_{\text{дбн}} = 285.6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{дбр}} := \xi \cdot K_{y.p.и} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_{\text{дбн}} = 385.56 \text{ МПа}$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [55]

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_n} = 17.414 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [55]

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = 185.586 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [55]

Прокладочный коэффициент

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия прокладки

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		223

$$K_{обж} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_n := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [55]

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 1.015 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [55]

$$R_n := \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 3.173 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил.Д [55]

$$f_6 := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [55]

$$A_6 := n \cdot f_6 = 1.8 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [55]

$$Q_n := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сш}^2 \cdot P = 3.381 \times 10^4 \text{ Н}$$

Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [55]

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{обж}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_n} = 7.351 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек принимаем

$$L_{60} := 110 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [55]

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 121.2 \text{ мм}$$

Податливость болтов по формуле К.2 [55]

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 3.132 \times 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [55]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 12.61 \text{ мм}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		224

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [55]

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.761$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [55]

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.599$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 3.963$$

$$\beta_V := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 3.633$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 1.952$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [55]

$$\beta_F := 0.67$$

$$\beta_V := 0.12$$

$$f := 1.2$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 18$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 4.52$$

- коэффициент λ по формуле К.11 [55]

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 17.729$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [55]

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 2.455 \times 10^{-9} \quad \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [55]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		225

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1.099$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [55] при

$$D \geq 20 \cdot S_1$$

$$D_{пр} := D$$

Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [55]

$$b := 0.5(D_6 - D_{сн}) = 27.207 \quad \text{мм}$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [55]

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 9.289$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [55]

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 9.289 \quad \text{мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [55]

$$e := 0.5 \cdot (D_{сн} - D - S_3) = 8.648 \quad \text{мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [55]

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 2.287 \times 10^5 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [55]

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_\phi \cdot b}{y_n + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_\phi} = 1.269$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [55]

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_\phi \cdot h \cdot (t_\phi - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] = 2.278 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

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

										Лист
										226
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [55]

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 5.125 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [23]

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6p} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 5.242 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [55]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 7.567 \text{ МПа}$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 9.081 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [55]

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 11.798 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 301.346 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 по формуле 34 [55]

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 7.741 \text{ МПа}$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 по формуле 35 [55]

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 9.289 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		228

Вывод: определили геометрические размеры фланцевого соединения ($D_n=1130$ мм; $D_o=1090$ мм; $h=48$ мм), а так же размеры ($d=20$ мм; $l_b=125$ мм) и количество шпилек ($n= 40$ штук). Условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются. Условие поворота плоского фланца выполняется. Условие прочности прокладки выполняется. Условие прочности выполняется.

4.2.7 Расчет массы аппарата

Исходные данные для расчета массы аппарата

Наружный диаметр корпуса, м	$D_n := 0.159$
Внутренний диаметр аппарата, м	$D_{вк} := 0.149$
Внутренний диаметр крышки, м	$D_{кр} := 0.149$
Внутренний диаметр труб, м	$D_{вт} := 0.021$
Наружный диаметр труб, м	$D_{нт} := 0.025$
Плотность среды, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_c := 6.2$
Толщина стенок труб, м	$s_{тт} := 0.002$
Толщина стенки корпуса, м	$s_{корп} := 0.005$
Прибавка на коррозию, м	$c := 0.0025$
Длина корпуса, м	$L_{корп} := 2.7$
Длина труб, м	$L_{труб} := 2$
Длина распределительной камеры, м	$L_k := 0.25$
Количество труб, м	$n := 13$
Ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$g := 9.81$
Плотность стали, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{мет} := 7850$
Толщина трубной решетки, м	$s_{тр} := 0.019$
Диаметр трубной решетки, м	$D_{т.р1} := 0.146$

Вес корпуса аппарата:

$$G_{корп} := \pi \cdot \left(\frac{D_n^2 - D_{вк}^2}{4} \right) \cdot L_{корп} \cdot \rho_{мет} \cdot g = 502.971 \quad \text{Н}$$

Вес распределительной камеры аппарата:

$$G_{кам} := \pi \cdot \left(\frac{D_n^2 - D_{вк}^2}{4} \right) \cdot L_k \cdot \rho_{мет} \cdot g = 46.571 \quad \text{Н}$$

						ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			232

Вес трубного пучка:

$$G_{\text{труб.п}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{нт}}^2 - D_{\text{вт}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot n = 289.347 \quad \text{Н}$$

Вес трубной решетки:

$$G_{\text{труб.р}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{т.р1}}^2 - n \cdot D_{\text{нт}}^2}{4} \right) \cdot s_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 15.159 \quad \text{Н}$$

