

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 системы оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн

УДК 628.1'17:621.357.74.035.15

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01
«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 настраивать, 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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Беляев В.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна

Тема работы:

Проект системы оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021 №29-63/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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></p>	<p>Система для охлаждения гальванических ванн; Холодный теплоноситель – антифриз; Горячий теплоноситель – обратная вода; Начальная температура горячего теплоносителя - 23°C; Конечная температура горячего теплоносителя - 18°C; Начальная температура холодного теплоносителя - 5°C; Конечная температура холодного теплоносителя - 15°C; Количество теплоты – 40000 Вт/с.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <p>1 Обзор литературы</p> <p>2 Технологическая схема установки</p> <p>3 Технологический расчет оборудования</p> <p>4 Выбор конструкционных материалов</p> <p>5 Механический расчет оборудования</p> <p>6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>7 Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p> <p>Список использованных источников</p> <p>Приложения</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема А1.</p> <p>Лист 2 – Общий вид кожухотрубчатого теплообменника А1.</p> <p>Лист 3 – Спецификация А4.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Трубченко Татьяна Григорьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Конструктивно-механический раздел</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>24.04.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	доцент		27.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна		27.04.2021

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащий 123 страниц машинописного текста, 20 рисунков, 38 таблиц, 33 источников литературы, 2 листа графического материала формата А1 и один лист материала формата А4.

Ключевые слова: Кожухотрубчатый теплообменник, система оборотного водоснабжения, чиллер, оборотная вода,

Объект разработки: Кожухотрубчатый теплообменник.

Цель работы: Рассчитать теплообменник для охлаждения оборотной воды.

В ходе выполнения работы: Выполнены все необходимые расчеты для конструирования аппарата. Определены размеры и основные механические характеристики.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Диаметр аппарата 159 мм, длина теплообменных труб 3 м, диаметр труб 25x2 мм, рабочее давление трубного пространства 0,2 МПа, рабочее давление межтрубного пространства 0,2 МПа, расчетная температура трубного пространства 25 °С, расчетная температура межтрубного пространства 20 °С, толщина стенки 5 мм, 4 штуцера, 13 трубок.

Степень внедрения: Охлаждение электролита оборотной водой.

Итоги внедрения результатов работы: При использовании системы оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн, появляется возможность предприятию экономить значимую сумму на оплату счетов по воде, а так же сохраняет оборудование, от загрязненной водопроводной воды, при этом, не загрязняя окружающую среду сточными водами.

Область применения: Химическая промышленность.

В ходе работы было подтверждено, что рассчитанный теплообменник соответствует всем предъявленным требованиям технологического проекта.

Abstract

The diploma project consists of an explanatory note containing 123 pages of typewritten text, 20 figures, 38 tables, 33 literature sources, 2 sheets of A1 graphic material and one A4 sheet of material.

Key words: Shell and tube heat exchanger, recycling water supply system, chiller, recycled water,

Development object: Shell and tube heat exchanger.

Purpose of work: Calculate a heat exchanger for cooling the circulating water.

In the course of the work: All the necessary calculations for the design of the apparatus have been completed. The dimensions and main mechanical characteristics are determined.

The main design, technological and technical and operational characteristics: The diameter of the apparatus is 159 mm, the length of the heat exchange tubes is 3 m, the diameter of the tubes is 25x2 mm, the working pressure of the tube space is 0.2 MPa, the working pressure of the annular space is 0.2 MPa, the design temperature of the tube space is 25 ° C, design temperature of the annular space 20 ° C, wall thickness 5 mm, 4 fittings, 13 tubes.

Implementation degree: Cooling of electrolyte with circulating water.

The results of the implementation of the results of work: When using the circulating water supply system for cooling galvanic baths, it becomes possible for the enterprise to save a significant amount on paying water bills, and also saves equipment from polluted tap water, while not polluting the environment with sewage.

Applications: Chemical industry.

During the work, it was confirmed that the calculated heat exchanger meets all the requirements of the technological design.

Определения

В данной работе применимы следующие термины с соответствующими определениями:

система оборотного водоснабжения: Система водного хозяйства предприятий, промышленных узлов производственных комплексов, обеспечивающая возврат всех жидких отходов после соответствующей обработки для повторного использования или переработки на вторичное сырье.

сточные воды: воды, отводимые в водоёмы с территорий промышленных предприятий и населённых мест через систему канализации или самотёком, свойства которых оказались ухудшенными в результате деятельности человека.

