

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 **18.03.01 Химическая технология**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ПРОЕКТ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ

УДК 66.045.1:628.1.034

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г

**Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01 «Химическая технология»
выпуска 2021 г.**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способность воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способность поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способность создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Дополнительная универсальная компетенция университета	
УК(У)-9	Способность проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

Код компетенции	Наименование компетенции
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)-21	Готовность разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способность проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива
Дополнительная компетенция университета	
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий** Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера** Направление

подготовки **18.03.01 Химическая технология**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Зарубайко Евгению Евгеньевичу

Тема работы:

Проект теплообменника для подогрева технической воды	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021 №29-63/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <small>(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.).</small>	Проект теплообменного аппарата Расход воды - 40 м ³ /час; Давление пара – 0,2 МПа Начальная температура воды - 3°С; Конечная температура воды -60°С;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в</small>	Введение Обзор литературы Технологический расчет

рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Гидравлический расчет Выбор конструкционных материалов Механический расчет Финансовый менеджмент; ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение Список использованных источников
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Технологическая схема 2. Теплообменник. Вид общий 3. Выносные элементы теплообменника
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Трубоченко Т.Г
Социальная ответственность	Старший преподаватель Скачкова Лариса Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.04.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		24.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич		24.04.2021

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 93 страницы машинописного текста, 14 рисунков, 29 таблиц, 28 источников литературы, 3 листа графического материала формата А1.

Выпускная квалификационная работа «Проект теплообменника для подогрева технической воды».

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменник, неподвижные трубные решетки, двухходовой, пар.

Объектом является кожухотрубный теплообменник для конденсации водяного пара.

Цель работы – рассчитать аппарат для заданных условий.

При расчёте был подобран аппарат, а так же проведены расчёты для определения типа и размеров.

Результат - расчет теплообменного аппарата, подобран материал изготовления, рассчитаны основные узлы.

Характеристики теплообменника: диаметр кожуха 600 мм, длина труб 300 мм, с неподвижной трубной решеткой, двухходовой, горизонтальный.

Степень внедрения: производство анозита.

Область применения: химическая промышленность.

Теплообменник соответствует всем требованиям технологического процесса.

Abstract

The diploma project consists of an explanatory note containing 93 typewritten pages, 14 figures, 29 tables, 28 literature sources, 3 sheets of A1 format graphic material.

Final qualification work "Project of a heat exchanger for heating service water".

Key words: shell-and-tube heat exchanger, fixed tube sheets, two-way, steam.

The object is a shell-and-tube heat exchanger for condensing water vapor.

The purpose of the work is to calculate the apparatus for the given conditions.

During the calculation, the device was selected, as well as calculations were carried out to determine the type and size.

The result is the calculation of the heat exchanger, the material of manufacture is selected, the main units are calculated.

Heat exchanger characteristics: shell diameter 600 mm, tube length 300 mm, with a fixed tube sheet, two-way, horizontal.

Implementation degree: production of anosite.

Application: chemical industry.

The heat exchanger meets all the requirements of the technological process.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ	11
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА	14
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	15
3.1 Определение поверхности теплообмена.....	15
3.1.1 Исходные данные:.....	15
3.1.2 Расчет расходов теплоносителей.....	16
3.1.3 Коэффициент теплоотдачи воды.....	18
4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ АППАРАТА.....	22
5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	24
5.1 Выбор конструкционных материалов и расчетные параметры	24
5.2 Расчет толщины цилиндрической обечайки	26
5.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища.....	29
5.4 Расчет температурных деформаций.....	31
5.5 Расчет толщины трубных решеток.....	32
5.6 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений	33
5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий	43
5.8 Поверочный расчет	45
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	64
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	78
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	90

ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемая часть любого технологического процесса получения химических продуктов – теплообменные процессы (нагревание, охлаждение, испарение, конденсация). Аппараты или устройства, в которых происходит передача теплоты от одного теплоносителя к другому, называют теплообменниками.

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагревания или охлаждения технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Удельный вес теплообменного оборудования на предприятиях химической промышленности составляет в среднем 15–18 %, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 50 %. Значительный объем теплообменного оборудования на химических предприятиях объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты.

К современному подогревателю применяются следующие требования:

1. Простота, компактность, надежность и технологичность конструкции с точки зрения удобства и дешевизны изготовления, монтажа, эксплуатации и ремонта; стандартизация узлов и деталей; правильный выбор допусков.

2. Механическая надежность: прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и долговечность.

3. Обеспечение требуемого технологического режима:

а) непрерывность процесса;

б) соблюдение требуемых параметров;

в) получение продукта требуемого качества;

г) устойчивость работы при небольших колебаниях в производстве;

д) наиболее длительная работа между остановками на ремонт; е) удобство обслуживания;

ж) хорошая регулировка и возможность контроля работы;

з) механизация и автоматизация процесса;

и) высокий КПД.

					ФЮРА.065112.001.ПЗ			
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	ВВЕДЕНИЕ	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Зарубайко Е.Е					9	93
Пров.		Тихонов В.В						
Консульт.								
Н. контр.								
Рук ООП								
						НОЦ им Н.А Кижнера Гр 3-4Г61		

4. Интенсификация процесса, малый вес, малый расход мощности, невысокая стоимость, возможность изготовления аппарата из недефицитных материалов, стойкость против коррозии.

5. Безопасность обслуживания.

6. Минимальная стоимость проектирования, изготовления и эксплуатации, удобство перевозки.

7. Соответствие конструкции требованиям Ростехнадзора.

Цель данной работы – проектирование теплообменного аппарата для нагрева промывочной технической воды ФКП «Анозит», расположенный в г. Куйбышев Новосибирской области. Для достижения поставленной в работе цели, необходимо решить следующие основные задачи:

- провести литературный обзор по теме работы;
- охарактеризовать объект исследования;
- провести технологические и конструктивные расчеты проектируемого теплообменника;
- рассмотреть вопросы социальной ответственности, финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Объектом исследования в данной работе является теплообменник для охлаждения воздуха после компримирования.

Предмет исследования – технологические и конструктивные характеристики аппарата.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Схема теплообменника с неподвижными трубными решетками приведена на рисунке 1.1. В кожухе 1 размещен трубный пучок, теплообменные трубы 2 которого развальцованы в трубных решетках 3. Трубная решетка жестко соединена с кожухом. С торцов кожух аппарата закрыт распределительными камерами 4 и 5. Кожух и камеры соединены фланцами.

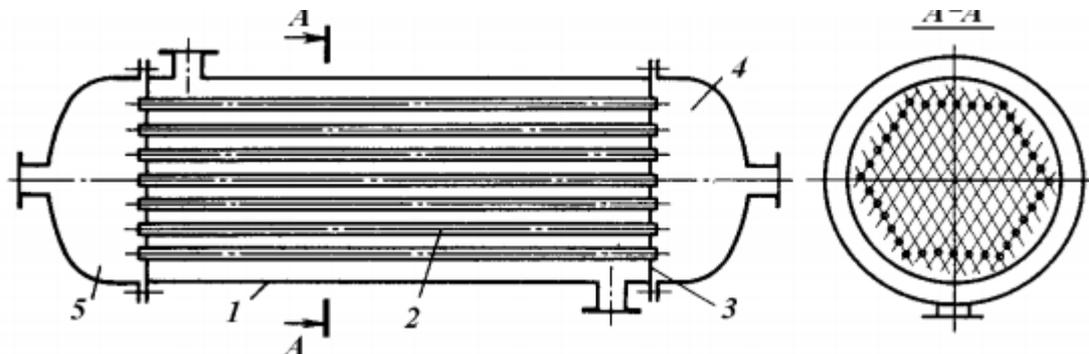


Рисунок 1.1 - Теплообменник с неподвижной трубной решеткой

Для подвода и отвода рабочих сред (теплоносителей) аппарат снабжен штуцерами. Один из теплоносителей в этих аппаратах движется по трубам, другой – в межтрубном пространстве, ограниченном кожухом и наружной поверхностью труб. Особенностью аппаратов типа Н является то, что трубы жестко соединены с трубными решетками, а решетки приварены к кожуху. В связи с этим исключена возможность взаимных перемещений труб и кожуха, поэтому аппараты этого типа называют теплообменниками жесткой конструкции.

Промышленностью выпускаются двух-, четырех- и шестиходовые теплообменники жесткой конструкции. Двухходовой горизонтальный теплообменник типа Н (рисунок 1.2) состоит из цилиндрического сварного кожуха 8, распределительной камеры 11 и двух крышек 4. Трубный пучок образован трубами 7, закрепленными в двух трубных решетках 3, которые приварены к кожуху. Крышки, распределительная камера и кожух соединены фланцами. В крышке и распределительной камере выполнены штуцера для ввода и вывода теплоносителей из трубного (1, 12) и межтрубного (2, 10) пространства. Перегородка 13 образует ходы теплоносителя по трубам. Для герметизации узла перегородки с трубной решеткой использована прокладка 14, уложенная в паз решетки 3.

ФЮРА.065112.001.ПЗ

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Зарубайко Е.Е			Обзор литературы по теме	Лит	Лист	Листов
Пров.		Тихонов В.В					11	93
Консульт						НОЦ им Н.А Кижнера Гр 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук ООП								

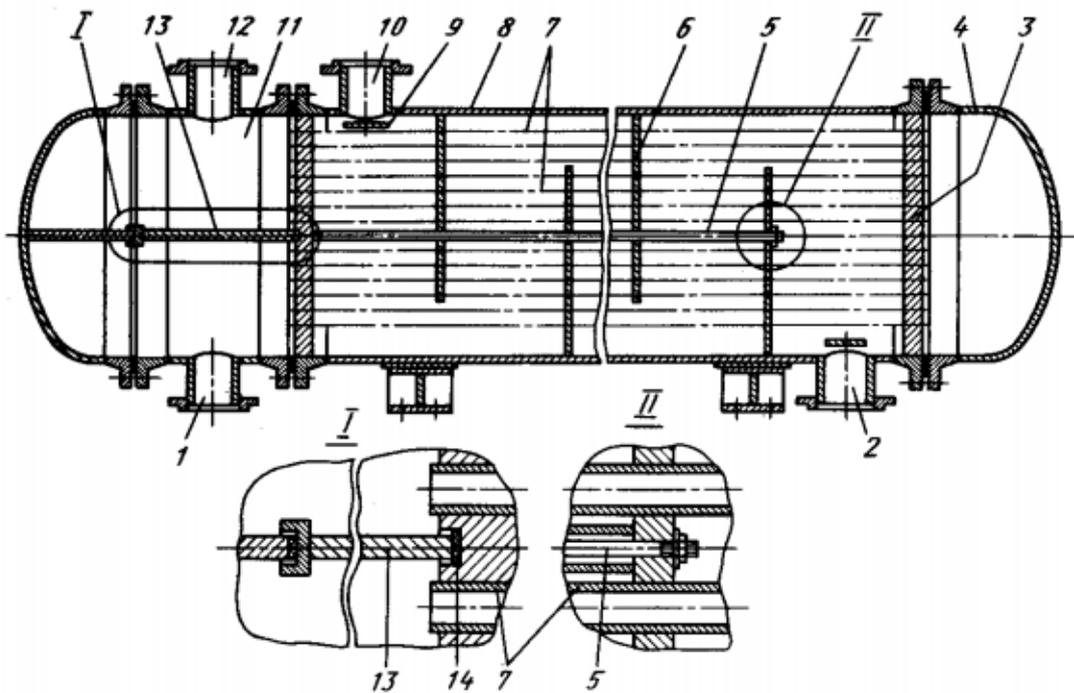


Рисунок 1.2 - Двухходовой горизонтальный теплообменник с неподвижными решетками

Для увеличения теплоотдачи в межтрубном пространстве установлены поперечные перегородки 6, зафиксированные стяжками 5, обеспечивающие зигзагообразное по длине аппарата движение теплоносителя в межтрубном пространстве. На входе теплообменной среды в межтрубное пространство предусмотрен отбойник 9 – круглая или прямоугольная пластина, предохраняющая трубы от местного эрозионного изнашивания.

Теплообменники типа Н отличаются простым устройством и сравнительно дешевы, однако им присущи два крупных недостатка.

Во-первых, наружная поверхность труб не может быть очищена от загрязнений механическим способом. Слой отложений или накипи на поверхности труб имеет малый коэффициент теплопроводности и способен существенно ухудшать теплопередачу в аппарате.

Во-вторых, область применения ТА типа Н ограничена возникновением в кожухе и трубах аппарата температурных напряжений. Это явление объясняется тем, что кожух и трубы ТА при его работе претерпевают разные температурные деформации, т.к. температура кожуха

близка к температуре теплоносителя, циркулирующего в межтрубном пространстве, а температура труб – к температуре теплоносителя с большим коэффициентом теплоотдачи. Разность температурных удлинений возрастает, если кожух и трубки изготовлены из материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения.

Возникающие при этом напряжения могут вызвать устойчивые деформации и даже разрушение конструкции.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.065112.001.ПЗ

Лист

12

По этой причине ТА типа Н используют при небольшой разности температур (менее 50 °С) кожуха и труб, при этом возможна самокомпенсация конструкции. Однако серийно выпускаемые ТА рекомендованы для работы при еще меньшей разности температур (менее 30 °С).

Для исключения значительных температурных напряжений при пуске аппаратов типа Н сначала направляют теплообменную среду в межтрубное пространство для выравнивания температур кожуха и труб, а затем вводят среду в трубы. Если расчетная разность температур кожуха и труб превышает указанную, то используют ТА с частичной (тип К) или полной (тип У или П) компенсацией температурных напряжений.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Техническая вода с дамбы нагревается через теплообменник и поступает в ёмкость приёмник. Затем насосом подаётся на мойку для промывки мешков от остатков перхлората амония. Мешки промываются затем складироваются и вывозятся на утилизацию. А стоки на переработку.

Технологическая схема представлена на рисунке 2.1

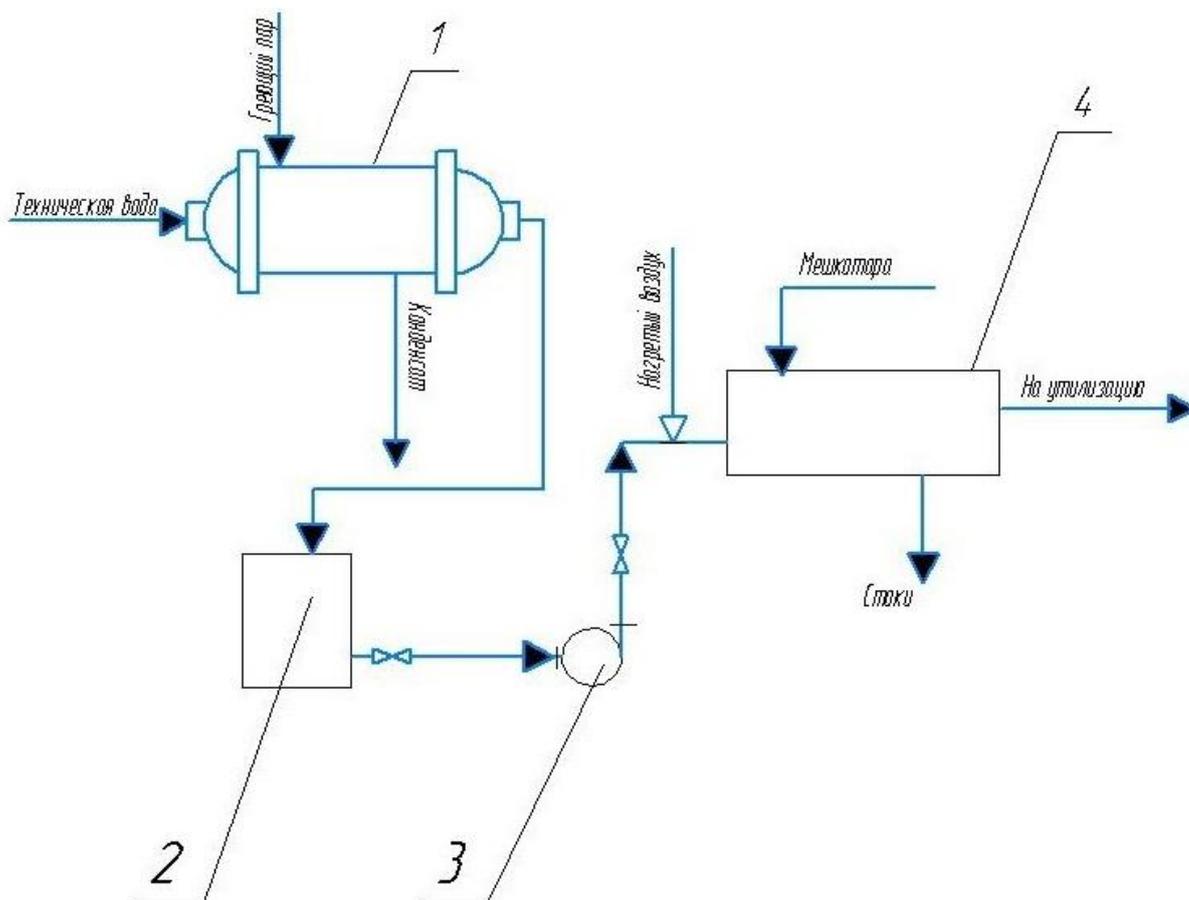


Рисунок 2.1 –Технологическая схема подогрева воды

					ФЮРА.065112.001.ПЗ					
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА					
Разраб.	Зарубайко Е.Е							<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Пров.	Тихонов В.В								14	93
Консульт								НОЦ им Н.А Кижнера Гр 3-4Г61		
Н. контр.										
Рук ООП										

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

3.1 Определение поверхности теплообмена

В соответствии с методикой, изложенной в “Глава 4. Теплопередача в химической аппаратуре” [1], производится определение поверхности теплообмена.

3.1.1 Исходные данные:

(индекс 1 – греющий пар; 2 – вода)

$G_2 = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ -Расход воды;

$t_{2Н} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ - Начальная температура воды;

$t_{2К} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ - Конечная температура воды;

$P_1 = 0,2 \text{ МПа}$ –давление пара в подогревателе;

$P_2 = 0,15 \text{ МПа}$ – Рабочее давление воды;

Определим температуру насыщения пара в подогревателе по таблицам щелочи и водяного пара:

$$t_s = 133,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Средний температурный напор:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}\right)} = \frac{130,5 - 73,5}{\ln\left(\frac{130,5}{73,5}\right)} = 99,3 \text{ }^\circ\text{C},$$

где $\Delta t_B = t_s - t_{2Н} = 133,5 - 3 = 130,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – больший температурный напор;

$\Delta t_M = t_s - t_{2К} = 133,5 - 60 = 73,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – меньший температурный напор.