По (12) вес эллиптической крышки:

$$G_{\text{э.к.}} := 6.3 \quad \text{кг}$$

Вес пустого аппарата:

Принимаем, что фланцы, патрубки и пр. составляют 30% массы аппарата

$$G_{\text{ап1}} := (2G_{\text{э.к.}} + 2G_{\text{труб.р}} + G_{\text{корп}} + G_{\text{кам}} + G_{\text{труб.п}}) \cdot 1.3 = 1.146 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{жид1}} := \left[\pi \cdot \frac{D_{\text{вк}}^2}{4} \cdot (L_{\text{корп}} + L_{\text{к}}) \right] \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g = 3.129 \quad \text{Н}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 1.149 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F_{\text{св}} := G_{\text{ап2}} = 1.149 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F1 := \frac{F}{1000000} = 1.149 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

4.2.8 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		233

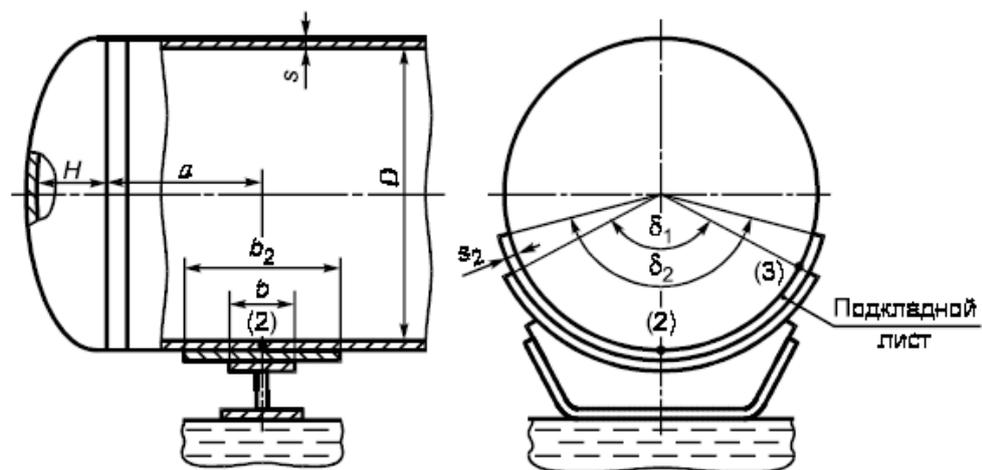


Рис. 4.10 Седловые опоры

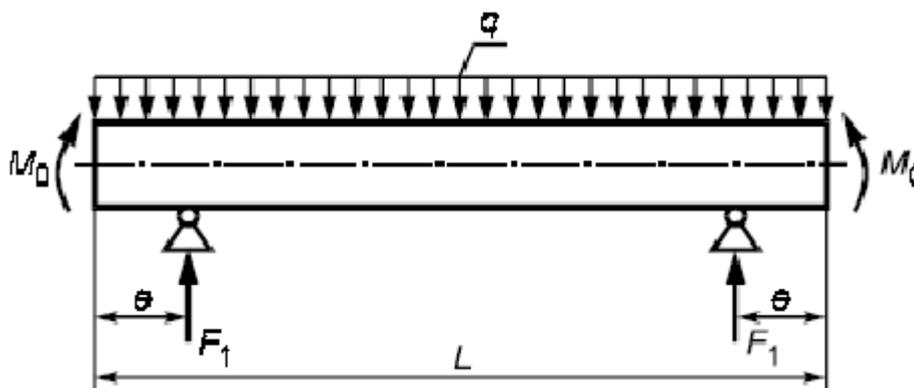
Исходные данные:

Аппарат изготовлен из стали 16ГС

- $\rho := 7850$ плотность материала, кг/м³
- $H := 40$ высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;
- $L := 2800$ длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;
- $D := 149$ внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;
- $p_{\text{раб}} := 1.25$ внутреннее избыточное или наружное давление, МПа
- $\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;
- $E := 1.77 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа
- $b := 180$ ширина седловой опоры, мм;
- $s_2 := 10$ исполнительная толщина подкладного листа, мм;
- $b_2 := 120$ ширина подкладного листа, мм;
- $\sigma_t := 146$ допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_T := 325$ предел текучести при расчетной температуре, МПа;
- $\sigma_{20} := 180$ допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;
- $a := 600$ длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;
- $e := a + H$ длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;
- $t_{\text{раб}} := 160$ рабочая температура в аппарате, °С;
- $c := 2$ сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;
- $\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$ угол охвата седловой опоры, °;

- $\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$ угол охвата сосуда подкладным листом, °
 $d_E := 21$ Внутренний диаметр труб, мм
 $d_H := 25$ Наружный диаметр труб, мм
 $L_{\text{тр}} := 2000$ Длина труб, мм
 $i_{\lambda} := 13$ Число труб

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения, симметрично опёртый на две опоры.