гальваника: Электролитическое осаждение тонкого слоя металла на поверхности какого-либо металлического предмета.

электролит: Вещество проводящее электрический ток вследствие диссоциации на ионы.

теплообменник: Техническое устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя и более средами, имеющими различные температуры.

чиллер: Холодильная установка промышленного назначения, применяемая для нагрева либо охлаждения жидкостей.

Обозначения и сокращения

ПП - печатные платы;

КТ - кожухотрубчатый теплообменник;

СВ - сточные воды;

СОВ - система оборотного водоснабжения.

Оглавление

Реферат	6
Определения.....	7
Оглавление	9
Введение.....	10
1 Обзор литературы.....	12
2 Технологическая схема установка	15
3 Технологический расчет оборудования	16
4 Выбор конструкционных материалов	27
5 Механический расчет.....	60
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	89
7 Социальная ответственность	108
Заключение.....	119
Список литературы.....	120
Приложения.....	123

Введение

В настоящее время гальванический метод покрытия активно применяют в различных отраслях производства. Такое покрытие создает тончайший защитный слой. Гальваническое защитное покрытие улучшает внешний вид изделия, способствует защите от коррозии, обладает повышенной твердостью и износостойкостью, имеет большую отражательную способность и поверхностную электропроводность.

Подобные технологии гальванического покрытия применяются в «Научно-производственном центре «Полус». «Полус» относится к известной многим государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

Предприятие организовалось в 1951 году в городе Томске. Направление научного центра в состоит в разработке и производстве комплектного электрооборудования. Такое оборудование используют в различных отраслях народного хозяйства и управления космическими аппаратами. Например, для авиации «Полус» производит датчики АН-148, НТ-36, а для космических аппаратов "Глонасс" и ""Гале" [1].

В 7 цехе производят печатные платы (ПП). На гальваническом участке ПП покрывают химической металлизацией, гальваническим покрытием и защитным покрытием олово - свинец. Гальванический способ покрытия ПП представляет собой особый электрохимический процесс. В процессе химических реакций и электролиза, образуется большое количество тепла. Поэтому технологический процесс предусматривает охлаждение гальванических ванн. На участке 7 цеха, охлаждение происходит путём перекачки водопроводной воды через змеевик, который расположен внутри бака с электролитом. При таком способе охлаждения, имеются следующие недостатки:

- Зачастую не обеспечивается температурный режим, особенно в летний период. Перегрев рабочего раствора может привести к прекращению нормального процесса гальванического покрытия и выхода из строя оборудования.
- Большой расход водопроводной воды, следовательно, большие экономические затраты.
- Использование водопроводной воды. На стенках змеевиков могут начаться образование отложений, в дальнейшем это может привести к снижению производительности оборудования и стать причиной его поломки.
- Образования сточных вод (СВ). СВ способствуют к загрязнению окружающей среды.

Для устранения имеющихся недостатков, цель дипломной работы состоит в проектировании СОВ для охлаждения гальванических ванн. Для достижения цели, были поставлены следующие задачи:

1. Спроектировать теплообменник для охлаждения оборотной воды.
2. Рассчитать стоимость затрат на научно-исследовательскую работу.
3. Рассмотреть вопросы социальной ответственности.

Таким образом, при установке на участок гальванического покрытия 7 цеха СОВ, будет обеспечиваться:

- ✓ Стабильный температурный режим функционирования гальванических ванн.
- ✓ Снижение денежных затрат на потребляемую водопроводную воду.
- ✓ Уменьшение объемов СВ, приведёт к избеганию выплат штрафных санкций за нарушение норм действующего экологического законодательства.
- ✓ Продление срока эксплуатации оборудования.

1 Обзор литературы

Один из самых ценных ресурсов в мире это вода. Стоимость воды возрастает и скоро может обогнать стоимость бензина, молока и др. Проблема нехватки воды, будет одна из самых важных, несмотря на огромные запасы в России. Промышленность является основным потребителем воды. На заводах воду используют в качестве хозяйственно-питьевых, противопожарных и производственных целях.

В производстве большие объёмы воды используют для технических нужд. Техническую воду разделяют по общим признакам, которые представлены в таблице 1.1 [2].