Средняя температура воды:

$$t_{2cp} = \frac{t_{2Н} + t_{2К}}{2} = \frac{60 + 3}{2} = 31,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

					ФЮРА.065112.001.ПЗ			
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	Лит	Лист	Листов
Разраб.	Зарубайко Е.Е						15	93
Пров.	Тихонов В.В							
Консульт.								
Н. контр.								
Рук ООП						НОЦ им Н.А Кижнера Гр 3-4Г61		

Эти температуры нужны для определения теплофизических свойств веществ, участвующих в процессе.

Выбор значений теплофизических свойств теплоносителей

По таблицам воды и водяного пара определяем параметры пара и воды:

$$\rho_1 = f(P_1) = 931,8, \text{ кг/м}^3 - \text{плотность конденсата};$$

$$\rho_2 = f(P_2, t_{2CP}) = 995,3, \text{ кг/м}^3 - \text{плотность воды};$$

$$C_{p2} = f(P_2, t_{2CP}) = 4,179 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} - \text{удельная теплоёмкость воды};$$

$$\mu_1 = f(P_1) = 2,068 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с} - \text{коэффициент динамической вязкости конденсата};$$

$$\mu_2 = f(P_2, t_{2CP}) = 7,725 \cdot 10^{-4}, \text{ Па}\cdot\text{с} - \text{коэффициент динамической вязкости воды}$$

$$\lambda_K = f(P_1) = 0,6849, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} - \text{коэффициент теплопроводности конденсата}$$

$$\lambda_2 = f(P_2, t_{2CP}) = 0,6172, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} - \text{коэффициент теплопроводности воды};$$

$$Pr_1 = f(P_1) = 0,686 - \text{критерий Прандтля для конденсата};$$

$$Pr_2 = f(P_2, t_{2CP}) = 5,231 - \text{критерий Прандтля для воды};$$

3.1.2 Расчет расходов теплоносителей

Переведем расход воды из м³/ч в кг/с:

$$G_2 = \frac{G_2 \cdot \rho_2}{3600} = \frac{40 \cdot 995,3}{3600} = 11,06 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем тепловую нагрузку (количество теплоты, необходимое для нагрева воды) по формуле 3.8[2]:

$$Q = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2K} - t_{1H}) = 11,06 \cdot 4179 \cdot (60 - 3) = 2634,5 \text{ кВт}.$$

Рассчитаем расход пара

$$G_1 = \frac{Q}{r} = \frac{2634,5}{2163} = 1,22 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

Где, $r = f(P_1) = 2163$ кДж/кг – теплота парообразования;

Предварительный расчет ориентировочной поверхности теплообмена

Поверхность теплообмена рассчитывается по формуле 1.5[2]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

где Q – тепловая нагрузка, кВт;

Δt_{cp} – средняя разность температур, К.

По таблице 4.8 [1] определяем ориентировочные значения коэффициента теплопередачи:

$K_{op} = 300 - 1200$ Вт/(м²·К) – ориентировочное значение коэффициента теплопередачи от конденсирующегося пара к воде в таблице 4.8[1].

$$K_{min} = 300 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$$K_{max} = 1200 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$$F_{min} = \frac{Q}{K_{max} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2634,5 \cdot 1000}{300 \cdot 99,3} = 88,4 \text{ м}^2$$

$$F_{max} = \frac{Q}{K_{min} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2634,5 \cdot 1000}{1200 \cdot 99,3} = 22,1 \text{ м}^2$$

Для обеспечения турбулентного режима зададимся числом Рейнольдса равным 12000. В качестве теплопередающих элементов принимаем стальные трубы диаметром 25 x 2 мм ($d_B = 21$ мм).

Объёмный расход воды [1, стр. 16]:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{11,06}{995,3} = 0,011 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Рассчитаем скорость воды в трубках

$$w_2 = \frac{Re \cdot \mu_2}{d \cdot \rho_2} = \frac{12000 \cdot 7,725 \cdot 10^{-4}}{0,021 \cdot 995,3} = 0,443 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определим сечение трубок одного хода:

$$S_{TR} = \frac{V_2}{w_2} = \frac{0,011}{0,443} = 0,0248 \text{ м}^2.$$

Предварительно выбираем стандартный теплообменник типа КН или КК по [25, стр 33] с параметрами:

внутренний диаметр $D = 600$ мм;

поверхность теплообмена $F = 55,81$ м²;

длина труб $L = 3000$ мм;

число ходов $z = 2$;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

проходное сечение одного хода по трубам $S_T = 0,0377 \text{ м}^2$;

Определим значение средней скорости потока по уравнению неразрывности потока:

$$w_2 = \frac{V_2}{S_{TP}} = \frac{0,011}{0,0377} = 0,292 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

где $S_{TP} = 0,0377 \text{ м}^2$ – площадь проходного сечения в трубном пространстве. [25, стр. 33]

3.1.3 Коэффициент теплоотдачи воды

Определение коэффициента теплоотдачи a_2 для воды (трубное пространство).

Определим режим движения в трубном пространстве.

Для этого вычислим значение критерия Рейнольдса [1, стр. 16]:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_{BH} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,292 \cdot 0,021 \cdot 995,3}{7,725 \cdot 10^{-4}} = 7900,$$

где ρ_2 – плотность воды, при средней температуре, кг/м^3 [1, стр. 512];

μ_2 – динамическая вязкость воды, при средней температуре, $\text{Па} \cdot \text{с}$ [1, стр. 515];

При $2300 < Re < 10000$ Критерий Нуссельта определяется с запасом по рисунку 4.1 [1]:

$$\frac{Nu_2}{Pr_2^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{CT}}\right)^{0,25}} = 28,5$$
$$Nu_{2P} = 28,5 \cdot 5,231^{0,43} \cdot \left(\frac{5,231}{2,195}\right)^{0,25} = 58$$

Расчетное значение Нуссельта:

Коэффициент теплопроводности при средней температуре воды в трубках:

$$\lambda_2 = f(t_{2CP}) = 0,6172 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Примем ориентировочно температуру стенки со стороны охлаждающей воды [1, стр. 221]

$$t_{CT} = t_{2CP} + \frac{\Delta t_{CP}}{2} = 31,5 + \frac{99,3}{2} = 81,15^{\circ}C.$$

Число Прандтля составляет:

$$Pr_{CT} = f(P_2, t_{CT}) = 2,195$$

Тогда значение коэффициента теплоотдачи, α_2 от охлаждающей воды к трубам [1, стр. 150]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{BH}} = \frac{58 \cdot 0,6172}{0,021} = 1704 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

3.1.4 Коэффициент теплоотдачи для пара

Значение коэффициента теплоотдачи, α_2 от пара к трубам:

$$\alpha_1 = 2,02 \cdot \varepsilon_n \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 \cdot n \cdot L}{\mu_1 \cdot G}}$$

$$2,02 \cdot 0,7 \cdot 0,6846 \cdot \sqrt[3]{\frac{931,8^2 \cdot 218 \cdot 3}{2,068 \cdot 10^{-4} \cdot 1,28}} = 9500 \text{ Bm} / (m^2 \cdot K)$$

Коэффициент теплопередачи определим по формуле [2, стр. 168]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{CT} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{9500} + \frac{1}{1127} + \frac{1}{1704}} = 633 \frac{Bm}{m^2 \cdot K},$$

Термическое сопротивление стенки определяют по формуле:

$$\sum r_{CT} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{\delta}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{r_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{1860}} = 1127 \frac{Bm}{m^2 K}.$$

где $r_1 = 1860 \text{ Bm}/(m^2 \cdot K)$ – термическое сопротивление загрязнений стенок трубок со стороны воды [1, стр. 531];

$r_2 = 5800 \text{ Bm}/(m^2 \cdot K)$ – термическое сопротивление загрязнений стенок трубок со стороны пара [1, стр. 531];

$\delta = 0,002 \text{ м}$ – толщина стенки трубки;

$\lambda_{CT} = 46,5 \text{ Bm}/(m \cdot K)$ – теплопроводность материала трубок сталь

[1, стр. 529].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Расчетная площадь теплообмена определяется по формуле:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}} = \frac{2634,5 \cdot 1000}{633 \cdot 99,3} = 41,9 \text{ м}^2.$$

Определим запас площади поверхности теплообмена:

$$\Delta F_p = \frac{F - F_p}{F_p} \cdot 100\% = \frac{55,81 - 41,9}{41,9} \cdot 100\% = 33 \text{ \%}.$$

3.2 Расчет гидравлического сопротивления

Расчет ведем по методике, изложенной в [26].

4.1 Длину каждого патрубка (подвода и отвода сетевой воды) принимаем

$l_{II} = 0,3 \text{ м}$. Для оценки гидравлического сопротивления подогревателя принимаем следующие значения коэффициентов местных сопротивлений ζ_M :

поворот во входной и выходной камерах - $\zeta_{M.BX} = 3$;

вход и выход из трубок в камеру - $\zeta_{BЫIX} = 2$;

Коэффициент сопротивления трения в трубках подогревателя [2, стр.81]:

$$\lambda_{TP} = 0,1 \cdot \left(1,46 \cdot \frac{\Delta}{d_{BH}} + \frac{100}{Re_2} \right)^{0,25} = 0,1 \cdot \left(1,46 \cdot \frac{0,02}{0,021} + \frac{100}{7975} \right)^{0,25} = 0,108,$$

где $\Delta = 0,02$ – шероховатость стенок стальных труб [26, стр.81].

Гидравлическое сопротивление:

$$\Delta P = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2} = \left(0,108 \frac{3000}{0,021} + 5 \right) \frac{0,295^2 \cdot 995,3}{2} = 668396 \text{ Па}.$$

3.3 Расчет изоляции

Расчет ведем по методике, изложенной в [28].

Исходные данные для расчета тепловой изоляции являются:

Объект, расположен внутри помещения;

$t_{ст} = t_{II}^{CP} = 133,5^\circ \text{C}$ – температура изолируемой поверхности объекта;

$t_{из} = 45^\circ \text{C}$ – температура наружной поверхности изоляции [28, стр. 221];

$t_{oc} = t_{окр.с} = 25^\circ \text{C}$ – температура окружающей среды;

$d_{НАР} = D_B^{KP} + 2 \cdot S_{КОРП} = 0,6 + 2 \cdot 0,008 = 0,616 \text{ м}$ – наружный диаметр изолируемого

объекта.

3.3.1 Разность температур теплоотдающей поверхности и окружающего воздуха:

$$\Delta t = t_{\text{из}} - t_{\text{oc}} = 45 - 25 = 20^{\circ}\text{C}.$$

3.3.2 Коэффициент теплоотдачи конвекцией при $\Delta t^3 > 9,8 \cdot 10^{-2}$:

$$\alpha_k = 1,18 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{d_{\text{НАР}}}} = 1,18 \cdot \sqrt[4]{\frac{20}{0,616}} = 2,81 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

3.3.3 Коэффициент теплоотдачи излучением:

$$\alpha_l = \frac{C_1 \cdot \left[\left(\frac{t_{\text{из}} + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{t_{\text{oc}} + 273}{100} \right)^4 \right]}{(t_{\text{из}} - t_{\text{oc}})} = \frac{1,2 \cdot \left[\left(\frac{45 + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{25 + 273}{100} \right)^4 \right]}{(45 - 25)} =$$

$$= 10,86 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где $C_1 = 1,2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения (выбираем покрывной материал – алюминий листовой) [28, табл. 13.2].

3.3.4 Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающей среде:

$$\alpha_H = \alpha_k + \alpha_l = 2,81 + 10,86 = 13,67 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

3.3.5 Толщина теплоизоляционного слоя, обеспечивающая заданную температуру на поверхности однослойной изоляции:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{\alpha_H \cdot (t_{\text{из}} - t_{\text{oc}})} = \frac{0,0476 \cdot (133,5 - 45)}{13,67 \cdot (45 - 25)} = 0,015 \text{ м},$$

где $\lambda_{\text{из}} = 0,043 + 0,00022 \cdot t_{\text{oc}} = 0,043 + 0,00022 \cdot 25 = 0,0476 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ – коэффициент теплопроводности для теплоизоляционного материала (выбираем материал – минеральная вата марки 75);

Принимаем толщину изоляции 40 мм. Определим температуру на поверхности изоляции при этой толщине:

$$t_{\text{из}} = \frac{\frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot t_{\text{ст}} + \alpha_H \cdot t_{\text{oc}}}{\alpha_H + \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}}} = \frac{\frac{0,0476}{0,04} \cdot 133,5 + 13,67 \cdot 25}{13,67 + \frac{0,0476}{0,04}} = 33,7^{\circ}\text{C}.$$

Температура поверхности изоляции меньше $33,7^{\circ}\text{C}$. Условие соблюдается.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ АППАРАТА

4.1 Расчет штуцеров и подбор фланцев

Штуцеры для подвода и отвода воды:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость воды в штуцерах

$w_2 = 0,5$ м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле 7.2

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot w_2 \cdot \rho_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11,06}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 995,3}} = 0,168 \text{ м.}$$

Принимаем условный диаметр штуцера равным 100 мм и подбираем фланец по [20].

Исполнительный размер фланца представлен в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Размер фланца для подвода и отвода воды

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_в, \text{мм}$	$D_ф, \text{мм}$	$D_б, \text{мм}$	Болты	
					$d_б, \text{мм}$	z
0,6	200	222	315	280	M16	8

Штуцеры для подвода пара:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость греющей среды в штуцере $w_{шт} = 20$ м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot w_1 \cdot \rho_{п}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,28}{3,14 \cdot 20 \cdot 1,651}} = 0,222 \text{ м,}$$

где,

$\rho_{п} = f(P = 0,3 \text{ МПа}) = 1,651 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.- плотность сухого насыщенного пара

Принимаем условный диаметр штуцера равным 250 мм и подбираем фланец по [20].

Исполнительный размер фланца представлен в таблице 4.2.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Зарубайко Е.Е			РАСЧЕТ АППАРАТА	Лит	Лист	Листов
Пров.		Тихонов В.В					22	93
Консульт.						НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук ООП								

Размер исполнительного штуцера представлен в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Размер фланца для подвода пара

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_в, \text{мм}$	$D_ф, \text{мм}$	$D_б, \text{мм}$	Болты	
					$d_б, \text{мм}$	z
0,6	250	273	390	350	M16	12

Штуцеры для отвода конденсата:

Согласно рекомендациям [2, с.35] примем скорость греющей среды в штуцере $w_{1ш} = 1,5$ м/с, тогда внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot w_{1ш} \cdot \rho_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,28}{3,14 \cdot 0,3 \cdot 931,8}} = 0,041 \text{ м.}$$

Размер исполнительного штуцера для данного подогревателя составляет 100 мм [25, стр 33] .
Принимаем фланец типа 1.

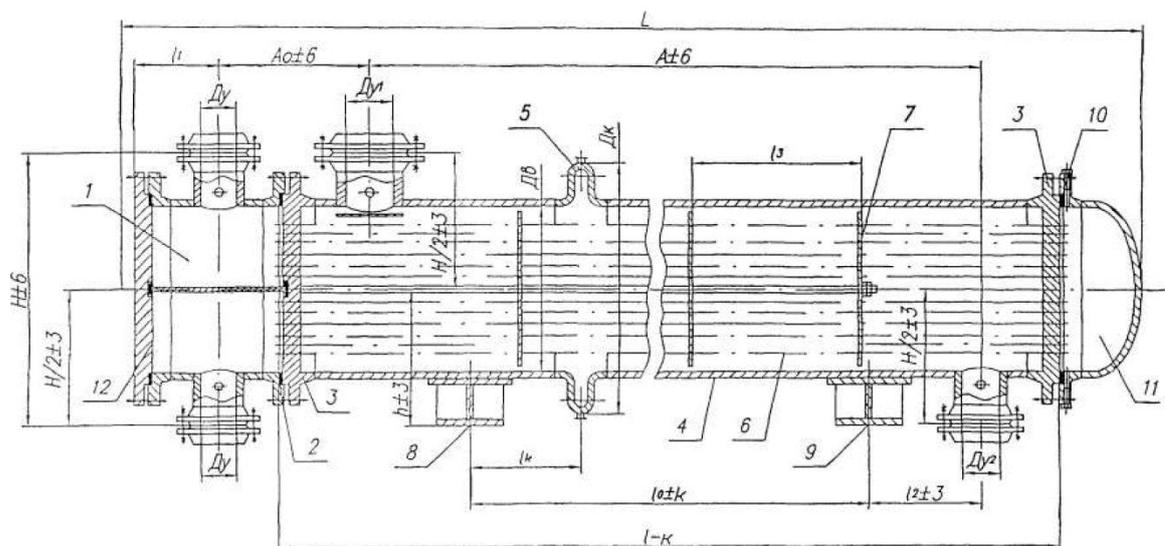
Таблица 4.2 – Размер фланца для отвода конденсата

$P_y, \text{МПа}$	$D_y, \text{мм}$	$D_в, \text{мм}$	$D_ф, \text{мм}$	$D_б, \text{мм}$	Болты	
					$d_б, \text{мм}$	z
1	100	116	205	170	M16	8

5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

Расчетная схема кожухотрубчатого теплообменника представлена на рисунке 5.1.



1 – камера распределительная; 2 – прокладка камеры распределительной; 3 – решетка трубная; 4 – кожух;
5 – компенсатор; 6 – труба теплообменная; 7 – перегородка; 8 – опора неподвижная; 9 – опора подвижная;
10 – прокладка кожуха; 11 – крышка кожуха; 12 – крышка камеры распределительной.