4.11 Расчётная схема цилиндрического сосуда постоянного сечения, симметрично опёртый на две опоры.

Выберите условие нагружения:

z := Внутреннее давление
 Наружное давление

Выберите условие работы аппарата:

o := Рабочие условия
 Условия испытаний

Расчётные данные:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{\text{раб}}, 20) & \text{if } o = 1 \\ 20 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$t = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчётной температуре:

Принимаем по ГОСТ 34233.1-2017 при расчётной температуре $t = 233 \text{ } ^\circ\text{C}$

					Лист
					235
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

$$p_v := \begin{cases} 0 & \text{if } z = 1 \\ p & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка2 = "Условие устойчивости выполняется."

Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma_w := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}}$$

$$\gamma = 2.952$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}}$$

$$\beta_1 = 4.243$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла.

$$\sigma_{\text{max}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.696 \text{ МПа}$$

Выберите вид обечайки:

u :=

Цилиндрическая обечайка без подкладных л
 Цилиндрическая обечайка с подкладными л

$$w := \begin{cases} s - c & \text{if } u = 1 \\ (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$b := \begin{cases} b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

239

$$\delta := \begin{cases} \delta_1 & \text{if } u = 1 \\ \delta_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

F_{d2} - допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении.

F_{d3} - допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении

Предельные напряжения изгиба σ_{i2} , σ_{i3} :

Коэффициенты для определения $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$

$$K_2 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.25$$

K_{10} - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right)$$

$$K_{10} = 0.25$$

K_{12} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)}$$

$$K_{12} = 0.982$$

K_{14} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)}$$

$$K_{14} = 0.634$$

K_{16} - коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}}$$

$$K_{16} = 0.999$$

K_{17} - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)}$$

$$K_{13} = 0.346$$

					<i>Лист</i>
					240
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	

ФЮРА.440001 ПЗ

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122})$$

$$K_{1,2} = 0.684$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123})$$

$$K_{1,3} = 0.717$$

$$\sigma_{i2} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_{i2} = 124.846 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_{i3} = 130.913 \text{ МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}}$$

$$F_{d2} = 1.375 \times 10^5$$

Н

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}}$$

$$F_{d3} = 3.4 \times 10^5$$

Н

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q}{Q_d} \right)^2 \leq 1$$

где F_e - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15}$$

$$F_e = 894.147 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		242

$s_5 := 50$ ширина участка кольца жесткости у стенки обечайки, мм;

$K_{18} := 33$

Эффективная несущая толщина стенки сосуда:

$$s_e := (s - c) \cdot \left[1 - \frac{p_d \cdot D}{2(s - c) \cdot \sigma_d} \right] \cdot \frac{\sigma_d}{\sigma_d}$$

$s_e = -0.757$ мм

Эффективная несущая длина стенки сосуда:

$$l_e := t_k + 4\sqrt{D \cdot (s - c)}$$

$l_e = 219.402$ мм

Выбор профиля кольца по таблице:

n :=

Прямоугольный
T-образный
Π-образный

Расстояние между стенкой сосуда и нейтральной осью кольца жесткости:

$$e_4 := \begin{cases} \frac{t_k \cdot h - l_e \cdot s_e}{2t_k} & \text{if } n = 1 \\ \frac{b_4 \cdot s_5 + h \cdot s_4 - l_e \cdot s_e}{2s_4} & \text{if } n = 2 \\ \frac{h \cdot 1 - l_e \cdot s_e}{2s_4} & \text{if } n = 3 \\ 0 & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$e_4 = 46.277$ мм

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_T := \begin{cases} 0.5 \cdot \left[t \cdot (h - e_4)^2 + t \cdot e_4^2 + (2e_4 + s_e) \cdot l_e \cdot s_e \right] \cdot \sigma_d & \text{if } n = 1 \\ 0.5 \left[s_4 \cdot e_4^2 + (2h - 2e_4 + s_5)b_4 \cdot s_5 + s_4 \cdot (h - e_4)^2 + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e \right] \cdot \sigma_d & \text{if } n = 2 \\ 0.5 \left[e_4 \cdot (h - e_4)^2 + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e + 2t \cdot s_5 \cdot (h - s_5) \right] \cdot \sigma_d & \text{if } n = 3 \\ W_p \cdot \sigma_d & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$M_T = 4.623 \times 10^7$ Н · мм