Таблица 1.1 - Категории технической воды по общим признакам

Категория воды	Функции
1	В качестве теплоносителя для охлаждения. Незначительно нагревается и загрязняется при использовании.
2	Для поглощения и переноса примесей в технологических. Загрязняется примесями, но не нагревается.
3	Для поглощения примесей и охлаждения продукта или оборудования. Насыщается примесями и нагревается.
4	Для растворения реагентов в химической технологии. Загрязняется вредными примесями и нагревается.
5	Входит в состав готовой продукции. Не поступает в сток.
6	В качестве теплоносителя (в виде пара). После нагрева теплоноситель поступает в теплотехнический контур. Стоки не образуются.

На предприятиях более часто используют первые три категории воды, для охлаждения используется от 65 до 85% от общего расхода воды [2]. Использование воды в таких объёмах на производстве обосновывается такими факторами как физические свойства.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Обзор литературы</i>		
Разраб.	Бородич К.М.						
Провер.	Тихонов В.В.					12	123
Н. Контр.					<i>ТПУ гр.3-4Г61</i>		
Утверд.							

Но повышение цен на водопотребление и водоотведение заставляет предприятия искать способы обеспечения рентабельности производств. Сегодня оборотное водоснабжение промышленных предприятий является одним из наиболее практичных способов уменьшения потребления воды. Именно поэтому рационально использовать СОВ. В такой системе вода поступает из источника, циркулирует по системе, и не сливается в водоотведение.

Для охлаждения оборотной воды в СОВ используют чиллер. В чиллере, теплоноситель забирает избыточную теплоту от технологического оборудования и перемещает ее в чиллер. Теплоноситель становится с низкой температурой и переносится обратно в технологическое оборудование.

В чиллерах для технологического охлаждения применяют в основном кожухотрубчатый теплообменник (КТ). Использование КТ повышает на 10% энергетическую эффективность системы охлаждения и получает экономию эксплуатационных расходов. Принцип действия КТ заключается в том, что теплоноситель перемещается внутри труб отдавая или забирая свое тепло через стенки теплообменных труб, другому теплоносителю, которая перемещается в межтрубном пространстве. КТ применяют в химической, нефтяной, газовой, пивоваренной и пищевой промышленности, в теплоэнергетике. Бывают одноходовые и многоходовые теплообменники. Конструкция одноходового горизонтального КТ представлена на рисунке 1.1 [3].

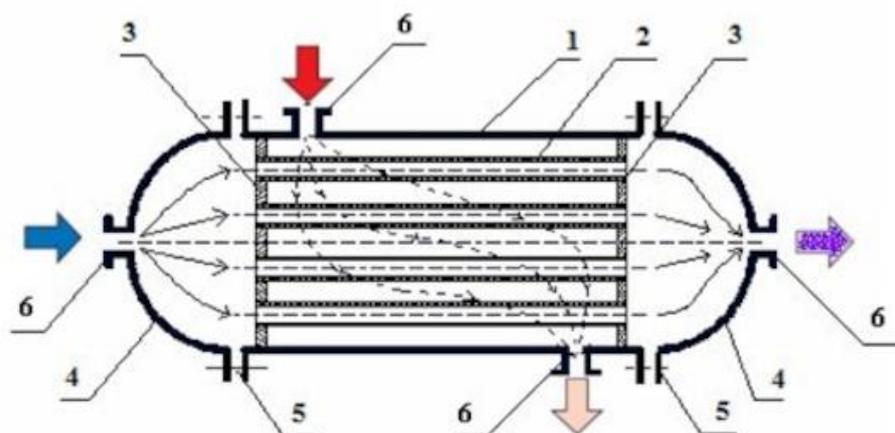


Рисунок 1.1 – Конструкция КТ

- 1 – корпус; 2 – трубный пучок; 3 – трубные решетки; 4 – крышки; 5 – элементы крепления;
6 – штуцеры для входа и выхода из трубного и межтрубного пространства.

Распространённые типы КТ представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Типы КТ

Тип КТ	Описание
Со встроенными трубными решетками	Трубные решетки сцепляют все детали и узлы, которые входят в состав агрегата, обеспечивая надежную фиксацию и исключая свободное перемещение элементов внутри кожуха.
С температурным компенсатором	Благодаря особым упругим вставкам, которые расположены в расширителе, за счет этого возмещают тепловое расширение.
С плавающей головкой	Плавающая головка (подвижная трубка) свободно перемещается по системе вместе с крышкой.
С U-образной формой труб	К одной решетке привариваются два конца трубы.
С комбинированным наполнением	Наличие компенсатора и встроенная плавающая головка.