Активация Windows

Рисунок 5.1 – Расчетная схема кожухотрубчатого теплообменника

5.1 Выбор конструкционных материалов и расчетные параметры

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1:

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		User;Евгений			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	Лит	Лист	Листов
Пров.		Тихонов В.В					24	93
Консульт						НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук ООП								

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр обечайки	D = 600 мм
Длина обечайки	L = 3000 мм
Срок эксплуатации	$\tau = 10$ лет
Рабочая температура теплоносителя в межтрубном пространстве	$t_{раб1} = 133,5$ °C
Рабочая температура теплоносителя в трубном пространстве	$t_{раб2} = 60$ °C
Рабочее давление в межтрубном пространстве:	P1 = 0,2 МПа
Рабочее давление в трубном пространстве:	P2 = 0,15 МПа

Выбор конструкционных материалов осуществляем с учетом рабочих температур, агрессивности сред и их концентраций. Поскольку в теплообменнике нет агрессивных и коррозионно-активных сред, и, согласно технологической схеме, теплообменник расположен на закрытой площадке, примем исполнение теплообменника по материалу М1 [6], материалы основных узлов и деталей указаны в таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Исполнение теплообменника по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Крышка	Теплообменная труба	Распределительная камера	Трубная решетка
М1	16ГС	16ГС	СТ20	16ГС	16ГС

Допускаемое напряжение материала 16ГС при температуре 20⁰C определяем по таблице А.1[7]:

$$\sigma_{16ГС}^{20} = 196 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение материала 16ГС при рабочей температуре горячего теплоносителя определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.1 [7]:

$$\sigma_{16ГС}^P = 173 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение материала сталь 20 при температуре 20 градусов определяем по таблице А.3[7]:

$$\sigma_{Ст20}^{20} = 147 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение материала 16ГС при рабочей температуре холодного теплоносителя градусов определяем по таблице А.3[7] методом интерполяции:

$$\sigma_{16ГС}^{X.P} = 188,4 \text{ МПа.}$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление в межтрубном пространстве при рабочих условиях: т.к. аппарат расположен горизонтально, то расчетное давление принимаем равным рабочему:

$$P_{РАС1} = P_1 + \rho \cdot g \cdot h = 0,2 + 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,6 = 0,206 \text{ МПа},$$

где,

Гидростатическое давление среды:

$$P_{Г.С} = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,8 \cdot h = 0,058 \text{ МПа},$$

где,

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды},$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \text{ускорение свободного падения тела},$$

$$h = D = 0,6 \text{ м} - \text{высота столба жидкости}.$$

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1[8]:

$$P_{И1} = 1,25 \cdot P_1 \cdot \frac{\sigma_{16ГС}^{20}}{\sigma_{16ГС}^P} = 1,25 \cdot 0,206 \cdot \frac{196}{173} = 0,291 \text{ МПа}.$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве при рабочих условиях:

$$P_{РАС2} = P_2 + \rho \cdot g \cdot h = 0,15 + 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,6 = 0,2 \text{ МПа}.$$

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1[8]:

$$P_{И2} = 1,25 \cdot P_2 \cdot \frac{\sigma_{См20}^P}{\sigma_{См20}^P} = 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{147}{144,5} = 0,261 \text{ МПа}.$$

5.2 Расчет толщины цилиндрической обечайки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [9, 5-5.3.1].

На рисунке 5.2 представлена расчетная схема цилиндрической обечайки.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

26

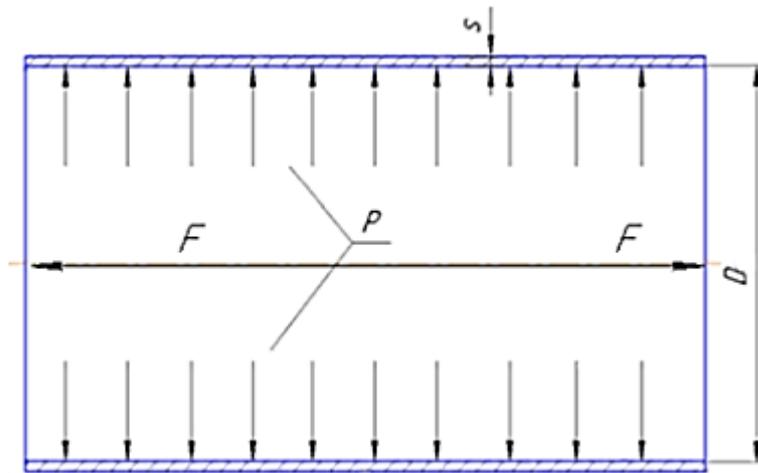


Рисунок 5.2 - Расчетная схема цилиндрической обечайки

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется как максимальная величина расчетной толщины стенки, посчитанная при расчетном давлении и гидравлических испытаниях[9]:

Расчетное значение предела текучести для стали 16ГС при $t=20^{\circ}\text{C}$ определяем из таблицы Б.1 [7]:

$$R_{E.G}^{20} = 300 \text{ МПа.}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 20 при $t=20^{\circ}\text{C}$ определяем из таблицы Б.7 [7]:

$$R_{E.X}^{20} = 220 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании определяем по таблице 1 [7]:

$$n_T = 1,1 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3[7]:

$$\sigma_{И1} = \frac{R_{E.G}^{20}}{n_T} = \frac{300}{1,1} = 272,7 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 20 при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3[7]:

$$\sigma_{H2} = \frac{R_{E.X}^{20}}{n_T} = \frac{220}{1,1} = 200 \text{ МПа.}$$

Расчетная толщина стенки при расчетном давлении:

$$s_P = \frac{P_{PAC1} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{16ГC}^P \cdot \varphi - P_{PAC1}} = \frac{0,206 \cdot 600}{2 \cdot 173 \cdot 1 - 0,206} = 0,357 \text{ мм,}$$

Расчетная толщина стенки при гидравлических испытаниях:

$$s_P = \frac{P_{H1} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{H1}^P \cdot \varphi - P_{H1}} = \frac{0,291 \cdot 600}{2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 0,291} = 0,32 \text{ мм.}$$

Выбранная расчетная толщина стенки:

$$s_P = 0,357 \text{ мм.}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле 13 [7]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0 + 0,15 = 0,65 \text{ мм,}$$

где,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм – поправка на коррозию,}$$

где $\Pi = 0,05$ мм/год скорость коррозии стали 16ГС

$$c_2 = 0,15 \text{ мм – поправка на минусовое отклонение;}$$

$$c_3 = 0 \text{ мм - поправка на утончение стенки элемента сосуда при технических операциях;}$$

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

$$s_{и} = s_P + c = 0,357 + 0,65 = 1,007 \text{ мм.}$$

Согласно рекомендациям таблицы 1 [11] минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре обечайки, равном 600 мм, равна 6 мм. Согласно [10, Таблица 1] при ширине листа 2000 мм и длине листа от 3000 мм до 12000 мм толщина листа составит 8 мм. В связи с этим принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки:

$$S_K = 8 \text{ мм}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

28

По методике [9, с.5] проверим применимость формул безмоментной теории:

$$\frac{s_K - c}{D} = \frac{8 - 0,65}{600} = 0,012 < 0,1.$$

Определим допускаемое давление по формуле [7, стр. 414]:

$$P_d = \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{16rc}^p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 173 \cdot (8 - 0,65)}{600 + (8 - 0,65)} = 3,65 \text{ МПа.}$$

Условие $3,65 > 0,3$ условие выполняется

5.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [9, 6-6.3]. На рисунке 5.3 представлена расчетная схема эллиптического днища.

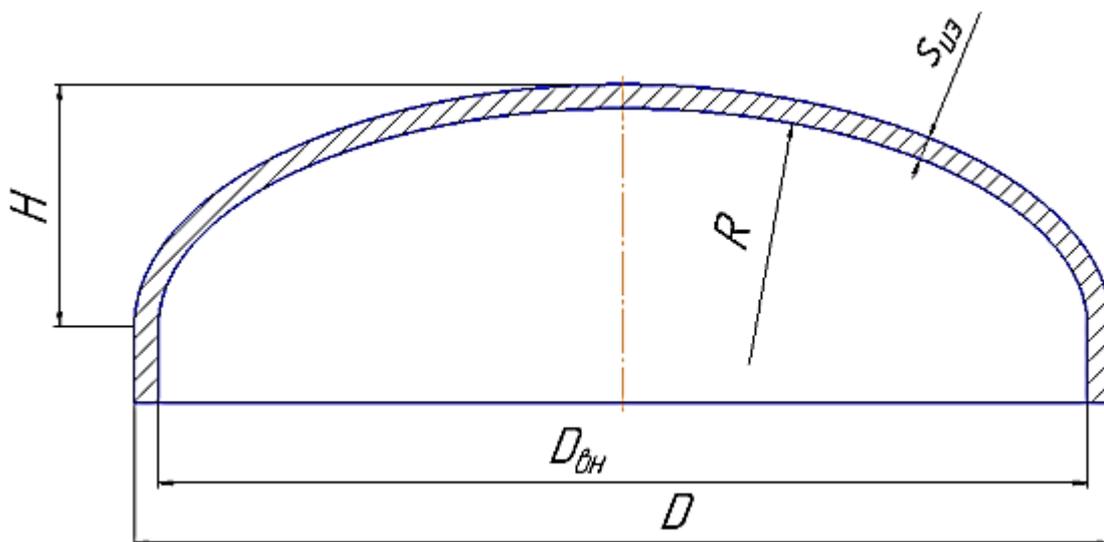


Рисунок 5.3 – Расчетная схема эллиптического днища

Т.к. днище эллиптическое, то высота выпуклой части без учета цилиндрической части будет равна:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot D = 150 \text{ мм.}$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R = D = 600 \text{ мм.}$$

Расчёт толщины стенки эллиптического днища производится при давлении гидравлического испытания и при расчетном давлении в трубном пространстве.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Для бесшовных элементов сосудов коэффициент прочности сварных швов равен 1 [7, стр 12]:

$$\varphi=1$$

Скорость коррозии (16ГС):

$$П=0,05 \text{ мм/год.}$$

Срок эксплуатации:

$$\tau=10 \text{ лет}$$

Прибавки к толщине:

$c_1=П \cdot \tau=0,05 \cdot 10=0,5$ мм – поправка на компенсацию коррозии обечайки,

$c_2=0,15$ мм – поправка на минусовое отклонение таблица 4[10];

$c_3=0,5$ мм – технологическая прибавка в соответствии с рекомендацией [7, стр 8];

$$c=c_1+c_2+c_3=0,5+0,15+0,5=1,15 \text{ мм,}$$

Расчетная толщина эллиптического днища:

Толщина стенки днища, рассчитанная при расчетном давлении:

$$s_p = \frac{P_{PAC2} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{16ГС}^{X.P} \cdot \varphi - 0,5 P_{PAC2}} = \frac{0,2 \cdot 600}{2 \cdot 186,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,322 \text{ мм,}$$

Толщина стенки днища, рассчитанная при расчетном давлении:

$$s_p = \frac{P_{И2} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{И1}^P \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_{И2}} = \frac{0,261 \cdot 600}{2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,261} = 0,287 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина днища:

$$s_p = 0,428 \text{ мм.}$$

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

$$s_{И}=s_p+c=0,322+1,15=1,472 \text{ мм.}$$

Согласно рекомендациям [10, 11] исполнительную толщину стенки днища принимаем:

$$S_{И}=S_{К}=8 \text{ мм}$$

В связи с этим принимаем исполнительную толщину стенки днища:

					ФЮРА.311359.001.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

$$S_k=8 \text{ мм}$$

По методике [9, с.5] проверим применимость формул безмоментной теории:

$$\frac{s_k - c}{D} = \frac{8 - 1,15}{600} = 0,01 < 0,1.$$

Определим допускаемое давление по формуле [7, стр. 414]:

$$P_d = \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{16ГС}^{X.P} \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 186,5 \cdot (8 - 1,15)}{600 + (8 - 1,15)} = 3,8 \text{ МПа}.$$

Условие $4,9 > 0,3$ условие выполняется

Согласно [21] принимаем днище стальное эллиптическое отбортованное с размерами (табл. 5.3):

Таблица 5.3 – Размеры эллиптического днища

D, мм	h1, мм	H, мм	s, мм	F, м ²	V, дм ³
600	25	157	8	0,45	36,78

5.4 Расчет температурных деформаций

Расчет проводится по методике, изложенной в [5,1.5.2.1]. Расчетные параметры приведены в таблице 5.4:

Таблица 5.4 - Расчетные параметры

Часть аппарата	Трубы	Корпус
Материал	сталь 20	16ГС
Рабочая температура, °С	60	133,5
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/°С	$11,6 \cdot 10^{-6}$	$12,6 \cdot 10^{-6}$
Допускаемое напряжение материала, МПа	144,5	173
Модуль упругости материала, МПа	$1,95 \cdot 10^5$	$1,87 \cdot 10^5$
Наружный диаметр, м	0,025	616
Внутренний диаметр, м	0,021	600

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Поперечное сечение труб и корпуса:

$$F_T = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2) \cdot n = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 98 = 0,0141 \text{ м}^2.$$

$$F_K = \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{BH}^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (0,616^2 - 0,6^2) = 0,0152 \text{ м}^2.$$

Температурные усилия:

$$Q_T = \frac{|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K| \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} =$$

$$\frac{|11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 60 - 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 133,5| \cdot 1,95 \cdot 10^5 \cdot 0,0141 \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot 0,0152}{1,95 \cdot 10^5 \cdot 0,0141 + 1,87 \cdot 10^5 \cdot 0,0152} = 1,8 \text{ МН}.$$

Температурные напряжения:

$$\sigma_T = \frac{Q_T}{F_T} = \frac{1,8}{0,0141} = 127 \text{ МПа} \quad \sigma_T < 144,5.$$

$$\sigma_K = \frac{Q_K}{F_K} = \frac{1,8}{0,0152} = 118 \text{ МПа} \quad \sigma_K < 173.$$

Условия прочности соблюдаются

5.5 Расчет толщины трубных решеток

Расчет толщины трубной решетки ведется по методике, указанной в пособии [5, 1.5.2.4].

На рисунке 5.4 представлена расчетная схема трубной решетки.

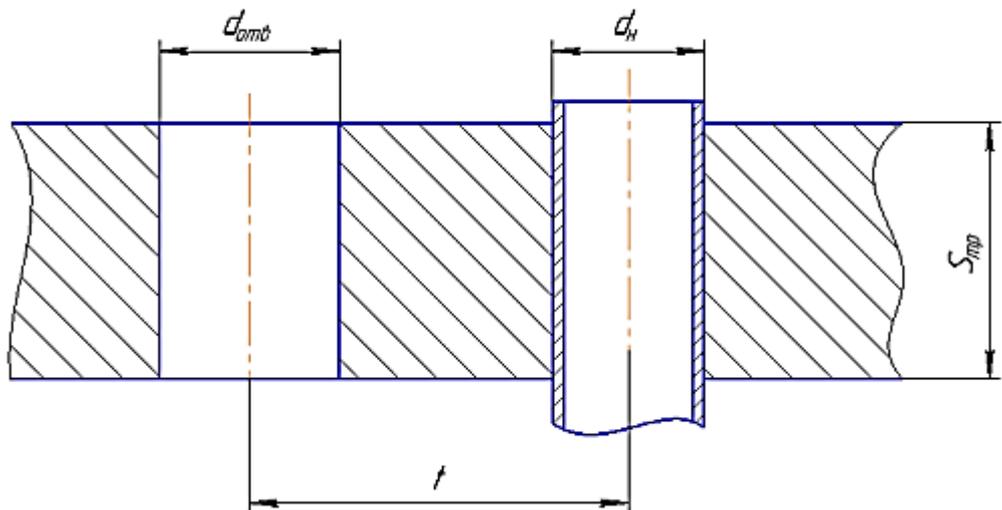


Рисунок 5.4 – Расчетная схема трубной решетки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

32

Коэффициент прочности решетки:

Коэффициент прочности решетки учитывает ослабление сечения решетки трубными отверстиями и зависит от шага t и диаметра отверстий $d_{отв}$ по формуле:

$$\varphi_P = \frac{t - d_{отв}}{t} = \frac{32 - 25,7}{32} = 0,197.$$

Определим толщину стенки из условия надежности развальцовки труб:

$$f_m = 4,35 \cdot d_H + 15 = 4,35 \cdot d_H + 15 = 123,75 \text{ мм}^2.$$

$$S_{ТР1} = \frac{f_m}{t - d_{отв}} + c = \frac{123,75}{32 - 25,7} + 2,6 = 22 \text{ мм}.$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решетки:

$$\begin{aligned} Q_P &= P_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 - P_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 + Q_i = \\ &= 0,2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 600^2 - 0,206 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 600^2 + 1,8 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Толщина трубной решетки как плоской заземленной плиты:

Допускаемое напряжение для стали 16ГС, из которой изготовлена трубная решетка:

$$\sigma_{дт} = 182,5 \text{ МПа}.$$

$$S_{ТР2} = \frac{D_{ВН}}{4,7} \sqrt{\frac{P_{И1}}{\sigma_{дт} \cdot \varphi_P}} = \frac{600}{4,7} \sqrt{\frac{0,389}{173 \cdot 0,197}} = 13,6 \text{ мм}.$$

Согласно таблицы 5 [13] минимальная толщина трубной решетки для труб с наружным диаметром 25 мм составляет 31 мм, поэтому принимаем: $S_{ТР} = 31 \text{ мм}$.

5.6 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

Расчетная схема фланцевого соединения представлена на рисунке 5.5.

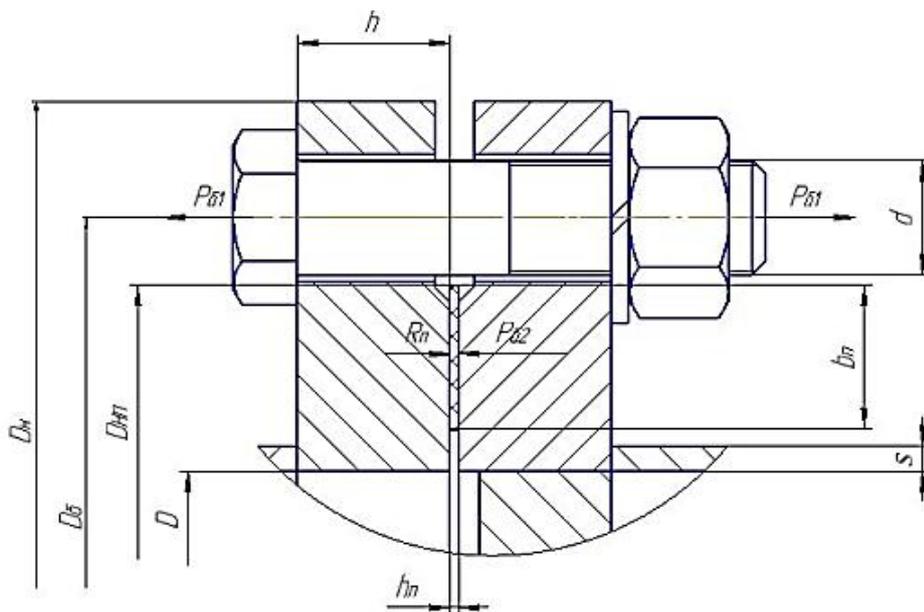


Рисунок 5.5– Расчетная схема фланцевого соединения

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

33

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр распределительной камеры, мм	$D = 600$
Пробное давление гидроиспытания в аппарате, МПа	$P_{и} = 0,261$
Число болтов	$n = 20 M27$
Прибавка на коррозию, мм	$c_0 = 0,5$
Максимальная температура среды, °С	$t = 133,5$
Диаметр болтовой окружности, мм	$D_б = 705$
Наружный диаметр прокладки, мм	$D_{нп} = 677$
Наружный диаметр фланца, мм	$D_{н} = 755$
Ширина прокладки, мм	$b_{п} = 16$
Высота прокладки, мм	$h_{п} = 2$
Толщина тарелки фланца, мм	$h = 50$
Толщина обечайки, мм	$s = 8$

Целью расчета в данном подразделе является проверка надежности конструкции выбранного фланцевого соединения. К критериям надежности относятся:

- прочность болтов в рабочих условиях и при затяжке;
- статическая прочность соединения при затяжке и в рабочих условиях;
- прочность прокладки;
- соответствия угла поворота фланца допускаемому значению.