Проверка на прочность кольца жесткости:

$$\text{Пров}_7 := \begin{cases} \text{"Проверка на прочность выполняется"} & \text{if } F_1 \leq \frac{K_{18} \cdot M_T \cdot \phi}{(0.5D - e_4)} \\ \text{"Проверка на прочность НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_7 = "Проверка на прочность выполняется"

Таким образом, подбираем седловую опору для сосудов и аппаратов диаметром 159 мм, согласно табл. 29.12 [47]

									Лист
									244
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.440001 ПЗ				

По расчетам, произведенным в данном разделе, можно сделать вывод, что выбранные седловые опоры не оказывают на обечайку аппарата воздействий, которые могли бы привести к потере прочности и устойчивости теплообменника.

4.2.9 Требования к проектированию конструкции по [57]:

Требования к проектированию конструкции по [57]:

По принимаем максимальное расстояние между поперечными перегородками трубного пучка при наружном диаметре стальных теплообменных труб 25 мм

$$\Lambda := 800 \text{ мм}$$

По таблице 2 принимаем минимальную толщину поперечных перегородок трубного пучка для внутреннего диаметра кожуха 159 мм при расстоянии между ними 800 мм:

$$\psi_{\text{min}} := 3 \text{ мм}$$

По таблице 4 определяем диаметры поперечных перегородок трубного пучка для внутреннего диаметра кожуха 159 мм

$$d_{\text{min}} := 146 \text{ мм}$$

По таблице 9 принимаем диаметр и минимальное число стяжек при внутреннем диаметре кожуха 159 мм:

$$d_c := 12 \text{ мм}$$

$$N_c := 4$$

Принимаем прокладку по [52]



Рис.4.13 - Прокладка из паронита

Внешний диаметр прокладки:

$$D_1 := 203 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр прокладки:

$$d := 161 \text{ мм}$$

Ширина прокладки:

$$\frac{D_1}{2} - \frac{d}{2} = 21 \text{ мм}$$

4.2.10 Ушки для строповки крышек

Ушки для строповки крышек принимаем по табл. 30.3 [47]

					ФЮРА.440001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		245

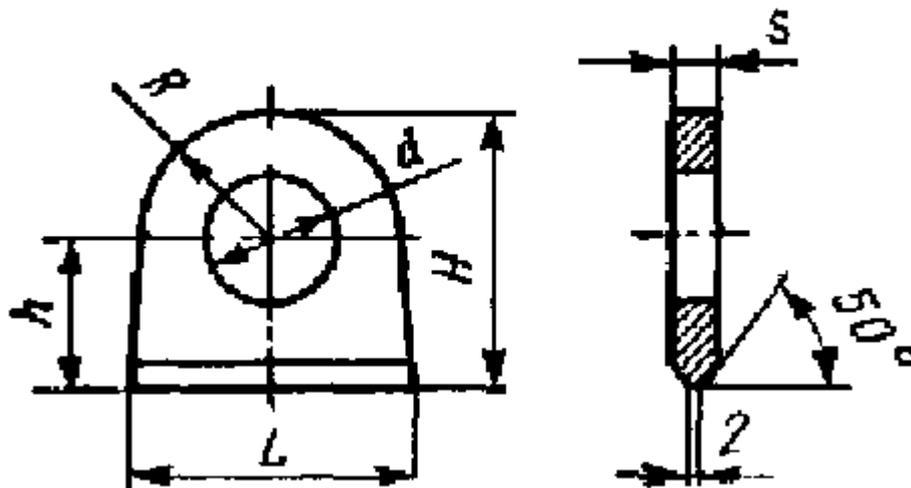


Рис.4.14 - Ушко 3-2-1-150 ВСтЗсп5 ГОСТ 13716-73

Грузоподъемность ушки

- G := 1т
- L := 125мм
- H := 86мм
- h := 46мм
- d := 76мм
- R := 38мм
- s := 5мм

4.2.3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы был подобран и рассчитан стандартный теплообменник 159ТКГ-1.6-М1. Так же были подобраны опоры (в количестве 2 штук)

Характеристика аппарата представлена в таблице 4.7:

Таблица 4.7

Толщина стенки цилиндрического кожуха, мм	5
Толщина стенки эллиптической крышки, мм	5
Толщина стенки труб, мм	2
Диаметр труб, мм	25
Наружный диаметр фланца, мм	280
Диаметр болтовой окружности, мм	240
Количество болтов, мм	8
Толщина фланца, мм	19
Количество труб, шт	13

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.440001 ПЗ

Лист

246