Использование КТ позволяет проводить химические процессы в точном режиме, поддерживая температуру.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2 Технологическая схема установка

На рисунке 2.1 представлена технологическая схема охлаждения электролита в 7 цехе на участке гальванического покрытия ПП.

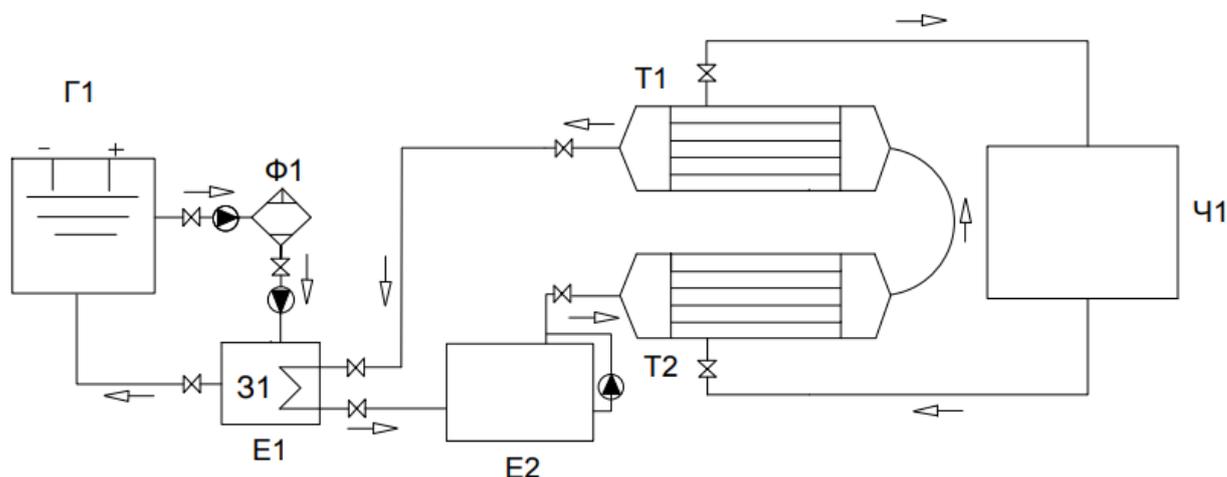


Рисунок 2.1 – Технологическая схема охлаждения электролита

Г1 - гальваническая ванна; E1 – емкость с электролитом; E2 – емкость с обратной водой;
 Ф1 – фильтр для электролита; 31 - змеевик для охлаждения; T1.T2 – теплообменники; Ч1 – чиллер.

Оборотная вода в емкости E2 поступает для охлаждения в теплообменник T2. Охлаждение воды происходит за счет теплообмена с антифризом, который поступает из чиллера Ч1 в теплообменник T2. Антифриз нагревается и выходит из теплообменника T1 поступая обратно в чиллер Ч1 для охлаждения. В свою очередь обратная вода охлаждается до требуемой температуры и после направляется в змеевик 31, который расположен в емкости с электролитом E1. Электролит в емкости E1 охлаждается и поступает в гальваническую ванну Г1. Из гальванической ванны Г1 нагретый электролит поступает в фильтр Ф1, там он очищается от механических примесей, поступает обратно в емкость E1 для охлаждения.

ФЮРА.065111.001.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Бородич К.М.			
Провер.	Тихонов В.В.			
Н. Контр.				
Утверд.				
2 Технологическая схема				
		Лит.	Лист	Листов
			15	123
ТПУ гр.3-4Г61				

3 Технологический расчет оборудования

3.1 Материальный баланс системы

Для проектируемого теплообменника, который нужен для охлаждения электролита на гальваническом участке 7 цеха, составляется материальный баланс системы. Материальный баланс системы требуется для определения расходных показателей воды (горячий теплоноситель) и антифриза (холодный теплоноситель) и необходимых концентраций. Составим материальный баланс системы:

$$Q = G_B \cdot (t_{B1} - t_{B2}) = G_A \cdot (t_{A2} - t_{A1}) \quad (3.1)$$

Исходные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Наименование	Обозначение	Значение
Количества тепла	Q	40000 Вт/с
Теплоемкость воды	c _B	4190 Дж/кг·К
Теплоемкость антифриза	c _A	3915 Дж/кг·К
Температура воды на выходе	t _{B1}	18 °С
Температура воды на входе	t _{B2}	23 °С
Температура антифриза на выходе	t _{A1}	15 °С
Температура антифриза на входе	t _{A2}	5 °С