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [2] примем:

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Определение основных расчетных значений

Определение расчетных температур:

- расчетная температура неизолированных плоских фланцев по табл. В1 [14]:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 133,5 = 128,16^{\circ}C.$$

- расчетная температура болтов по табл. В1 [14]:

$$t_{Б} = 0,85 \cdot t = 0,85 \cdot 133,5 = 113,5^{\circ}C.$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х определяем методом интерполяции по табл. Г1 [14]:

$$\sigma_{д.Б} = 229 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для болтов из стали 35Х при расчетной температуре определяем методом интерполяции по табл. Ж1[14]:

$$E_B = 2,14 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20^\circ\text{C}$ определяем по таблице Г.1 [14]:

$$\sigma_{20Б} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для болтов при температуре равной 20°C определяем по таблице Ж.1 [14]:

$$E_{20Б} = 2,18 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при $t = 20-200^\circ\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [14]: $\alpha_6 = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Допускаемые напряжения для фланцев и обечайки из стали 16ГС определяем по таблице А3[2]:

$$\sigma_\phi = 173,5 \text{ МПа.}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из листового проката $\eta = 1$.

$$\sigma_{д,\phi} = \sigma_\phi \cdot \eta = 173,5 \cdot 1 = 173,5 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 16ГС при расчетной температуре определяем по таблице В.1 [7]:

$$E = 1,89 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t = 20^\circ\text{C}$ определяем по [7]:

$$\sigma_{16ГС(20)} = 196 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при температуре испытания 20°C определяем по [2]:

$$E_{16ГС(20)} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при $t = 20 - 200^\circ\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [14]: $\alpha_\phi = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Примем коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке по рекомендациям [14] равным:

$$\xi = 1,2 .$$

Коэффициент условий работы примем по рекомендациям [14]:

- для рабочих условий $K_{у.р.р} = 1$;
- для условий испытания $K_{у.р.и} = 1,35$.

По рекомендациям [14] коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке принимаем равным $K_{у.з} = 1$.

По рекомендациям [14] коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций принимается равным $K_{у.т} = 1,3$.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания рассчитывают по формулам Г3 и Г4 [14] и равны соответственно:

$$\sigma_{ДБМ} = \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{20Б} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 230 = 358,8 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{ДБР} = \xi \cdot K_{y.p.u} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{20Б} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 230 = 484 \text{ МПа}.$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

По формуле 5 [14] определяется эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{II}} = 3,8 \cdot \sqrt{16} = 15,2 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр плоской прокладки определяем по формуле 7 [14]:

$$D_{СП} = D_{НП} - b_0 = 661 - 15,2 = 645,8 \text{ мм}.$$

Характеристики прокладки определяем по таблице И.1 [14] (табл. 5.6):

Таблица 5.7 – Характеристики прокладки

Прокладочный коэффициент (m)	Удельное давление обжатия прокладки, МПа (q _{обж})	Допускаемое удельное давление, МПа (q _d)	Коэффициент обжатия (К _{обж})	Условный модуль сжатия прокладки, МПа (Е _п)
2.5	20	130	0.9	0.02 · 10 ⁵

По формуле 8 [14] определяем усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{ОБЖ} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot q_{ОБЖ} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 645,8 \cdot 15,2 \cdot 20 = 3,85 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения вычисляется по формуле 9 [14]:

$$R_{II} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{II} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 645,8 \cdot 15,2 \cdot 2,5 \cdot 0,261 = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений болтов для М27 определим по таблице Д.1 [14]:

$$f_6 = 430 \text{ мм}^2.$$

Наружный диаметр болта равен d=20 мм.

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра определяется по формуле 10 [14]:

$$A_B = n \cdot f_B = 430 \cdot 20 = 8600 \text{ мм}^2.$$

Равнодействующая нагрузка от давления рассчитывается по формуле 11 [14]:

$$Q_D = \frac{\pi}{4} \cdot D_{СП}^2 \cdot P_{II} = \frac{3,14}{4} \cdot 645,8^2 \cdot 0,261 = 0,85 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Податливость прокладки и болтов

Податливость прокладки определяется по формуле К.1 [14]:

$$y_{II} = \frac{h_{II} \cdot K_{ОБЖ}}{E_{II} \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_{II}} = \frac{2 \cdot 0,9}{0,02 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 645,8 \cdot 15,2} = 1,305 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и болта принимаем равным:

$$L_{БО} = 102 \text{ мм}.$$

При определении податливости эффективная длина болта определяется по стр.32 [14]:

$$L_B = L_{БО} + 0,56 \cdot d = 72 + 0,28 \cdot 27 = 109,56 \text{ мм}.$$

Податливость болтов определяем по формуле К.2 [14]:

$$y_B = \frac{L_B}{E_{20Б} \cdot A_B} = \frac{109,56}{2,18 \cdot 10^5 \cdot 8600} = 5,844 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

По формуле К.3 [14] рассчитывается параметр длины обечайки:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_{II}} = \sqrt{600 \cdot 8} = 69,3 \text{ мм}.$$

По формуле К.4 [14] определяется отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K = \frac{D_H}{D} = \frac{755}{600} = 1,258.$$

По формулам К.5 - К.8 [14] определяются коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2)(K - 1)} = \frac{1,258^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,258)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,258^2)(1,258 - 1)} = 1,813.$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)} = \frac{1,258^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,258)) - 1}{1,36(1,258^2 - 1)(1,258 - 1)} = 9,438.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

37

$$\gamma = \frac{1}{y_{II} + y_B \frac{E_{20B}}{E_{20}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} =$$

$$= \frac{1}{2,773 \cdot 10^{-8} + 5,844 \cdot 10^{-8} \frac{2,18 \cdot 10^5}{2,14 \cdot 10^5} + 2 \cdot 21,6^2 \cdot 1,51 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,89 \cdot 10^5}} = 2,8 \cdot 10^6 \frac{H}{мм}$$

По формуле Е.11 [14] для плоских фланцев с плоскими прокладками рассчитывается коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{II} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{II} + y_B + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} =$$

$$= 1 - \frac{2,773 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 18,9 \cdot 1,51 \cdot 10^{-10} \cdot 29,6}{2,773 \cdot 10^{-10} + 5,844 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 29,6^2 \cdot 1,51 \cdot 10^{-10}} = 1,464.$$

По формуле 13 [14] рассчитывается нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot (2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_B \cdot h \cdot (t_B - 20)) =$$

$$= 2,8 \cdot 10^6 \cdot (2 \cdot 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (128,16 - 20) -$$

$$- 2 \cdot 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (113,4 - 20)) = 5,3 \cdot 10^4 \text{ H.}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения определяется по [14]:

$$P_{B1} = \max \left(\begin{array}{l} \alpha \cdot Q_{II} + R_{II} \\ \alpha \cdot Q_{II} + R_{II} - Q_t \end{array} \right) =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 1,474 \cdot 0,85 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 \\ 1,474 \cdot 0,85 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 - 5,3 \cdot 10^4 \end{array} \right) = 1,45 \cdot 10^5 \text{ H.}$$

По [14] определяется расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{B2} = \max \left(\begin{array}{l} (P_{ОБЖ}) \\ 0,4 \cdot A_B \cdot \sigma_{20B} \end{array} \right) = \max \left(\begin{array}{l} (2,165 \cdot 10^5) \\ 0,4 \cdot 8600 \cdot 238 = 7,912 \cdot 10^5 \end{array} \right) = 7,912 \cdot 10^5 \text{ H.}$$

По формуле 17 [14] определяется расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{BM} = \max \left(\begin{array}{l} P_{B1} \\ P_{B2} \end{array} \right) = \max \left(\begin{array}{l} 1,45 \cdot 10^4 \text{ H} \\ 7,912 \cdot 10^5 \text{ H} \end{array} \right) = 7,912 \cdot 10^5 \text{ H.}$$

По формуле 18 [14] рассчитывается расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{БР} = P_{БМ} + (1 - \alpha) \cdot Q_D + Q_t =$$

$$= 7,912 \cdot 10^5 + (1 - 1,474) \cdot 8,5 \cdot 10^4 + 5,3 \cdot 10^4 = 8,042 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах определяются:

- при затяжке по формуле 19 [14]:

$$\sigma_{Б1} = \frac{P_{БМ}}{A_B} = \frac{7,912 \cdot 10^5}{8600 \cdot 10^{-6}} = 92 \text{ МПа.}$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [14]:

$$\sigma_{Б2} = \frac{P_{БР}}{A_B} = \frac{7,83 \cdot 10^5}{8600 \cdot 10^{-6}} = 91,5 \text{ МПа.}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке рабочих условиях по формулам 21,22 [14]:

$$\sigma_{Б1} < \sigma_{ДБМ} \quad 92 < 358,8$$

$$\sigma_{Б2} < \sigma_{ДБР} \quad 91,5 < 484$$

Условия прочности выполняются

Удельное давление на прокладку определяется по [14]:

$$q = \frac{\max(P_{Б.М}, P_{БР})}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_{П}} = \frac{7,912 \cdot 10^5}{3,14 \cdot 645,8 \cdot 34 \cdot 10^{-6}} = 11,7$$

$$q < q_d \quad 11,7 < 130$$

Условие прочности выполняется

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке, рассчитывается по формуле 24 [14]:

$$M_M = C_F \cdot P_{БМ} \cdot b = 1 \cdot 7,912 \cdot 10^5 \cdot 29,6 = 2,34 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, определяется по формуле 26 [14]:

$$M_P = C_F \cdot \max(P_{БР} \cdot b + (Q_D) \cdot e, Q_D \cdot e) = 1 \cdot \max(7,69 \cdot 10^5 \cdot 29,6 + (8,5 \cdot 10^4) \cdot 18,9$$

$$, 1,274 \cdot 10^4 \cdot 18,9) = 2,54 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

Меридиональное изгибное напряжение в обечайке плоского фланца определяется по формуле 30[14]:

$$\sigma_{0M} = \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{II} - c)^2 \cdot D_{ПР}} = \frac{2,34 \cdot 10^7}{3,757 \cdot (8 - 0,5)^2 \cdot 600} = 184 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{1M} = \sigma_{0M} = 184 \text{ МПа}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

40

Напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки рассчитываются по формулам 31,32 [14]:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 50 + 69,3}{1,379 \cdot 50^2 \cdot 69,3 \cdot 600} \cdot 2,34 \cdot 10^7 = 7,8 \text{ МПа.}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} = \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = \frac{8,668 \cdot 2,34 \cdot 10^7}{50^2 \cdot 600} - 4,428 \cdot 7,8 = 100,8 \text{ МПа.}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

Меридиональные изгибные напряжения для плоских фланцев рассчитываются по формуле 34 [14]:

$$\sigma_{1P} = \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_H - c)^2 \cdot D_{HP}} = \frac{2,56 \cdot 10^7}{3,751 \cdot (8 - 0,5)^2 \cdot 600} = 202 \text{ МПа.}$$

Меридиональные изгибные напряжения в обечайке плоского фланца рассчитываются по формуле 35 [14]:

$$\sigma_{0P} = \sigma_{1P} = 290 \text{ МПа.}$$

Меридиональные мембранные напряжения во обечайке плоского фланца рассчитываются по формуле 38 [14]:

$$\sigma_{P0MM} = \frac{Q_D}{\pi \cdot (D + s_u) \cdot s_u - c} = \frac{0,85 \cdot 10^5}{3,14 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 0,5)} = 5,9 \text{ МПа.}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в обечайке плоского фланца вычисляются по формуле 39 [14]:

$$\sigma_{POMO} = \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot (s_u - c)} = \frac{0,389 \cdot 600}{2 \cdot (8 - 0,5)} = 15,6 \text{ МПа.}$$

Определим напряжения в тарелке плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [14]:

$$\sigma_{Rp} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_P = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 50 + 69,3}{3,751 \cdot 50^2 \cdot 69,3 \cdot 600} \cdot 2,5 \cdot 10^7 = 8,5 \text{ МПа.}$$

- окружное напряжение по формуле 41 [14]:

$$\sigma_{Tp} = \frac{\beta_Y \cdot M_P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = \frac{8,66 \cdot 2,5 \cdot 10^7}{50^2 \cdot 600} - 4,428 \cdot 8,5 = 110 \text{ МПа.}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций согласно рекомендациям [14] примем: $K_T = 1.3$.

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 [6].

$$\sigma_{\sigma,m} = 1,5 \cdot \sigma_{\sigma,\phi} = 173,5 \cdot 1,5 = 260,2 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\sigma,R} = 3 \cdot \sigma_{\sigma,\phi} = 173,5 \cdot 3 = 520,5 \text{ МПа.}$$

Для плоских фланцев условия статической прочности вычисляются по формулам 47, 48 [14]:

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{P\max} = \max \begin{pmatrix} \sigma_{0p} - \sigma_{P0,mm} + \sigma_{Rp} \\ \sigma_{0p} - \sigma_{P0,mm} + \sigma_{Tp} \\ \sigma_{0p} + \sigma_{P0,mm} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 202 - 5,9 + 8,5 \\ 202 - 5,9 + 110 \\ 202 + 5,9 \end{pmatrix} = 306 \text{ МПа.}$$

- при затяжке:

$$\sigma_{3\max} = \max \begin{pmatrix} \sigma_{1m} + \sigma_{Rm} \\ \sigma_{1m} + \sigma_{Tm} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 184 + 7,8 \\ 184 + 100,8 \end{pmatrix} = 284,8 \text{ МПа.}$$

Проверка условий в рабочих условиях:

$$\sigma_{P\max} < 1,3 \cdot \sigma_{\sigma,m} \quad 303 \text{ МПа} < 338,3 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется

Проверка условий прочности при затяжке:

$$\sigma_{3\max} < K_T \cdot \sigma_{\sigma,m} \quad 284,8 \text{ МПа} < 338,3 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца рассчитывается по формуле 58 [14]:

$$\Theta = M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 2,5 \cdot 10^7 \cdot 1,51 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,89 \cdot 10^5} = 0,0043 \text{ рад.}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца определяем по [14] и равен $\Theta_d = 0.01$ рад.

$$\Theta < \Theta_d$$

$$0,0043 < 0,01 \cdot 1,3.$$

Условие выполняется

Проверка малоцикловой прочности элементов фланцевого соединения

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [4], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [17] не проводится.

Вывод по расчету:

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, болтов и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения. По произведенным расчетом можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает всем критериям надежности.

Прочность шпилек:

- при затяжке $\sigma_{B1} < \sigma_{ДБМ}$ 92 МПа < 358,8 МПа ;
- в рабочих условиях $\sigma_{B2} < \sigma_{ДБР}$ 91,5 МПа < 484 МПа ;

Статическая прочность соединения

- при затяжке $\sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{д.м}$ 303 МПа < 338,3 МПа.;
- в рабочих условиях $\sigma_{Pmax} < 1,3 \cdot \sigma_{д.м}$ 284,8 МПа < 338,3 МПа.;

Прочность прокладки $q < q_d$ 11,7 < 130

5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий

Так как теплообменник имеет четыре отверстия под технологические штуцера, то проверку на укрепление отверстия следует производить по самому большому отверстию. В связи с этим проведем проверку на укрепление отверстия под штуцер для входа щелочи условным диаметром 250 мм. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла.

На рисунке 5.7 представлена расчетная схема укрепления отверстия.

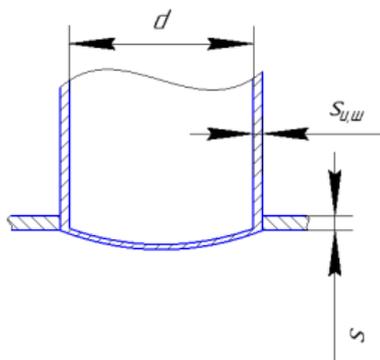


Рисунок 5.7 – Расчетная схема укрепления отверстия

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

43

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.6:

Таблица 5.6 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D = 600$
Марка стали 16ГС	
Внутреннее расчетное давление, МПа	$P = 0,261$
Исполнительная толщина стенки обечайки, мм	$s = 8$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c = 1,5$
Допускаемое напряжение при МПа	$\sigma_d = 173$
Коэффициент прочности сварных швов	$\varphi = 1$
Внутренний диаметр штуцера, мм	$d = 250$

Основной целью данного расчета является определение максимального диаметра неукрепленного отверстия и сравнение его с расчетным диаметром отверстия, если расчетное значение диаметра превышает предельный диаметр, то данное отверстие подлежит укреплению в целях компенсации возникающих напряжений в зоне отверстия.

Расчетный диаметр отверстия для штуцера входа и выхода воды Ду 200 мм :

$$d_p = 208 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$S_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P} = \frac{0,261 \cdot (200 + 2 \cdot 0,65)}{2 \cdot 1 \cdot 173 - 0,261} = 0,152 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия для штуцера входа пара Ду 250 мм :

$$d_p = 257 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$S_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P} = \frac{0,261 \cdot (257 + 2 \cdot 0,65)}{2 \cdot 1 \cdot 173 - 0,261} = 0,195 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия для штуцера выхода воздуха Ду 100 мм:

$$d_p = 109 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле 16 [23]:

$$S_{p.ш} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P} = \frac{0,261 \cdot (109 + 2 \cdot 0,65)}{2 \cdot 1 \cdot 173 - 0,261} = 0,12 \text{ мм.}$$

5.8 Поверочный расчет

Целью поверочного расчета является обеспечение механической надежности работы теплообменного аппарата по критериям:

- корпус – прочность, устойчивость;
- трубки – прочность, устойчивость и жесткость;
- трубные решетки – прочность и жесткость.

Расчет ведем в соответствии с [15].