Определим массовый расход воды, кг/с:

$$G_B := \frac{Q}{c_B \cdot (t_{B1} - t_{B2})} = 1.909 \quad (3.2)$$

Определим массовый расход антифриза, кг/с:

$$G_A := \frac{Q}{c_A \cdot (t_{A2} - t_{A1})} = 1.022 \quad (3.3)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	3 Технологический расчет оборудования		
Разраб.	Бородич К.М.						
Провер.	Тихонов В.В.					16	123
Н. Контр.					ТПУ гр.3-4Г61		
Утверд.							

3.2 Технологический расчет

Технологический расчет заключается в тепловом расчете теплообменника, и выбор из ряда стандартных теплообменников или создание нового нестандартного теплообменника для дальнейших расчетов. Исходные данные представлены в таблице 3.1.

Условия теплового расчета: Требуется охлаждать обратную воду, с начальной температуры 23°C до конечной температуры 18°C для охлаждения электролита в баках.

3.2.1 Движение теплоносителей

Расчетная схема теплоносителей при прямотоке, представлена на рисунке 3.1:

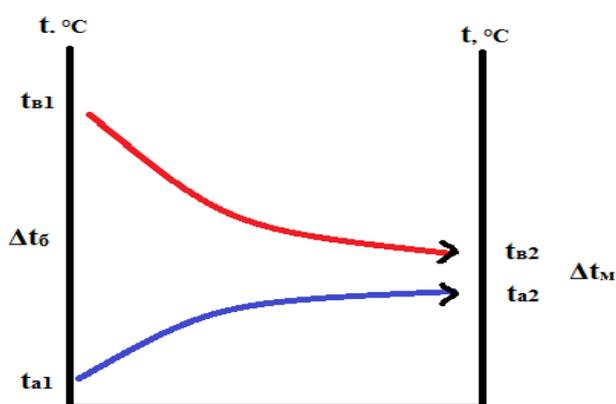


Рисунок 3.1 – Схема теплоносителей при прямотоке

Разность больших и меньших температур, °C:

$$\Delta t_{\text{Г}} := t_{\text{B1}} - t_{\text{A1}} = 18 \quad (3.4)$$

$$\Delta t_{\text{М}} := t_{\text{B2}} - t_{\text{A2}} = 3 \quad (3.5)$$

Так как $\Delta t_{\text{Г}} / \Delta t_{\text{М}} = 18^{\circ}\text{C} / 3^{\circ}\text{C} = 6^{\circ}\text{C} > 2$, тогда среднюю разность температур рассчитаем по формуле 4.78 [4, с.169], °C:

$$\Delta t_{\text{ср1}} := \left(\frac{\Delta t_{\text{Г}} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\text{Г}}}{\Delta t_{\text{М}}} \right)} \right) = 8.372 \quad (3.6)$$

Расчетная схема теплоносителей при противотоке, представлена на рисунке 3.2:

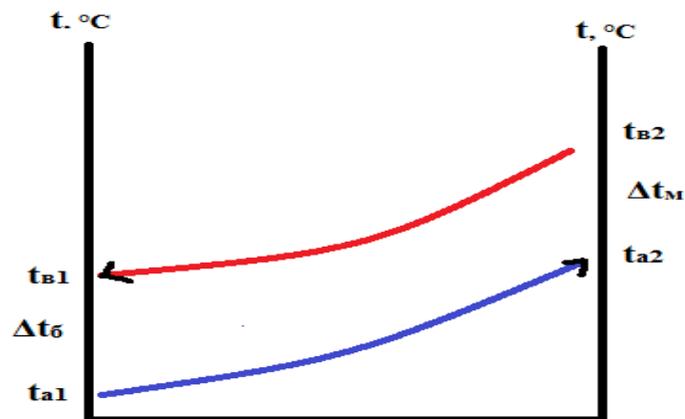


Рисунок 3.2 – Схема теплоносителей при противотоке

Разность больших и меньших температур, °С:

$$\Delta t_{\delta} := t_{B2} - t_{a1} = 13 \quad (3.7)$$

$$\Delta t_{M} := t_{B1} - t_{a2} = 8 \quad (3.8)$$

Так как $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{M} = 13^{\circ}\text{C} / 8^{\circ}\text{C} = 1,6^{\circ}\text{C} < 2$, тогда среднюю разность температур рассчитаем по формуле 4.79 [4, с.169], °С:

$$\Delta t_{cp2} := \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{M}}{2} = 10,5 \quad (3.9)$$

Так как $\Delta t_{cp1} < \Delta t_{cp2} = 8,4^{\circ}\text{C} < 10,5^{\circ}\text{C}$, тогда выбираем движение теплоносителей при противотоке.