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Исходные данные для поверочного расчета

Внутренний диаметр аппарата, мм;	$D = 600$
Давление в трубном пространстве, МПа;	$P_T = 0,261$
Давление в межтрубном пространстве, МПа;	$P_M = 0,289$
Температура трубок, °С	$t_T = 60$
Температура кожуха, °С	$t_K = 133,5$
Толщина стенки аппарата, мм;	$s_1 = 8$
Толщина стенки эллиптического днища, мм;	$s_2 = 8$
Наружный диаметр трубки, мм;	$d_T = 25$
Толщина стенки трубки, мм;	$s_T = 2$
Толщина трубной решетки, мм;	$s_P = 31$
Количество трубок, штук;	$N_{\text{труб}} = 218$
Длина трубок, мм;	$L = 3000$
Шаг между трубками в трубной решетке, мм;	$t_P = 32$
Диаметр аппаратного фланца, мм;	$D_H = 755$
Наружный диаметр прокладки, мм;	$D_P = 661$
Внутренний диаметр прокладки, мм;	$d_P = 620$
Высота прокладки, мм;	$h_P = 2$
Толщина тарелки фланца, мм;	$h_1 = 50$

Расчет вспомогательных величин

Внутренний радиус кожуха равен:

$$a = \frac{D}{2} = \frac{600}{2} = 300 \text{ мм.}$$

Согласно [18] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки для аппарата мм равно:

$$a_1 = \frac{D_B}{2} - \frac{d_H}{2} = \frac{583}{2} - \frac{25}{2} = 279 \text{ мм.}$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки вычисляется по формуле 1 [15]:

$$m_n = \frac{a}{a_1} = \frac{300}{279} = 1,075.$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку рассчитываются по формулам 2 и 3 [15]:

					ФЮРА.311359.001.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

Со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M = 1 - \frac{N_T \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1} = 1 - \frac{218 \cdot 25^2}{4 \cdot 279} = 0,562.$$

Со стороны трубного пространства:

$$\eta_T = 1 - \frac{N_T \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1} = 1 - \frac{218 \cdot (25 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 279} = 0,691.$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата

Определим половину длины теплообменной трубки:

$$l = \frac{L}{2} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ мм.}$$

Модуль упругости для материала СТ2 при температуре 60 °С определяется по таблице В1 [7]: $E_T = 1,95 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляется по формуле 4 [15]:

$$K_V = \frac{E_T (\eta_T - \eta_M)}{l} = \frac{1,95 \cdot 10^5 (0,691 - 0,562)}{1500} = 12,6.$$

Модуль упругости для материала сталь 1н при температуре 133,5 °С определяется по таблице В1 [7]: $E_K = 1,87 \cdot 10^5$ МПа.

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [15]:

$$\rho = \frac{K_V \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K} = \frac{12,6 \cdot 279 \cdot 2000}{1,87 \cdot 10^5 \cdot 8} = 4,493.$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух вычисляют по формулам 6 и 7 [15] для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_q = 1 + K_{qq} = 1 + 0 = 1.$$

$$K_p = 1 + K_{pp} = 1 + 0 = 1.$$

Коэффициент жесткости трубной решетки определяем по приложению Б [15]:

$$\psi_0 = 0,44.$$

Коэффициент ослабления трубной решетки определяем по приложению Б [15]:

$$\varphi_p = \frac{t - d_{оме}}{t} = \frac{32 - 25,7}{32} = 0,197.$$

Коэффициент системы кожух – решетка определяем по приложению В [15]:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = \frac{1,3}{\sqrt{279 \cdot 12}} = 0,027 \frac{1}{\text{мм}}.$$

Рассчитаем радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$R_1 = \frac{D_H + D}{4} = \frac{755 + 600}{4} = 338,7 \text{ мм.}$$

Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе определяется по приложению В [15]:

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5,5 \cdot R_1} = \frac{0,027 \cdot 300 \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot 8^3}{5,5 \cdot 338,7} = 4,091 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Согласно [15] примем $B_1 = d_p$, $E_1 = E_K$, тогда коэффициент жесткости фланца при изгибе рассчитается по приложению В [15]:

$$\begin{aligned} K_{\phi 1} &= \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right) = \\ &= \frac{1,87 \cdot 10^5 \cdot 50^3 \cdot 620}{12 \cdot 338,7^2} + 4,091 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,027 \cdot 50}{2}\right) = 1,121 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.} \end{aligned}$$

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляются по формуле 8 [15]:

$$\beta = \frac{1,82}{S_{TP}} \sqrt[4]{\frac{K_V \cdot S_{TP}}{\psi_0 \cdot E_T}} = \frac{1,82}{50} \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 50}{0,44 \cdot 1,97 \cdot 10^5}} = 0,011 \frac{1}{\text{мм}}.$$

Безразмерный параметр системы решетка – трубы рассчитывается по формуле 10 [15]:

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0,011 \cdot 279 = 3.$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Определим коэффициенты линейного расширения по таблице Г.1[7]:

$$\alpha_K = 11,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}},$$

$$\alpha_T = 11,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Температуру сборки аппарата примем $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб рассчитывается по формуле 12 [15]:

$$m_{CP} = 0,15 \cdot \frac{N_{TPYB} \cdot (d_H - s_T)^2}{a_1^2} = 0,15 \cdot \frac{218(25 - 2)^2}{279^2} = 0,222.$$

Приведенное давление вычисляются по формуле:

$$P_0 = P_{11} + P_{22} - P_{33} = 27,35 + 1,25 - 1,11 = 27,5 \text{ МПа,}$$

где,

$$P_{11} = (\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)) \cdot K_V \cdot l =$$

$$= (11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (133,5 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (60 - 20)) \cdot 12 \cdot 2000 = 27,35 \text{ МПа,}$$

$$\begin{aligned}
 p_{22} &= (\eta_T - 1 + m_{CP} + m_n \cdot (m_n + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)) \cdot p_m = \\
 &= (0,691 - 1 + 0,222 + 1 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot 4,4491 \cdot 1)) \cdot 0,291 = 1,25 \text{ МПа}, \\
 p_{33} &= (\eta_M - 1 + m_{CP} + m_n \cdot (m_n + 0,3 \cdot \rho \cdot K_q)) \cdot p_m = \\
 &= (0,562 - 1 + 0,212 + 1 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot 4,4491 \cdot 1)) \cdot 0,261 = 1,11 \text{ МПа},
 \end{aligned}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения рассчитывается по формуле 13 [15]:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = \frac{12 \cdot 300 \cdot 279}{0,011^2 \cdot 1,121 \cdot 10^7 \cdot 360} = 2,4.$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Ф1, Ф2, Ф3, определяют по табл.1 [15]:

$$\Phi_1 = 4,5;$$

$$\Phi_2 = 2,94;$$

$$\Phi_3 = 4,65.$$

Безразмерный параметр t рассчитывается по формуле 17 [15]:

$$t = 1 + 1,4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1 + 1,4 \cdot 3 \cdot (1,075 - 1) = 1,316.$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляются по формулам 14,15,16 [15]:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \Phi_1 \cdot (m_n + 0,5 \cdot (1 + m_n \cdot t)(t - 1)) = \\
 &= 4,5 \cdot (1,075 + 0,5 \cdot (1 + 1,075 \cdot 1,316)(1,316 - 1)) = 6,557,
 \end{aligned}$$

$$T_2 = \Phi_2 \cdot t = 2,94 \cdot 1,316 = 3,87,$$

$$T_3 = \Phi_3 \cdot m_n = 4,65 \cdot 1,075 = 5.$$

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца рассчитывается по формуле 21 [15]:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = \frac{1 + 0,027 \cdot 50}{2 \cdot 0,027^2} = 1652 \text{ мм}^2.$$

Так как фланцы на кожухе одинаковые, примем $m_1 = m_2$.

Приведенное давление на фланцы рассчитывается по формуле 20 [15]:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} (m_1 \cdot p_m - m_2 \cdot p_T) = \\
 &= \frac{12,612}{0,015 \cdot 1,121 \cdot 10^7} (1652 \cdot 0,507 - 1652 \cdot 0,91) = 0,02 \text{ МПа}.
 \end{aligned}$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, рассчитывают по формулам 18 и 19 [15]:

- изгибающий момент:

$$M_n = \left(\frac{a_1}{\beta}\right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} =$$

$$= \left(\frac{279}{0,011}\right) \cdot \frac{0,02 \cdot (6,557 + 4,493 \cdot 1) - 27,5 \cdot 3,87}{(6,557 + 4,493 \cdot 1)(5 + 4,493) - 3,87^2} = -4,12 \cdot 10^4 \frac{H \cdot мм}{мм}.$$

-перерезывающая сила:

$$Q_n = a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} =$$

$$= 279 \cdot \frac{27,5 \cdot (5 + 4,493) - 0,02 \cdot 3,87}{(6,557 + 4,493 \cdot 1)(5 + 4,493) - 3,87^2} = 849,8 \frac{H \cdot мм}{мм}.$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки, рассчитывают по формулам 23 и 24 [15]:

- изгибающий момент:

$$M_a = M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = M_n + (a - a_1) \cdot Q_n =$$

$$= -4,12 \cdot 10^4 + (300 - 279) \cdot 849,8 = -23360 \frac{H \cdot мм}{мм}.$$

- перерезывающая сила:

$$Q_a = m_n \cdot Q_n = 1,075 \cdot 849,8 = 913,8 \frac{H \cdot мм}{мм}.$$

Осевую силу, действующую на трубы, определяют по формуле 25 [15]:

$$N_T = \frac{\pi \cdot a_1}{N_{ТРУБ}} ((\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a) =$$

$$\frac{3,14 \cdot 279}{208} ((0,562 \cdot 0,507 - 0,691 \cdot 0,389) \cdot 279 + 4,5 \cdot 913,8 \cdot +$$

$$+ 2,94 \cdot 0,011 \cdot (-23360)) =$$

$$= 13580.$$

Зная максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой $l_{1R} = 1000$ мм, рассчитаем приведенную длину трубы для расчета прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу:

$$l_{1P} = \frac{l_{1R}}{3} = \frac{1000}{3} = 333,3.$$

Момент инерции поперечного сечения трубы рассчитывается по формуле:

$$J_T = \frac{\pi \cdot (d_H^4 - d_{ВН}^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (25^4 - 21^4)}{64} = 9623 \text{ мм}^4.$$

Изгибающий момент, действующий на трубы, определяется по формуле 26 [15]:

					ФЮРА.311359.001.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

$$M_T = \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot I_{IP}} (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) =$$

$$= \frac{1,95 \cdot 10^5 \cdot 9623 \cdot 0,011}{12,6 \cdot 279 \cdot 333,3} (2,94 \cdot 913,8 + 4,65 \cdot 0,011 \cdot (-23360)) =$$

$$= 26240 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Расчет усилий в кожухе

- усилие, распределенное по периметру кожуха, рассчитывается по формуле 27 [15]:

$$Q_K = \frac{a}{2} \cdot p_m - Q_n = \frac{300}{2} \cdot 0,389 - 849,8 = -791,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, рассчитывается по формуле 28 [15]:

$$M_K = \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n - T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_m}{2 \cdot \beta_1^2} =$$

$$\frac{4,091 \cdot 10^5}{4,493 \cdot 1,1 \cdot 10^7 \cdot 0,011} \cdot (3,869 \cdot 849,8 - 5 \cdot 0,011 \cdot (-41200)) - \frac{0,261}{2 \cdot 0,027^2} =$$

$$= 447 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух, определяется по формуле 29 [15]:

$$F = \pi \cdot D \cdot Q_K = 3,14 \cdot 600 \cdot (-791) = -1,492 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Проверка устойчивости при сжатии

Допускаемое осевое сжимающее усилие [27]:

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{II}}{[F]_E}\right)^2}} = \frac{2,3}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,3}{254,2}\right)^2}} = 2,21 \text{ МН},$$

где,

$$[F]_{II} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma_{16ГС}^P] =$$

- допускаемое осевое сжимающее

$$= 3,14 \cdot (600 + 8 - 1,1) \cdot (8 - 1,1) \cdot 173 = 2,3 \text{ МН},$$

усилие из условия прочности,

$$[F]_E = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda}\right) =$$

- допускаемое

$$= \frac{3,14 \cdot (600 + 8 - 1,1) \cdot (8 - 1,1) \cdot 1,87 \cdot 10^5}{1,1} \left(\frac{3,14}{9,33}\right) = 254,2 \text{ МН}$$

осевое сжимающее усилие при $\frac{1}{D} < 10$,

где

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s - c} = \frac{2,83 \cdot 2000}{600 + 8 - 1,1} = 9,33$$

Проверяем устойчивость

$$\frac{|F|}{[F]} < 1$$

$$\frac{|-1,496|}{[2,3]} = 0,65 < 1$$

Условие соблюдается

Расчетные напряжения в элементах конструкции

Принимаем трубную решетку, сваренную во фланец. Расчетная схема приведена на рисунке 5.8.

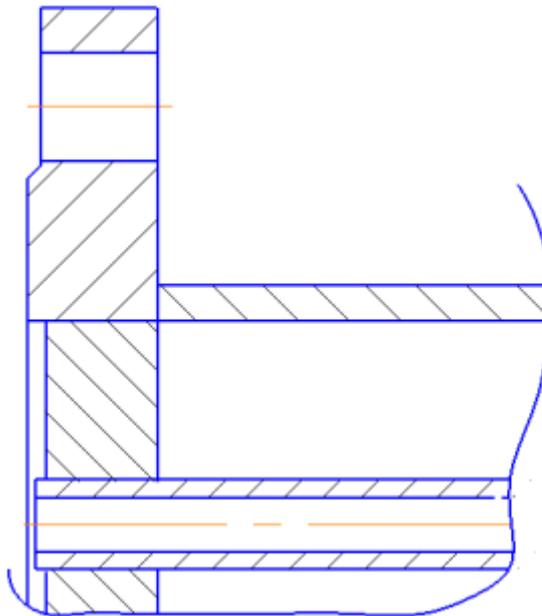


Рисунок 5.8 – Расчетная схема трубной решетки

Ширина тарелки фланца кожуха равна:

$$b_1 = \frac{D_H - D}{2} = \frac{755 - 600}{2} = 77,5 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину решетки в зоне кольцевой канавки равной толщине трубной решетки: $s_{1p} = s_p = 31 \text{ мм.}$

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом рассчитываются по формулам 30 и 31 [15]:

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{p1} = \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = \frac{6 \cdot |-4,12 \cdot 10^4|}{(50 - 1,5)^2} = 102,9 \text{ МПа.}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

- касательные напряжения:

$$\tau_{p1} = \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)^2} = \frac{|849,8|}{(50 - 1,5)} = 17,3 \text{ МПа.}$$

Коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки рассчитывается по формуле 35 [15]:

$$m_A = \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = \frac{0,011 \cdot (-23360)}{913,8} = -0,275.$$

Коэффициент А определяется по приложению Г [15] в зависимости от ω и m_A :

$$A = 0,315.$$

Так как $-1 \leq m_A \leq 1$, то максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки рассчитывается по формуле 34 [15]:

$$M_{\max} = A \frac{|Q_a|}{\beta} = 0,315 \frac{|913,8|}{0,011} = 26730 \frac{H \cdot \text{мм}}{\text{мм}}.$$

Проверка условия прочности на изгибающий момент:

$$\frac{|M_a|}{M_{\max}} = \frac{|-23360|}{26730} = 0,87 < 1$$

Условие прочности выполняется

Напряжения в перфорированной части трубной решетки рассчитываются по формулам 32 и 33 [15]:

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p (s_{1p} - c)^2} = \frac{6 \cdot 26730}{0,197(50 - 1,5)^2} = 339,2 \text{ МПа.}$$

- касательные напряжения:

$$\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_p (s_{1p} - c)} = \frac{|913,8|}{0,197(50 - 1,5)} = 94,7 \text{ МПа.}$$

Напряжения в кожухе в меридиональном направлении в месте присоединения к решетке рассчитываются по формулам 38 и 39 [15]:

- мембранные напряжения:

$$\sigma_{Mx} = \frac{|Q_K|}{(s_1 - c)} = \frac{|-791,5|}{(8 - 1,5)} = 113 \text{ МПа.}$$

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{ux} = \frac{6 |M_K|}{(s_1 - c)^2} = \frac{6 |447|}{(8 - 1,5)^2} = 54,7 \text{ МПа.}$$

Напряжения в кожухе в окружном направлении в месте присоединения к решетке рассчитываются по формулам 40 и 41 [15]:

- мембранные напряжения:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$\sigma_{M\phi} = \frac{|p_m| \cdot a}{(s_1 - c)} = \frac{300 |1,507|}{(8 - 1,5)^2} = 21,7 \text{ МПа.}$$

- изгибные напряжения:

$$\sigma_{u\phi} = 0,3 \cdot \sigma_{ux} = 0,3 \cdot 54,7 = 16,4 \text{ МПа.}$$

Напряжения в трубах в осевом направлении рассчитываются по формулам 42 и 43 [15]:

$$\sigma_{1m} = \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_m - s_m) s_m} = \frac{|13580|}{3,14 \cdot (25 - 2) 2} = 93,9 \text{ МПа.}$$

- суммарные напряжения:

$$\sigma_{2m} = \frac{(d_T - s_T) \cdot P_m}{2 \cdot s_T} = \frac{(25 - 2) \cdot 0,507}{2 \cdot 25} = 2,9 \text{ МПа.}$$

Проверка прочности трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 16ГС при температуре 133,5 °С определяем по таблице А.3 [7]:

$$\sigma_{\text{др}} = 173 \text{ МПа.}$$

Проверка условия статической прочности трубных решеток:

$$\frac{\max(\tau_{P1}, \tau_{P2})}{0,8 \cdot \sigma_{\text{др}}} < 1.$$

$$\frac{94,7}{0,8 \cdot 173} = 0,684 < 1.$$

Условие прочности выполняется

По таблице 2 [15] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки равной [W] = 0.7 мм.

$$W = \frac{1,2}{K_V \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| =$$

$$\frac{1,2}{12,6 \cdot 279} \cdot |6,557 \cdot 849,8 + 3,87 \cdot 0,011 \cdot (-4120)| = 0,631$$

$$0,631 < 0,7$$

Проверка условия статической прочности труб:

$$\frac{\max(\sigma_{1t}, \sigma_{2t})}{\sigma_{\text{дт}}} < 1.$$

$$\frac{130}{169} = 0,9 < 1.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

5.9 Подбор и расчет стандартной опоры аппарата

Целью расчета является подбор седловых опор на основе рассчитанной максимальной массы теплообменника, а также проверка несущей способности корпуса аппарата от воздействия опорной нагрузки от веса аппарата.

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях водой с плотностью 1000 кг/м³.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Плотность материала обечайки (16ГС), кг/м ³	$\rho_{об} = 7850$
Плотность материала трубок и трубных решеток (сталь 20), кг/м ³	$\rho_{тр} = 7856$
Наружный диаметр обечайки, м	$D_{нар} = 616$
Внутренний диаметр обечайки, м	$D_{вн} = 600$
Длина обечайки, м	$L = 3$
Внутренний диаметр трубки, м	$d = 0.021$
Наружный диаметр трубки, м	$d_n = 0.025$
Длина трубки, м	$l = 3$
Количество трубок	$N_{труб} = 218$
Толщина трубной решетки	$S_{тр} = 0.031$
Плотность воды, кг/м ³	$\rho_v = 1000$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9.81$

Масса обечайки:

$$\begin{aligned}
 m_{об} &= \left[\frac{\pi \cdot ((D_H^{кп})^2 - (D_B^{кп})^2)}{4} \cdot L \right] \cdot \rho_{ст16гс} = \\
 &= \left[\frac{3,14 \cdot ((0,616)^2 - (0,6)^2)}{4} \cdot 3 \right] \cdot 7850 = \\
 &= 359,6 \text{ кг.}
 \end{aligned}$$

Масса трубок:

$$\begin{aligned}
 m_{труб} &= \left[N \cdot \frac{\pi \cdot ((d_H)^2 - (d_{вн})^2)}{4} \cdot L \right] \cdot \rho_{ст20} = \\
 &= \left[218 \cdot \frac{3,14 \cdot ((0,025)^2 - (0,021)^2)}{4} \cdot 3 \right] \cdot 7856 = 742 \text{ кг.}
 \end{aligned}$$

Масса трубных решеток:

$$m_{РЕШ} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} [D_{НАР}^2 - d_n^2 \cdot N] \cdot S_{ТР} \cdot \rho_{ст16ГС} =$$

$$= 2 \cdot \frac{3,14}{4} [0,616^2 - 0,025^2 \cdot 218] \cdot 0,031 \cdot 7850 = 92,9 \text{ кг.}$$

Масса днища:

$$m_{ДН} = s \cdot F \cdot \rho_{16ГС} = 0,008 \cdot 0,45 \cdot 7850 = 28,26 \text{ кг.}$$

Масса крышки:

$$m_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{НАР}^2}{4} s \cdot \rho_{16ГС} = \frac{3,14 \cdot 0,616^2}{4} \cdot 0,008 \cdot 7850 = 18,7 \text{ кг.}$$

Общая масса аппарата составит:

$$m_{АП} = m_{ДН} + m_{ОБ} + m_{ТР} + m_{РЕШ} + m_{КР} =$$

$$= 28,26 + 359,6 + 742 + 92,9 + 18,7 = 1241 \text{ кг.}$$

Масса воды в аппарате составит:

$$m_{ВОД} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ВН}^2 \cdot L \cdot \rho_{В} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,6^2 \cdot 3 \cdot 1000 = 847,8 \text{ кг.}$$

Массу вспомогательных устройств примем за 20% от массы аппарата:

$$m_{В.С} = 0,2 \cdot m_{ВОД} = 0,2 \cdot 847,8 = 169 \text{ кг.}$$

Общая нагрузка на опоры:

$$G = (m_{АП} + m_{В.С} + m_{ВОД}) \cdot g = (1241 + 847,8 + 169) \cdot 9,8 = 22126 \text{ Н.}$$

По полученным значениям по [19] принимаем опору 40-314 ГОСТ 26-2091-93. На рисунке 5.9 представлена расчетная схема седловой опоры.

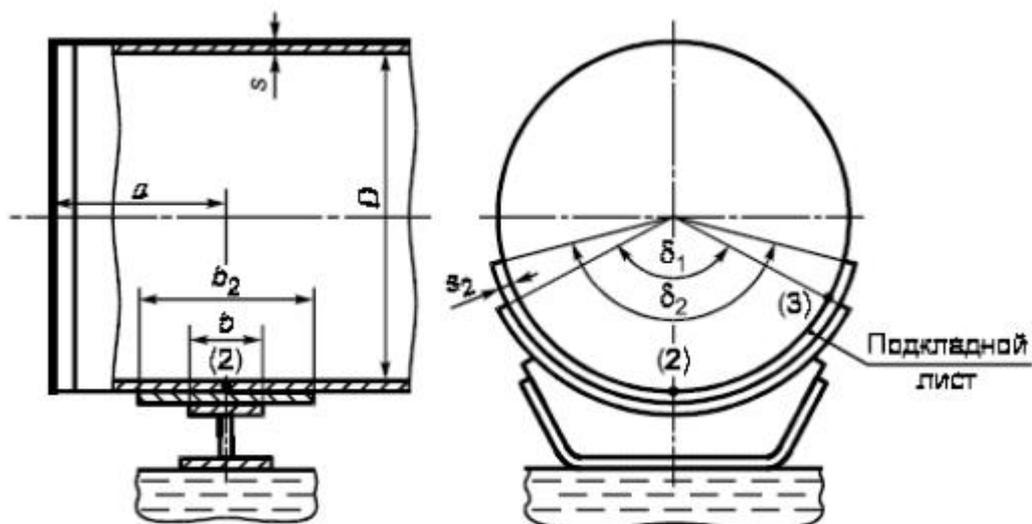


Рисунок 5.9 - Расчетная схема седловой опоры

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения, симметрично опёртый на две опоры [24]. Расчетная схема приведена на рисунке 5.10

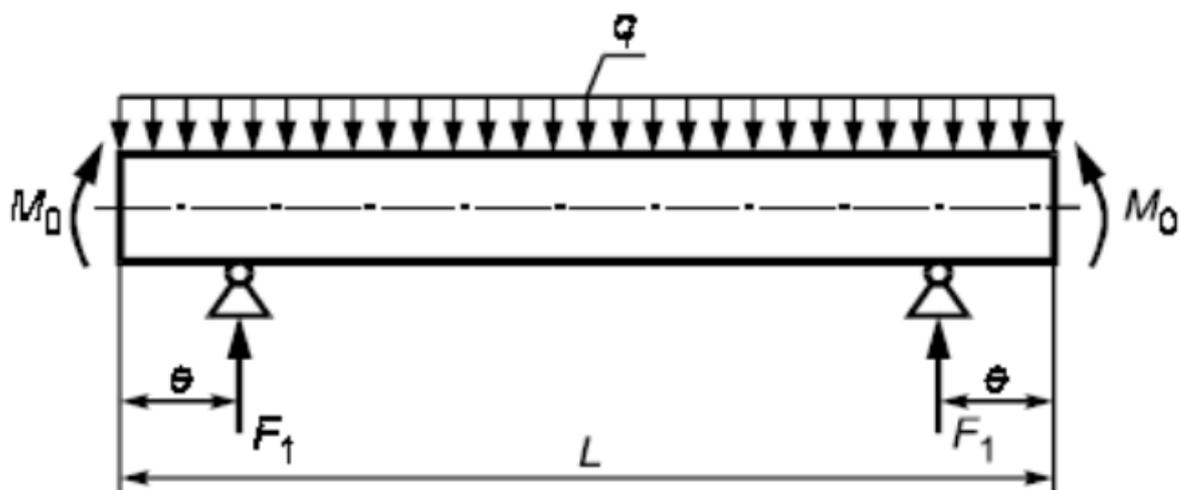


Рисунок 5.10 - Расчетная схема определения усилий

Таблица 5.9 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Безразмерный коэффициент, учитывающий условия гидроиспытаний	$K2 = 1.05$
Длина цилиндрической части сосуда, мм	$L = 3790$
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D = 600$
Внутреннее избыточное давление, МПа	$Pи = 0,389$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;	$\varphi = 1$
Ширина седловой опоры, мм	$b = 180$
Исполнительная толщина подкладного листа, мм	$s2 = 14$
Ширина подкладного листа, мм	$b2 = 300$
Допускаемое напряжение при 20°C, МПа	$\sigma_{20} = 196$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда, мм	$a = 350$
Длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм	$e=350$
Угол охвата седловой опоры, °	$\delta 1 = 120$
Угол охвата сосуда подкладным листом, °	$\delta 2 = 140$
Вес аппарата при гидроиспытаниях, Н	$Gап = 29563$
Модуль продольной упругости при 20°C, МПа	$E20 = 1.99 \cdot 10^5$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм	$c = 1,5$
Толщина стенки аппарат, мм	$s = 8$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

56

Распределенную нагрузку и изгибающий момент, действующие на обечайку (рисунок 5.8) вычисляют по формулам 28,29 [24]:

- распределенная нагрузка:

$$q = \frac{G_{АП}}{L} = \frac{22126}{3790} = 5,838 \frac{H}{мм}.$$

- опорное усилие

$$F = \frac{G_{АП}}{2} = \frac{22126}{2} = 11063 H.$$

- изгибающий момент:

$$M_0 = q \frac{D^2}{16} = 5,838 \cdot \frac{600^2}{16} = 131400 H \cdot мм.$$

- момент над опорой

$$M_1 = \left| \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right| = \left| \frac{5,838 \cdot 350^2}{2} - 131400 \right| = 2,26 \cdot 10^5 H \cdot мм.$$

- Максимальный момент между опорами:

$$M_{12} = M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 =$$

$$131400 + 11063 \cdot \left(\frac{3790}{2} - 350 \right) - \frac{5,838}{2} \cdot \left(\frac{3790}{2} \right)^2 = 5,55 \cdot 10^6 H \cdot мм.$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой вычисляют по формуле 33 [24]:

$$Q_1 = \frac{L - 2 \cdot a}{L} \cdot F_1 = \frac{3790 - 2 \cdot 350}{3790} \cdot 11063 = 9020 H \cdot мм.$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Согласно [24] примем:

$$y = \frac{D}{s} = \frac{600}{14} = 42,8,$$

$$x = \frac{L}{D} = \frac{3790}{600} = 6,3.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

57

Определим коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью по формуле 36 [24]:

$$K_9 = \max(a_{11} - a_{12} - a_{13}, 1) = \max(1,882 - 1,338 - 0,295, 1) = 1,$$

где,

$$\begin{aligned} a_{11} &= 1,6 - 0,20924 \cdot (x-1) + 0,028702 \cdot x \cdot (x-1) + \\ &+ 0,4795 \cdot 10^{-3} y \cdot (x-1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} y \cdot x(x-1) = \\ &= 1,6 - 0,20924 \cdot (6,3-1) + 0,028702 \cdot 6,3 \cdot (6,3-1) + \\ &+ 0,4795 \cdot 10^{-3} \cdot 42,8 \cdot (6,3-1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 42,8(6,3-1) = 1,56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{12} &= 0,29936 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 \cdot (x-1) - 0,85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x-1) \cdot y^2 + \\ &+ 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x-1) \cdot y = 0,29936 \cdot 10^{-2} \cdot 6,3^2 \cdot (6,3-1) - \\ &- 0,85692 \cdot 10^{-6} \cdot (6,3-1) \cdot 42,8^2 + \\ &+ 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3^2 \cdot (6,3-1) \cdot 42,8 = 0,635, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{13} &= 0,7955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x-1) \cdot x - 0,82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x-1) \cdot x^3 + \\ &+ 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x-1) \cdot y^3 = 0,7955 \cdot 10^{-8} \cdot 42,8^2 \cdot (6,3-1) \cdot 6,3 - \\ &- 0,82748 \cdot 10^{-4} \cdot (6,3-1) \cdot 6,3^3 + \\ &+ 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (6,3-1) \cdot 6,3^3 = 0,112. \end{aligned}$$

Проверка условия прочности:

$$\begin{aligned} \frac{P \cdot D}{s} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot s} &< \sigma_d \\ \frac{0,507 \cdot 600}{14} + \frac{4 \cdot 5,55 \cdot 10^6 \cdot 1}{3,14 \cdot 600^2 \cdot 14} &= 39,3 \text{ МПа} < 196 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Допускаемый изгибающий момент определяем по формуле 21 [24]:

$$M_d = \frac{M_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{II}}{M_E}\right)^2}} = \frac{7,072 \cdot 10^8}{\sqrt{1 + \left(\frac{7,072 \cdot 10^8}{1,184 \cdot 10^{10}}\right)^2}} = 7,059 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где,

M_{II} -допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$M_{II} = \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c)(s - c) \cdot \sigma_{20} = \\ = \frac{3,14}{4} \cdot 600 \cdot (600 + 14 - 1,5)(14 - 1,5) \cdot 196 = 7,072 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

M_E -допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости определяется по формуле 23 [24]:

$$M_E = \frac{8,9 \cdot 10^{-5} \cdot E_{20}}{1,8} \cdot D^3 \cdot \left(\frac{100 \cdot s}{D}\right)^{2,5} = \\ = \frac{8,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5}{1,8} \cdot 600^3 \cdot \left(\frac{100 \cdot 14}{600}\right)^{2,5} = 1,184 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{M_{12}}{M_d} = \frac{5,55 \cdot 10^6}{7,059 \cdot 10^8} = 0,007 < 1$$

Проверка несущей способности обечайки в области опорного узла. Несущая способность по рекомендации [24] проверяется в точках 2 и 3 рисунок 5.7.

Параметр, определяемый расстоянием до дна, вычисляют по формуле 39 [24]:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot \frac{350}{600} \cdot \sqrt{\frac{14-1,5}{600}} = 0,218.$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле 40 [24]:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot \frac{250}{\sqrt{600 \cdot (14-1,5)}} = 2,866.$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующее в области опорного узла, вычисляют по формуле 41 [24]:

$$\sigma_{MX} = \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = \frac{4 \cdot 2,26 \cdot 10^5}{314 \cdot 600^2 \cdot (14-1,5)} = 0,076 \text{ МПа}.$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры по [24]:

$$K_{10} = \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0,25\right) = \max\left(\frac{e^{-2,866} \cdot \sin(2,866)}{2,866}, 0,25\right) = 0,25.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot (\beta_1)}{\beta_1} = \frac{1 - e^{-2,866} \cdot (2,866)}{2,866} = 0,349 .$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b_2}{D} \delta_2} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{600}{14-1,5}} \cdot \frac{350}{600} \cdot 2,442} = 0,262 .$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата по [24]:

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_2}{\sin(0,5 \cdot \delta_2)} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot 2,442}{\sin(0,5 \cdot 2,442)} = 0,852 .$$

$$K_{13} = \frac{\max(1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0)}{\sin(0,5 \cdot \delta_2)} = \frac{\max(1,7 - \frac{2,1 \cdot 2,442}{3,14}, 0)}{\sin(0,5 \cdot 2,442)} = 0,072 .$$

$$K_{14} = \frac{(1,45 - 0,43 \cdot \delta_2)}{\sin(0,5 \cdot \delta_2)} = \frac{(1,45 - 0,43 \cdot 2,442)}{\sin(0,5 \cdot 2,442)} = 0,426 .$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища по [24]:

$$K_{15} = \min(1, \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}) = \min(1, \frac{0,8 \cdot \sqrt{0,218} + 6 \cdot 0,218}{2,442}) = 0,69 .$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65 + 6 \cdot \gamma}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 1 - \frac{0,65 + 6 \cdot 0,218}{1 + (6 \cdot 0,218)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot 2,442}} = 0,843 .$$

По таблице 1 [24] определим безразмерные коэффициенты:

$$v_{12} = \frac{-0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{-0,23 \cdot 0,072 \cdot 0,69}{0,852 \cdot 0,25} = -0,054 .$$

$$v_{13} = \frac{-0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_2)} = \frac{-0,53 \cdot 0,349}{0,426 \cdot 0,843 \cdot 0,262 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,442)} = -2,095 .$$

$$v_{212} = -\sigma_{MX} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = -0,083 \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 196} = -3,703 \cdot 10^{-4} .$$

$$v_{222} = (\frac{P_H}{4 \cdot (s-c)} - \sigma_{MX}) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = (\frac{1,45}{4 \cdot (14-1,5)} - 0,083) \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 196} = 0,1 .$$

$$v_{223} = (\frac{P_H \cdot D}{2 \cdot (s-c)}) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = (\frac{1,45 \cdot 600}{2 \cdot (14-1,5)}) \cdot \frac{1}{1,05 \cdot 196} = 0,201 .$$

$$K_{112} = \frac{1 - v_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212}\right)^2 + (1 - v_{212}^2) \cdot v_{12}^2}} =$$

$$\frac{1 - (-3,914 \cdot 10^{-4})^2}{\left(\frac{1}{3} + (-0,054) \cdot (-3,914 \cdot 10^{-4})\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot (-3,914 \cdot 10^{-4})\right)^2 + (1 - (-3,914 \cdot 10^{-4})^2) \cdot (-0,054)^2}} = 1,49 .$$

$$K_{122} = \frac{1 - v_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213}\right)^2 + (1 - v_{213}^2) \cdot v_{13}^2}} =$$

$$\frac{1 - (0)^2}{\left(\frac{1}{3} + (-2,095) \cdot (0)\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + (-2,095) \cdot (0)\right)^2 + (1 - (0)^2) \cdot (-0,054)^2}} = 0,407 .$$

$$K_{113} = \frac{1 - v_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222}\right)^2 + (1 - v_{222}^2) \cdot v_{12}^2}} =$$

$$\frac{1 - (0,1)^2}{\left(\frac{1}{3} + (-0,054) \cdot (0,1)\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + (-0,054) \cdot (0,1)\right)^2 + (1 - (0,1)^2) \cdot (-0,054)^2}} = 1,5 .$$

$$K_{123} = \frac{1 - v_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223}\right)^2 + (1 - v_{223}^2) \cdot v_{13}^2}} =$$

$$\frac{1 - (0,201)^2}{\left(\frac{1}{3} + (-2,095) \cdot (0,201)\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + (-2,095) \cdot (0,201)\right)^2 + (1 - (0,201)^2) \cdot (-2,095)^2}} = 0,488 .$$

Определим безразмерные коэффициенты для определения предельного напряжения изгиба:

$$K_{1,2} = \min(K_{112}, K_{122}) = 0,407,$$

$$K_{1,3} = \min(K_{113}, K_{123}) = 0,488.$$

Предельное напряжение изгиба для 2 и 3 точки соответственно определяется по формуле 1 [24]:

$$\sigma_2 = K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 0,407 \cdot 1,05 \cdot 196 = 83,8 \text{ МПа},$$

$$\sigma_3 = K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 0,488 \cdot 1,05 \cdot 196 = 100,4 \text{ МПа}.$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении определяется по формуле 43 [24]:

$$F_{D2} = \frac{0,7 \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{D(s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = \frac{0,7 \cdot 83,8 \cdot \sqrt{600(14-1,5)} \cdot (14-1,5)}{0,25 \cdot 0,852} = 229600 \text{ Н}.$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

61

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении определяется по формуле 44 [24]:

$$F_{D3} = \frac{0,7 \cdot \sigma_3 \cdot \sqrt{D(s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 100,4 \cdot \sqrt{600(14-1,5)} \cdot (14-1,5)}{0,426 \cdot 0,262 \cdot 0,843} = 802000 \text{ Н.}$$

Проверка условия прочности:

$$F_1 < \min(F_{D2}, F_{D3})$$

$$11063 < 229600$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры, определяется по формуле 46 [24]:

$$F_e = F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 11063 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{600}{14-1,5}} \cdot 0,072 \cdot 0,69 = 3262 \text{ Н.}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие определяем по формуле 13 [24]:

$$F_D = \pi \cdot (D+s-c)(s-c) \cdot \sigma_{20} \cdot \varphi =$$

$$3,14 \cdot (600+14-1,5)(14-1,5) \cdot 196 \cdot 1 = 3,94 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{M_1}{M_D} + \frac{F_E}{F_D} < 1$$

$$\frac{2,66 \cdot 10^5}{7,059 \cdot 10^8} + \frac{3262}{3,94 \cdot 10^6} < 1$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

62

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр Н.М Кижнера	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад инженера 21760 руб Должностной оклад руководителя 30140 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации основных фондов 33,3% Районный коэффициент 1,3
3. Социальные отчисления	Социальные отчисления 30% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений;
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ; Разработка диаграммы Ганта; Формирование сметы затрат на исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения производителей котлоагрегатов с учетом корректировки
2. Диаграмма Ганта проведения исследования
3. Бюджет затрат на исследование

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г	Кондедат экономических наук, доцент		24.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич		24.04.21

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Технологические процессы синтеза и разложения на фракции сложных веществ основаны на использовании эндотермических и экзотермических реакций. Перераспределение тепла в замкнутом контуре – принцип работы установки. Теплообменники в химической промышленности являются основным оборудованием, наравне с реакторами и ректификационными колоннами. В пищевой промышленности стерилизация и обеззараживание продуктов происходит при повышенных температурах.