3.2.2 Средние температуры теплоносителей

Средняя температура воды, рассчитывается по формуле 4.82 [4, с.170], °С:

$$t_{cpв} := \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2} = 20,5 \quad (3.10)$$

Средняя температура антифриза, рассчитывается по формуле 4.82 [4, с.170], °C:

$$t_{\text{срa}} := \frac{t_{a1} + t_{a2}}{2} = 10 \quad (3.11)$$

Значения теплофизических свойств воды в соответствии с таблицей XXXIX [4, с.537] и антифриза [5] при средних температурах, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения теплофизических свойств теплоносителей при средних температурах

Теплоноситель	$t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	$\mu, \text{Па}\cdot\text{с}$
Вода	20,5	998	4183	$1004\cdot 10^{-6}$
Антифриз	10	1123	4145	$13,76\cdot 10^{-6}$

3.2.3 Ориентировочный расчет поверхности теплообмена

По ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные» принимаем трубы 25·2 мм:

$$d_{\text{H}} := 0.025$$

$$d_{\text{B}} := 0.021$$

$$\delta := 0.002$$

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, при теплопередачи от жидкости к жидкости $K_{\text{ор}} = 800-1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, в соответствии с таблицей 4.8 [4, с.172]. Тогда минимальное и максимальное значение ориентировочного значения коэффициента теплоотдачи будут равны:

$$K_{\text{min}} := 800$$

$$K_{\text{max}} := 1700$$

Ориентировочную минимальная и максимальная площадь теплообменника, рассчитаем по формуле 4.72 [4, с.168], м^2 :

$$F_{\text{min}} := \frac{Q}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K_{\text{max}}} = 2.241 \quad (3.12)$$

$$F_{\max} := \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K_{\min}} = 4.762 \quad (3.13)$$

По каталогу [6] выбираем ТН одноходовой с площадью теплообмена 3.1 м². Параметры выбранного теплообменника представлены в таблице 3.3.

По трубному пространству будет течь вода, так как нам нужно ее охладить и поэтому потери в окружающую среду повлияют положительно на процесс. Соответственно по межтрубному пространству – антифриз.

Для обеспечения интенсивного теплообмена выбираем турбулентный режим, где значения Рейнольдса $Re_{op} \geq 10000$. Такой режим обеспечит оптимальные условия теплообмена. Тогда примем:

$$Re_{op} := 15000$$

Объёмный расход воды, м³/с:

$$V_B := \frac{G_B}{\rho_B} = 1.913 \times 10^{-3} \quad (3.14)$$

Ориентировочная скорость воды в трубе, м/с:

$$\omega_B := \frac{Re_{op} \cdot \mu_B}{\rho_B \cdot d_B} = 0.716 \quad (3.15)$$

Площадь сечения потока воды, м²:

$$S_B := \frac{V_B}{\omega_B} = 2.673 \times 10^{-3} \quad (3.16)$$

3.2.4 Уточненный расчет теплообменника

Выбираем теплообменник с неподвижными трубными решетками горизонтальный одноходовой (ТНГ), который представлен на рисунке 3.3 с необходимыми для расчета параметрами, которые указаны в таблице 3.3 [6].