Есть несколько основных типов теплообменников, отличающиеся своей эффективностью, простотой обслуживания, применяемыми средами.

В данной работе проводится проектирование теплообменника для нагрева воды.

Цель данной работы – проектирование теплообменного аппарата для нагрева воды сухим насыщенным паром, с точки зрения финансового менеджмента и ресурсоэффективности. Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи: анализ конкурентоспособности типов теплообменников, планирование работ в рамках разрабатываемого проекта, а также расчет бюджета проекта.

6.1 Анализ конкурентных технических решений

Чтобы выбрать тип проектируемого теплообменника, нужно сравнить несколько различных типов по конкурируемым показателям. В качестве выбора типов теплообменника будут использованы: кожухотрубчатый, кожухотрубчатый с U образными трубками, подогреватель типа труба в трубе, пластинчатый теплообменник.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Зарубайко Е.Е</i>						64	93
<i>Пров.</i>	<i>Тихонов В.В</i>							
<i>Консульт</i>								
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук ООП</i>						<i>НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61</i>		

Таблица 6.1- Оценочная карта для сравнения конкурентных особенностей типов теплообменника

Тип теплообменника	Процент КПД	Ремнт.приг.	Качество материала	Простота обслуживания	Цена	Надёжность	Сумма
Труба в трубе	7	7	7	8	6	9	44
Пластинчатый теплообменник	9	6	8	8	8	9	48
Кожухотрубчатый	9	9	9	8	8	8	51
Кожухотрубчатый с U-трубками	9	7	6	9	6	6	43
Важность (b_i)	5	5	5	4	3	5	27
Вес (W_i)	0,185	0,185	0,185	0,148	0,111	0,185	1

Таблица 6.2- Оценочная карта для сравнения конкурентных особенностей типов теплообменника с учетом корректировки

Производитель	Эффективность	Ремнт.приг.	Качество материала	Экологичность	Цена	Надёжность	Сумма
Труба в трубе	1,30	1,30	1,30	1,19	0,67	1,67	7,41
Пластинчатый теплообменник	1,67	1,11	1,48	1,19	0,89	1,67	8,00
Кожухотрубчатый	1,67	1,67	1,67	1,19	0,89	1,48	8,56
Кожухотрубчатый с U-трубками	1,67	1,30	1,11	1,33	0,67	1,11	7,19

Анализ по оценочной карте показал, что из всех типов теплообменников лучше всего подойдут пластинчатый и кожухотрубчатый с прямыми трубками. Теплообменник пластинчатого типа довольно компактный, но уровень его ремонтпригодности очень низкий. Так как при его разборе можно нарушить расположение пластин и эффективность будет низкой. Для его чистки и ремонта используются специальные сервисные службы.

Кожухотрубчатый теплообменник выигрывает в этом плане, эффективность его такая же, но в плане ремонтпригодности он предпочтителен, так как и отремонтировать и почистить трубки от отложений можно своими силами. Поэтому выбран кожухотрубчатый теплообменник.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

Все этапы разработки должны быть упорядочены во времени. Необходимо определить последовательность работ, являющуюся наиболее рациональной с точки зрения минимальных затрат времени на осуществление всего комплекса работ.

Планирование работы заключается в следующем: составление перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в рабочих днях; построение линейного или сетевого графика и его оптимизации [19].

Для реализации работы над НИР вся работа должна быть поделена на временные отрезки. Должна быть осуществлена примерная оценка максимального времени работы над задачей и минимальное время.

Для небольших работ целесообразно применять линейный график. Для определения ожидаемого значения продолжительности работы применяют формулу, основанную на использовании двух оценок:

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max})}{5},$$

где t_{\min} - время, необходимое для выполнения работы при неблагоприятных условиях;

t_{\max} - время, необходимое для выполнения работы при благоприятных условиях.

Пример для постановки задачи:

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max})}{5} = \frac{(3 \cdot 1 + 2 \cdot 1)}{5} = 1 \quad (6.1)$$

Коэффициент календарности определяется (для шестидневной рабочей недели) по следующей формуле

$$K_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{(T_{КАЛ} - T_{ВЫХ} - T_{ПР})} = \frac{365}{(365 - 66)} = 1,22$$

Перечень работ, исполнители, а также оценка трудоемкости отдельных видов работ приводится в таблице 4.3.

Таблица 6.3 - Трудоемкость работ

Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ,			Длительность работ, дни	
		tmin	tmax	toж	Тр	Тк
Составление и получение задания	Научный руководитель	1	1	1	1	1
	Инженер	1	1	1	1	1
Обзор и анализ литературы по теме	Инженер	5	7	6	6	7
Тепловой расчет теплообменника	Инженер	5	10	7	7	9
Расчет фланцев	Инженер	5	12	8	8	10
Расчет устойчивости	Инженер	5	8	6	6	7
Расчет опор	Научный руководитель	2	3	2	2	2
	Инженер	7	13	9	9	11
Поверочный расчет	Инженер	7	12	9	9	11
Доработка проекта	Инженер	5	10	7	7	9
Обработка результатов	Инженер	5	10	7	7	9
Анализ результатов	Инженер	7	15	10	10	12
	Научный руководитель	3	5	4	4	5
Оформление результатов расчета	Инженер	5	8	6	6	7
	Итого:	63	115	83	83	101

Для иллюстрации плана графика работ по исследованию построим диаграмму Ганта

Диаграмма Ганта проекта представлена на рисунке 6.1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

67



Рисунок 4.1 - Диаграмма Ганта исследования

Из диаграммы Ганта видно, что общее время работы над исследованием занимает 101 календарный день, а само исследование поделено на 12 задач. При получении задания 1.03.2021 инженер выполнит полностью исследование к 9.06.2021.

6.3 Бюджет научно-технического исследования

6.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Для написания ВКР были приобретены бумага и канцелярские товары.

Стоимость всей канцелярии составляет 4100 рублей.

6.3.2 Амортизация основных средств

При выполнении исследования использовался компьютер поэтому в затратах на исследование необходимо учесть его амортизацию за время использования. Расчет амортизации ведем линейным способом.

Первоначальная стоимость ПК 50000 рублей;

Срок полезного использования для машин офисных код 330.28.23.23 составляет 2-3 года. Тогда норма амортизации составит:

$$A_H = \frac{1}{n} \cdot 100\% = 33,3\% \quad (6.2)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$I_{\text{ОСН}}^{\text{АМ}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ.ГОД}}} \cdot A_H \cdot C_{\text{КОМП}} = \frac{101}{365} \cdot 0,333 \cdot 50000 = 4607,3 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

Где,

$T_{\text{КАЛ}} = 101$ день - число календарных дней работы над исследованием.

$T_{\text{КАЛ.ГОД}} = 365$ - действительный годовой фонд календарного времени.

6.3.3 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Расчет заработной платы производится на основании перечня работ и трудоемкости работ. Баланс рабочего времени для 6 дневной рабочей недели представлен в таблице 6.4. Расчет зарплаты представлен в таблице 6.5.

Таблица 6.4- Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (для инженера)

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{Z_{\text{М(ИНЖЕНЕР)}} \cdot M}{F_{\text{Д}}} = \frac{21760 \cdot 10,4}{243} = 931,3 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

Где,

$Z_{\text{М(ИНЖЕНЕР)}} = 21760$ руб. оклад инженера;

$M = 10,4$ мес – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{Д}} = 243$ дня- годовой фонд рабочего времени;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{Z_{\text{М(РУКОВОДИТЕЛЬ)}} \cdot M}{F_{\text{Д}}} = \frac{30140 \cdot 10,4}{243} = 1290 \text{ руб.} \quad (6.4)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Где,

$Z_{\text{М(РУКОВОДИТЕЛЬ)}} = 30140$ руб.– оклад руководителя (для доцента);

Затраты на заработную плату:

$$Z_{\text{П}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}$$

$Z_{\text{ОСН}}$ – основная заработная плата, руб.

$Z_{\text{ДОП}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Заработная плата основная:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ДН}} \cdot T_{\text{Р}} \cdot (1 + K_{\text{ПР}} + K_{\text{Д}}) \cdot K_{\text{Р}}$$

$Z_{\text{ДН}}$ – среднедневная заработная плата, руб.

$K_{\text{ПР}}$ – премиальный коэффициент (0,3- 0);

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

$K_{\text{Р}}$ – районный коэффициент (для Томска 1,3);

$K_{\text{Р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни

Таблица 6.5 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Здн, руб.	Кпр	Кд	Кр	Тр	Зосн
Инженер	931,3	0,1	0,2	1,3	76	119615,2
Научный руководитель	1290,0	0,3	0,3	1,3	7	18782,4
Итого:						138397,6

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

$$Z_{\text{ДОП}} = 0,1 \cdot Z_{\text{ОСН}} = 0,1 \cdot 138397,6 = 13839,7 \text{ руб.} \quad (6.5)$$

Затраты на заработную плату

$$Z_{\text{П}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} = 138397,6 + 13839,7 = 152237,3 \text{ руб.} \quad (6.6)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

70

6.3.4 Страховые отчисления

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Затраты на социальные нужды рассчитываются как доля (30%) от затрат на оплату труда:

$$I_{\text{СОЦ}} = 0,3 \cdot Z_{\text{П}} = 0,3 \cdot 152237,3 = 45671,2 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

6.3.5 Накладные расходы

При выполнении данного исследования учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} I_{\text{НАК}} &= 0,16 \cdot (I_{\text{МАТ}} + Z_{\text{П}} + I_{\text{СОЦ}} + I_{\text{АМ}}) = \\ &= 0,16 \cdot (4100 + 152237,3 + 45671,2 + 4607,2) = 33058,5 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Смета затрат на исследование представлена в таблице 6.6

Таблица 6.6- Смета затрат на исследование

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	4100,0	1,71%
Амортизация основных средств	4607,3	1,92%
Затраты на дополнительную заработную плату	13839,8	5,77%
Накладные расходы	33058,5	13,79%
Страховые взносы	45671,2	19,06%
Затраты на основную заработную плату	138397,6	57,74%
Общий бюджет	239674,3	100,00%

В ходе планирования работы выявлено, что общая работа над проектом займет 101 календарный день из них 83 рабочих, из которых 76 дней работал инженер и 7 дней работал руководитель. Общий бюджет проектирования составил 239674,3 руб.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

6.4 SWOT анализ

SWOT представляет собой комплексный анализ инженерного проекта.

Проект подразумевает проектирование воздушного охладителя. Поэтому SWOT анализ даст четкое представление необходимости в проектировании предприятию. Матрица SWOT представлена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Проверенная опытом эксплуатации конструкция теплообменника</p> <p>С2. Возможность установки установки напорах, что компактно.</p> <p>С3. Простота эксплуатации и ремонта</p> <p>С4. Разработанная методология расчета теплообменника ТПУ</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Возможны проблемы в обслуживании при попадании загрязненного теплоносителя</p> <p>Сл2. Не рассмотрены варианты зарубежных аналогов</p> <p>Сл3. Долгий ввод в эксплуатацию из-за монтажа подводящих линий</p> <p>Сл4. Дополнительные затраты при установке подогревателя на высоте</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Возможность улучшить современные теплообменники</p> <p>В3. Возможность создания собственной базы теплообменников и сервисного обслуживания</p> <p>В4. Сокращение издержек при изготовлении теплообменника на базе предприятия</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие данных о возможных проблемах в устойчивости</p> <p>У2. Возможна погрешность в расчетах вибрационной составляющей</p> <p>У3. Ограничения со стороны получения разрешительных документов Ростехнадзора</p>

После построения матрицы SWOT необходимо выявить соответствие слабых и сильных сторон проекта внешним условиям.

Поэтому на данном этапе нужно построить интерактивную матрицу проекта. Она поможет разобраться с различными комбинациями. Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4.8-4.11

Таблица 6.8- Интерактивная матрица проекта Силы- возможности

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	-	+
	B3	-	-	-	+
	B4	+	+	-	0

Таблица 6.9- Интерактивная матрица проекта Слабые стороны- возможности

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	-	0
	B3	-	-	-	+
	B4	-	-	-	-

Таблица 6.10- Интерактивная матрица проекта Силы- угрозы

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	-	-	-
	У2	+	+	-	-
	У3	+	-	-	-

Таблица 6.11- Интерактивная матрица проекта Слабые стороны- угрозы

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	-	+	+
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-

Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 6.12

Таблица 6.12-Итоговая матрица SWOT анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Проверенная опытом эксплуатации конструкция теплообменника С2. Возможность установки установки на опорах, что компактно. С3. Простота эксплуатации и ремонта С4. Разработанная методология расчета теплообменника ТПУ</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Возможны проблемы в обслуживании при попадании загрязненного теплоносителя Сл2. Не рассмотрены варианты зарубежных аналогов Сл3. Долгий ввод в эксплуатацию из-за монтажа подводных линий Сл4. Дополнительные затраты при установке подогревателя на высоте</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность улучшить современные теплообменники В3. Возможность создания собственной базы теплообменников и сервисного обслуживания В4. Сокращение издержек при изготовлении теплообменника на базе предприятия</p>	<p>Завод при проектировании и внедрении может использовать результаты исследования. Конструкция теплообменника довольно простая.</p>	<p>Проблемы с загрязненностью среды устанавливаются установкой фильтров на входе в теплообменник. Монтаж линий формируется на стадии завершения проекта. При подъеме на высоте нужно изменить строительные конструкции(единичный случай).</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие данных о возможных проблемах в устойчивости У2. Возможна погрешность в расчетах вибрационной составляющей У3. Ограничения со стороны получения разрешительных документов Ростехнадзора</p>	<p>Конструкции кожухотрубчатых теплообменников давно эксплуатируются в России. Поэтому как таковых проблем не возникнет. Расчеты сделаны таким образом, что в случае нестыковки легко переделываются.</p>	<p>Проблемы лицензирования решаются, путем четкого следования стандартам и ГОСТам. Даже если что-то пойдет не так, это легко корректируется.</p>

В результате выполнения SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что проект имеет следующие преимущества: проверенная опытом эксплуатация, уровень ремонтпригодности

его очень высок. Несмотря на преимущества, есть и слабые стороны проекта: возможные проблемы в обслуживании, дополнительные капиталовложения. Слабые стороны можно решить повышением квалификации персонала.

Выводы по разделу.

1. При оценке коммерческого потенциала и научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения были установлены потенциальные потребители результатов исследования, коими являются: кафедра химической технологии
2. При анализе конкурентных технических решений теплообменников был выбран кожухотрубчатый теплообменник. Главными критериями выбора были эффективность и ремонтпригодность. Также теплообменники этой фирмы просты в обслуживании за счет удобной компоновки трубного пучка.
3. Общее время работы над исследованием занимает 101 календарный день, а само исследование поделено на 12 задач. При получении задания 1.03.2021 инженер выполнит полностью исследование к 9.06.2021.
4. При планировании бюджета НТИ обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением, что составило 239674,3 руб.
5. Амортизационные отчисления составили 4607 руб. ПК: первоначальная стоимость 50000 рублей; срок полезного использования для машин офисных код 330.28.23.23 составляет 2-3 года, берем 3 года;
6. Расходы по заработной плате определены по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок и составили: заработная плата руководителя -18782,4 руб., заработная плата инженера 119615,2 руб.
7. Большую долю всех затрат из бюджета научно-технического исследования составляют заработные платы инженера и руководителя. Накладные расходы составили- 33058,5 руб. и отчисления во внебюджетные фонды- 45671,2 руб.
8. В результате SWOT анализа было определено, что в результате проектирования теплообменника, сократятся технологические издержки.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

75

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Проект теплообменника для подогрева технической воды	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: теплообменник</p> <p>Область: химическая, 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации N 197-ФЗ – Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" N 426-ФЗ – ГОСТ 12.2.003-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»; – ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования»

<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: – Повышенный уровень шума; – Использование вредных хим.веществ; – Отсутствие или недостаток естественного света; – Повышенный уровень вибрации; – Работа с оборудованием под давлением;</p> <p>Опасные факторы: – Электробезопасность – Пожаробезопасность</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Сильное воздействие на окружающую среду отсутствует, но возможны выбросы: – В атмосферу, пары и газы; – В гидросферы, остатки охлаждающей жидкости и жидкости. – В литосферу, отходы образовавшиеся при поломке оборудования;</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: пожары, взрывы, обрушение здания, замыкание электросистемы Наиболее типичная ЧС: пожар</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Зарубайко Евгений Евгеньевич		

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования данной работы для независимого подогрева технической воды в период остановки производства цеха по обеспечению водой, паром и сжатым воздухом.

Согласно технологической схеме, на рабочей площадке будет располагаться такое оборудование как, котельная, холодильные установки, насосы, вакуумные насосы, теплообменники для нагрева и охлаждения жидкости. При использовании перечисленного оборудования, следует строго соблюдать технику безопасности, необходимо применять все меры для обеспечения безопасных условий работы для персонала, удостоверится в правильности монтажа оборудования.

Данный раздел выпускной квалификационной работы включает в себя, выявление и влияние опасных, вредных факторов, анализ условий труда, порядок проведения мероприятий по технике безопасности и противопожарной профилактике, меры устранения опасных условий труда.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном подразделе рассматриваются специальные нормы трудового законодательства при проектировании и работы с теплообменником, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно Федеральному закону №426-ФЗ от 28 декабря 2013 года[1], работы с проектируемым теплообменником относится к категории: Допустимыми условиями труда (2 класс) , при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены)..

В соответствии Трудового кодекса РФ (ТК РФ) [2] статьи 92, продолжительность рабочего времени для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к допустимым, - не более 40 часов в неделю.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Зарубайко Е.Е						78	93
Пров.	Тихонов В.В							
Консульт								
Н. контр.								
Рук ООП								
						НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61		

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию, а так же периодическому медицинскому осмотру (статья 213 ТК РФ). Работники, осуществляющие отдельные виды деятельности, в том числе связанной с источниками повышенной опасности (с влиянием вредных веществ и неблагоприятных производственных факторов), а также работающие в условиях повышенной опасности, проходят обязательное психиатрическое освидетельствование не реже одного раза в пять лет. [2]

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Организация рабочего места представляет собой меры обеспечивающие эффективное использование рабочей силы и оборудования. Главная цель организационных мероприятий, это обеспечение работников высококачественным, эффективным и исправным оборудованием, так же создание комфортных и безопасных условий труда.

Исходя из ГОСТа 22269-79 взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность свободного и комфортного передвижения во время работы с учетом налагаемой спецодежды. Так же взаимное расположение элементов рабочего места должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий [3].

Расположение рабочих поверхностей при работе стоя, а так же при работе сидя должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» [4], ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования» [5].

Конструкция оборудования, должна при организации трудового процесса, исключать монотонность труда, путем ограничения частоты повторения простых трудовых действий и длительности непрерывного пассивного наблюдения за ходом производственного процесса или его части [5].

7.2 Производственная безопасность

В данном пункте рассматриваются и анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проектировании или эксплуатации теплообменника подогрева воды.

7.2.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов.

Для обеспечения безопасности при работе с теплообменником необходимо выявить и устранить вредные и опасные производственные факторы.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда «Опасные и вредные производственных факторы» [6] в таблице 7.1 выделены следующие вредные факторы производственной среды при независимом получении горячей воды.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ	Лист
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		99

Таблица 7.1 - Возможные вредные и опасные факторы при разработке, монтаже и эксплуатации теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативная документация
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.[6]
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы [6] СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал [7]
3.Повышенный уровень вибрации	-	-	+	ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация [8]
4. Работа с оборудованием находящимся под давлением	-	+	+	ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»[9]
5. Электробезопасность	+	+	+	Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ [10]
6. Пожаробезопасность	+	+	+	Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ[11].

7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Основные опасности цеха обусловлены свойствами продуктов, вспомогательных материалов, энергоресурсов, особенностями технологического процесса, используемого оборудования и условиями его эксплуатации.

Цех является взрыво-пожароопасным объектом, это связано с тем, что:

В котельной перерабатывается природный газ, способный образовывать взрывоопасные смеси с кислородом воздуха. При наличии источника зажигания возможен взрыв.

В производственных условиях возможна разгерметизация оборудования и трубопроводов, которая, в случае несвоевременного принятия мер, сопровождается созданием условий возникновения взрыва или пожара.

Объект относится к потенциально вредным для обслуживающего персонала с точки зрения воздействия на организм человека. Это связано с обращением в технологической схеме веществ, имеющих 3, 4 класс опасности, обладающих токсическим действием на организм

человека. Факторами повышенного риска являются также вибрация, шум, высокие температуры, вероятность отравления, получения термических и химических ожогов, травмирования работающих электрическим током.

Основными опасными и вредными производственными факторами являются:

Образование в условиях технологического процесса и отложение на внутренних поверхностях оборудования и трубопроводов пирофорных соединений, способных самовозгораться при контакте с воздухом.

Наличие открытого огня при нормальной эксплуатации котлов получения пара, который может служить источником зажигания газовоздушного облака и последующего взрыва.

Возможная разгерметизация аппаратов и/или трубопроводов, сопровождается разливом жидкости и выбросом пара

Повышение давления или создание вакуума выше установленных норм может привести к механическим деформациям или разрушениям оборудования.

Наличие мест вероятного скопления опасных веществ (помещения газовой котельной, колодцы, приемки и др.).

Проведение работ повышенной опасности (отбор проб, установка/снятие заглушек, вскрытие и зачистка оборудования, работы на высоте, загрузка или выгрузка сыпучих материалов и другие).

Опасность травмирования персонала в связи с наличием вращающихся частей оборудования, а также конструктивных особенностей оборудования и расположения технических средств (различные высотные отметки).

Применение электричества высокого напряжения создает опасность поражения персонала электрическим током.

Физические факторы: повышенная или пониженная температура воздуха, загрязненность воздуха рабочей зоны, производственный шум, вибрация, статическое электричество, электрическое и магнитное излучения, недостаточная освещенность рабочих мест в ночное время.

Наиболее опасные места на установке:

Котельная

теплообменное оборудование

Наиболее опасными операциями являются:

- продувки, пропарки систем;
- прием топлива, энергоресурсов;
- розжиг горелок;

- заполнение и освобождение систем и отдельных аппаратов;
- пуск и останов установки, отдельных единиц оборудования;
- аварийная остановки;
- переход с работающего оборудования на резервное;
- отбор проб;
- подготовка оборудования к ремонту;
- вскрытие оборудования.

Безопасная работа установки зависит от квалификации и внимательности обслуживающего персонала, а также от соблюдения требований и правил промышленной безопасности, пожарной безопасности, правил Ростехнадзора и соблюдения технологического режима в соответствии с нормами технологического регламента.

К работе допускаются лица, которые прошли инструктаж по программе первичного инструктажа на рабочем месте, необходимую подготовку и стажировку, сдали экзамены на допуск к самостоятельной работе.

Работать разрешается только на исправном оборудовании, исправных коммуникациях, арматуре и приборах КИП и А.

Отсутствие или недостаток естественного света

Рабочие помещения должны быть освещены как искусственным светом, так и естественным. Благодаря хорошо освещенному рабочему помещению у работников снижается напряжения на органы зрения, а так же увеличивается работоспособность. Плохое освещение искусственным светом и отсутствие естественного может привести к заболеваниям органов зрения, нарушения нервной системы, головным болям, снижение работоспособности.

Методы и средства защиты, работающих от производственных опасностей

Несоблюдение требований промышленной безопасности и пожарной безопасности, нарушение правил эксплуатации оборудования, отказы в работе оборудования и приборов КИПиА могут привести к несчастным случаям, пожару или взрыву.

Поэтому нужно выполнять требования промышленной и противопожарной безопасности, осуществлять постоянный контроль за работой оборудования и приборов К и А.

Все работники установки должны правильно пользоваться спецодеждой, спец обувью, защитными очками, перчатками, каской. Работа в обуви, подбитой железными гвоздями или подковами, запрещается. Работать в открытой летней обуви (босоножки, сандалии) запрещается.

Стирка спецодежды на территории установки запрещена. Запрещается развешивать для просушки спецодежду и класть на горячие поверхности горючие предметы.

Все работники установки должны быть обучены уметь делать искусственное дыхание и оказывать первую помощь. При несчастном случае своевременное оказание первой помощи может иметь решающее значение для здоровья и жизни пострадавшего.

При производстве работ в местах, где возможно образование взрывоопасной смеси паров или газов с воздухом, во избежание искрообразования от ударов, запрещается применение ручных инструментов из стали. Инструмент должен быть из металла, не дающего искры при ударе (медь, латунь, бронза) или омеднен, либо инструмент надлежит обильно смазать солидолом.

Все вентиляционные устройства надлежит содержать в полной исправности.

Запрещается эксплуатация трубопроводов, оборудования, аппаратуры при наличии неплотностей в соединениях, вызывающих загазованность территории. При обнаружении пропусков оборудование необходимо отключить, пропуски устранить.

Аппараты, подлежащие вскрытию для внутреннего осмотра, очистки, ремонта должны быть освобождены от продукта, отключены и отглушены от действующей аппаратуры и оборудования, продуты азотом или паром, проветрены и охлаждены до 30 °С.

Необходимо постоянно следить за состоянием световой и силовой электропроводки.

Необходимо исключить доступ к токоведущим частям оборудования, находящегося под напряжением, работникам, не имеющим допуска на эксплуатацию и ремонт вышеуказанного оборудования.

Заземление оборудования, аппаратуры, трубопроводов должно содержаться в исправном состоянии. Перед пуском электродвигателей проверять исправность заземления и ограждений. Во время работы необходимо обеспечить постоянный контроль за соблюдением норм технологического режима.

Работники установки должны постоянно следить за исправностью систем сигнализации.

7.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность на предприятии предусматривает меры по ограничению токсичного влияния на окружающую среду при технологическом процессе, токсичного влияния на сотрудников, а так же рядом проживающих жителей.

Для обеспечения экологической безопасности, предприятие должно сформировать комплекс мер нацеленных на анализ предполагаемой опасности предприятия и поиск мер для эффективного устранения негативного воздействия предприятия на окружающую среду [19]

При эксплуатации цеха по обеспечению производства энергоносителями, но тем не менее возможны некоторые выбросы в:

Атмосферу, например продукты сгорания природного газа попадают в атмосферу;

Гидросферу, отработанная вода запускается в рецикл после охлаждения в градирне;

Литосферу, образование отходов при поломке оборудования;

Для избегания проблем в области экологического влияния предприятия, необходимо:

- ввести использование менее ресурсоемких технологий;
- произвести модернизацию производственного оборудования;
- организовать контроль соблюдения природоохранного законодательства;
- разработать мероприятия, направленные на минимизацию рисков возникновения ЧС.

Для снижения проблем в области экологического влияния на предприятиях предусмотрена очистка сточных вод от химических веществ и других веществ. Очищенная вода в основном используется в системах оборотного водоснабжения.

Благодаря вытяжным трубам, воздухоборникам, различным фильтрам предприятия защищают окружающую среду от производственной пыли, газов, испарений от вредных веществ.

В целях загрязнения почвы, предприятиям по возможности необходимо использовать материал, подходящий для дальнейшей утилизации или переработки.

При правильном соблюдении экологической безопасности, предприятие оказывает положительное влияние на здоровье персонала, на состояние окружающей среды [20].

Таблица 7.2 - Характеристика выбросов вредных веществ в атмосферу

Наименование вещества	Наименование источника выделения	Содержание, мг/м ³	Выброс, г/с	ПДК, мг/м ³		ПДВ, г/с
				Максимальная разовая	Среднесуточная	
1	2	3	4	5	6	7
сероводород		14	0,0002	0,008	0,008	0,0002
оксид углерода	Дымовая труба котельной	162963	45,26	6,0	1,0	45,26
углеводороды		80185	1,20	5,0	1,5	1,20
оксид азота		377593	5,66	0,3	0,1	5,66
диоксид азота		18888	0,28	0,3	0,1	0,28
сернистый ангидрид		219537 0	32,93	0,5	0,15	32,93
зола		49815	0,09	0,15	0,05	0,09

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

84

С целью снижения неорганизованных выбросов вредных веществ в атмосферу через не плотности аппаратуры – арматуру, фланцы, уплотнения – предусмотрены следующие мероприятия:

1) по оборудованию:

- герметичная аппаратура под давлением;
- технологическое оборудование и запорно-регулирующая арматура применены в соответствии с рабочими параметрами процесса и коррозионной активностью среды;
- насосы с двойными торцевыми уплотнениями;
- герметичность трубопроводов за счет максимального соединения элементов трубопроводов сваркой и 100% ее контролем;

Расчет рассеивания выбросов для дымовой трубы

Исходные данные:

Газовые выбросы	оксид азота
Высота трубы, м	40
Температура, °С	290
Температура воздуха, °С	20
Диаметр устья трубы, м	1,0
Средняя скорость выбросов, м/с	4,0
Количество выбрасываемых газов, г/с	5,66
ПДК, мг/м ³	0,3

Максимальная концентрация вредных веществ (оксида азота) в приземном слое при выбросе нагретых газов через трубу с круглым устьем определяется по формуле:

$$c_m = \frac{A_1 \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \text{ мг/м}^3,$$

где A_1 – коэффициент, зависящий от температуры стратификации атмосферы, определяющей условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $c^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{°C}^{1/3} / \text{Г}$;

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m, n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT – разность между температурой, выбрасываемой газовой смесью T_2 и температурой окружающего атмосферного воздуха T_0 , °С;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

V_I – объем газовой смеси, м³/с.

$$V_I = (\pi D^2/4)W_o,$$

где D – диаметр устья источника выброса, м;

W_o – средняя скорость выхода газовой смеси из устья, м/с.

Безразмерный коэффициент m определяют по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}$$

где f – коэффициент, [м/(с²·°C)] определяемый по формуле:

$$f = 10^3 \frac{W_o^2 D}{H^2 \Delta T}$$

$$f = 10^3 \frac{4,0^2 \cdot 1,0}{40^2 \cdot (290 - 20)} = 0,04$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,04} + 0,34\sqrt[3]{0,04}} = 0,68$$

Тогда,

$$V_I = (3,14 \cdot 1,0^2/4) \cdot 4,0 = 3,14 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость воздуха V_M (м/с) определяют по формуле:

$$V_M = 0,65 \sqrt{V_I \Delta T / H}$$

$$V_M = 0,65 \sqrt{3,14 \cdot 270 / 40} = 3,0$$

$$V_M > 2 \Rightarrow n = 1$$

Тогда,

$$c_m = \frac{200 \cdot 5,66 \cdot 1 \cdot 0,68 \cdot 1}{40^2 \sqrt[3]{3,14 \cdot 270}} = 0,05 \text{ мг/м}^3, \text{ что меньше ПДКм.р. } 0,3 \text{ мг/м}^3.$$

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Отклонения от нормальной эксплуатации цеха, сопровождающиеся нарушением герметичности аппаратуры и трубопроводов, большой загазованностью территории, отсутствием энергоресурсов и другими явлениями, могут привести к загоранию, взрыву и выводу из строя основного оборудования. В этих случаях необходимо остановить установку, согласно Плану локализации аварийных ситуаций.

При любой возможной неполадке и аварийной ситуации старший по смене, руководствуясь «Планом локализации аварийных ситуаций», обязан немедленно поставить в известность руководство завода, установки. При загораниях, загазованности и других аварийных ситуациях, когда создается опасность пожара, взрыва, отравления, немедленно

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

86

сообщить дополнительно в пожарную часть и медпункт. Обслуживающий персонал должен четко знать порядок проведения работ на каждом рабочем месте, все действия персонала должны проводиться в соответствии с «Планом локализации аварийных ситуаций» и только с ведома и по указанию старшего по смене, а по прибытии администрации, под ее руководством.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		87

Выводы

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены:

- Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, исходя из которых известно, что организационное место должно быть комфортным и безопасным для работы, а так же быть обеспеченно высококачественным и исправным оборудованием;
- Проведен анализ опасных и вредных факторов, к которым относится электробезопасность, пожароопасность, повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации, работа с приборами, находящимися под давлением, отсутствие и недостаток естественного освещения, работа с вредными химическими веществами.
- Так же были определены и проанализированы факторы влияния предприятия на экологию, в ходе которых было выяснено, что при нормальной эксплуатации котельной происходят выбросы в атмосферу и гидросферу. Рассчитана дымовая труба по самому вредному веществу – оксиду азота
- Варианты возникновения чрезвычайной ситуации и меры предотвращения их.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311359.001.ПЗ

Лист

88

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В ходе проведенных расчетов были выявлены размеры кожухотрубчатого теплообменника типа КНГ. Диаметр теплообменника составил 600мм. Материал исполнения корпуса М1 (сталь 16ГС). Расположение горизонтальное. Теплообменник опирается на две седловые опоры, рассчитанные на общую нагрузку 22126 Н. Горячим теплоносителем является насыщенный пар давлением 0,3 МПа, поступающий в межтрубное пространство подогреваемой средой является вода, которая подогревается с 3⁰С до 60⁰С.

Аппарат имеет плоскую крышку и эллиптическое днище, выполненные из такого же материала чтои корпус, с наружным диаметром 616 мм и толщиной стенки 8 мм. Внутри аппарата расположены перегородки, толщиной 10 мм.

Были подобраны фланцы соединения шип-паз, для крепления крышки и днища.

Прокладка между фланцами

– паронит толщина 2 мм, внешний диаметр 661 мм.

Аппарат был рассчитан на прочность и устойчивость. Все условия прочности и устойчивости аппарата и его частей, выполняются.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Зарубайко Е.Е</i>						89	93
<i>Пров.</i>	<i>Тихонов В.В</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук ООП</i>						НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Процессы и аппараты химической технологии. Основы теории, технологический, конструктивный и гидравлический расчеты кожухотрубчатого теплообменника. Учебное пособие для студентов Химико-Технологического факультета ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 84с.
3. Кувшинский М.Н. Курсовое проектирование по предмету "Процессы и аппараты химической промышленности": Учеб.пособие для учащихся техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / М.Н. Кувшинский, А.П. Соболева – М.: Высш. школа, 1980. – 223с.
4. 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.
5. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
6. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2018.
8. 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, 2016. - 313с.
9. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. – М.: Стандартиформ, 2018.
10. ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. – М.: Изд-во стандартов, 1974.
11. ГОСТ 31842-2012 Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2012.

					ФЮРА.311359.001.ПЗ			
<i>Ли</i>	<i>Изм.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Зарубайко Е.Е</i>						90	93
<i>Пров.</i>	<i>Тихонов В.В</i>					НОЦ им Н.А Хижнера Гр 3-4Г61		
<i>Коесульт</i>								
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук ООП</i>								

12. ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
13. ГОСТ Р 55601-2013 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
14. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. – М.: Стандартиформ, 2018.
15. ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. – М.: Стандартиформ, 2018.
16. ГОСТ 27036-86* Компенсаторы и уплотнения сильфонные металлические. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
17. ГОСТ 34233.6 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. – М.: Стандартиформ, 2018.
18. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Размещение отверстий под трубы в трубных решетках и перегородках. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
19. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.
20. ГОСТ 33259-2015 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования. – М.: Стандартиформ, 2016.
21. ГОСТ 6533-78*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
22. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Изд-во стандартов, 1988. –
23. 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.

24. ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. – М.: Стандартиформ, 2018
25. ТУ 3612-024-00220302-02 аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными решетками и кожухотрубчатыми с температурным компенсатором на кожухе
26. ГОСТ 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
27. Стандарт предприятия СТП 10-04-02. Расчет на прочность сосудов и аппаратов. Том 1. Расчет вертикальных и горизонтальных сосудов. Москва 2005 г.
28. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанции: учебное пособие. НИ ТПУ. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 244 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Рисунок 7.1 – план эвакуации