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

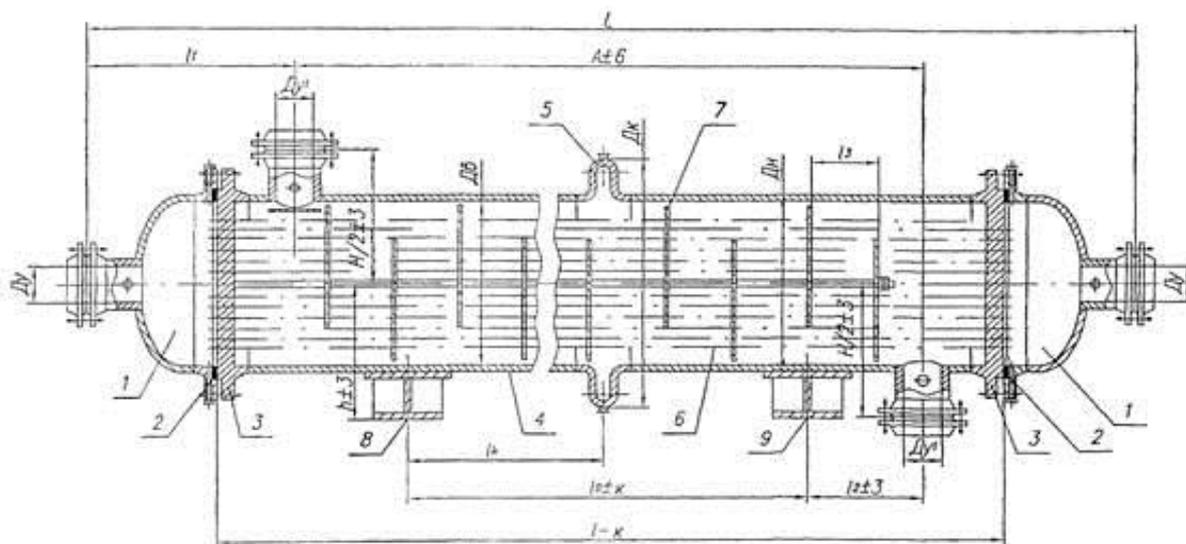


Рисунок 3.3 - Аппарат типа ТНГ, одноходовые по трубам

- 1 – крышка; 2 - прокладка крышки;
 3 – трубная решетка; 4 – кожух; 5 - компенсатор; 6 – теплообменная труба;
 7 – поперечная перегородка; 8 – неподвижная опора; 9 – подвижная опора.

Таблица 3.3 - Поверхность теплообмена по наружному диаметру труб и площадь проходных сечений по трубному и межтрубному пространству для аппаратов типов ТН, в соответствии с ТУ 3612 - 024 – 00220302 - 02

Наименование	Обозначение	Значение
Диаметр кожуха наружный, м	$D_{вн}$	0.159
Поверхность теплообмена, m^2	F	3.1
Длина труб, м	$L_{труб}$	3
Число теплообменных труб в одном аппарате, шт	n	13
Число ходов, шт	z	1
Наружный диаметр теплообменных труб, м	d_n	0.025
Внутренний диаметр теплообменных труб, м	$d_в$	0.021
Площадь проходного сечение одного хода по трубам, m^2	S_T	$0.45 \cdot 10^{-2}$
Площадь проходного сечение между перегородками, m^2	S_M	$0.75 \cdot 10^{-2}$
Площадь проходного сечение в вырезе перегородки, m^2	$S_{в.п}$	$0.33 \cdot 10^{-2}$

Уточненная скорость воды в трубе, м/с:

$$\omega_{B1} := \frac{V_B}{S_T} = 0.383 \quad (3.17)$$

Уточненное значение Рейнольдса, рассчитываем по формуле 4.13 [4, с.151]:

$$Re_B := \frac{(\omega_{B1} \cdot d_B \cdot \rho_B)}{\mu_B} = 8.019 \times 10^3 \quad (3.18)$$

Значение Прандтля для воды в таблице XXXIX [4, с.537]:

$$Pr_B = 7.02$$

В соответствии с таблицей XXXII [4, с]:

$$\nu := 0.6\beta := 0.00018\Delta t := 5_{\text{гг}} := 9.81 \quad (3.19)$$

Определение критерия Грасгофа, по формуле 4.15 [4, с.151]:

$$Gr := \frac{g \cdot d_B^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t = 2.271 \times 10^{-7} \quad (3.20)$$

Получаем выражение по которому делаем вывод, что расположение прямых труб может быть любым, в соответствии с таблицей 4.4 [4, с.155]:

$$Gr \cdot Pr_B < 8 \cdot 10^5$$

Определение критерия Нуссельта по графику 4.1 [4, с.154]:

$$Nu_{Гр} := 26.8$$

Определение критерия Нуссельта для воды:

$$Nu_B := \frac{Nu_{Гр}}{Pr_B^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_B}{Pr_{вст}} \right)^{0.25}} \quad (3.21)$$

Отношение Прандтлей $\left(\frac{Pr_B}{Pr_{вст}}\right)^{0.25}$ примерно равно 1. Тогда:

$$Nu_B := Nu_{Гр} \cdot Pr_B^{0.43} = 61.953 \quad (3.22)$$

Теплопроводность воды из таблицы XXXIX [4, с.537]:

$$\lambda_B := 0.599$$

Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке выразим из формулы 4.11 [4, с.150], Вт/(м²·К):

$$\alpha_B := \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d_B} = 1.767 \times 10^3 \quad (3.23)$$

Объемный расход антифриза:

$$V_a := 0.001$$

Определение скорости антифриза по формуле 4.35 [4, с.157], м/с:

$$\omega_a := \frac{V_a}{S_{B.П}} = 0.25 \quad (3.24)$$

Определение критерия Рейнольдса для антифриза:

$$Re_a := \frac{\omega_a \cdot d_B \cdot \rho_a}{\mu_a} = 2.6 \times 10^4 \quad (3.25)$$

Критерий Рейнольдса антифриза больше 10000, следовательно режим движения турбулентный.

В соответствии с таблицей 4.5 [4, с.157]:

$$\xi := 0.94$$

Теплопроводность антифриза [5], Вт/м·К:

$$\lambda_a := 0.337$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Определение критерия Прандля для антифриза, по рисунку XIII [4, с.564]:

$$\text{Pr}_a := \frac{c_a \cdot \mu_a}{\lambda_a} = 2.393 \quad (3.26)$$

При $\text{Re} < 10000$, критерий Нусельта для шахматных пучков, рассчитаем по формуле 4.31 [4, с.156]:

$$\text{Nu}_a := 0.4 \cdot \xi \cdot \text{Re}_a^{0.6} \cdot \text{Pr}_a^{0.36} = 229.378 \quad (3.27)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к антифризу выразим из формулы 4.11 [4, с.150] $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\alpha_a := \frac{\text{Nu}_a \cdot \lambda_a}{d_3} = 3.681 \times 10^3 \quad (3.28)$$

Для обеспечения повышенного ресурса оборудования и исходя из дальнейшего возможного применения теплообменника для непосредственного теплообмена с электролитами, в качестве материала труб выбираем нержавеющей сталь. Теплопроводность нержавеющей стали в соответствии с таблицей XXVIII [4 с.529], $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\lambda_{ст} := 17.5$$

Среднее значение тепловой проводимости загрязнений стенок для оборотной воды среднего качества $r_{з1}$ и для органической жидкости $r_{з2}$ в соответствии с таблицей XXXI [5, с.531], $\text{К}/\text{Вт}$:

$$r_{з1} := 5800$$

$$r_{з2} := 5800$$

Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений теплоносителей выразим из формулы 4.74 [5, с.168]:

$$\text{Sum}_{\Sigma} := \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{з1}} + \frac{1}{r_{з2}} = 4.591 \times 10^{-4} \quad (3.29)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Расчетный коэффициент теплопередачи, рассчитаем по формуле 4.74 [5, с.168], Вт/м²·К:

$$K_{\text{рас}} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{а}}} + \text{Sum}z} = 771.205 \quad (3.30)$$

Требуемая поверхность теплообмена выразим из формуле 4.72 [5, с.168]:

$$F_{\text{рас}} := \frac{Q}{K_{\text{рас}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 4.94 \quad (3.31)$$

Так как ориентировочная площадь поверхности теплообменника равна 3 м², а требуемая площадь составляет 4.94 м², принимаем решение взять два одноходовых теплообменника, тем самым мы увеличиваем площадь теплообмена в два раза.

Запас поверхности согласно работе Саулина Д.В. должен находиться в пределах 15 - 30%. Проверим, удовлетворяет ли выбранный теплообменник этому условию:

$$\Delta := \frac{F_{\text{таб}} - F_{\text{рас}}}{F_{\text{таб}}} \quad (3.32)$$

$$\Delta = 17.672\%$$

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

Запас = "Запас поверхности в норме"

3.3 Определение основных геометрических размеров оборудования

Для охлаждения воды, выбираем ТНГ по каталогу [6], основные размеры теплообменника представлены в таблице 3.4. Теплообменник будет располагаться внутри участка, и вертикальное расположение не позволит поместиться внутри цеха. Так же горизонтальное расположение обеспечивает комфортное обслуживание и ремонт. В работе будут использоваться два теплообменника с поверхностью теплообмена 3.1 м², которые будут подключены последовательно.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Основные размеры выбранного ТНГ представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Основные размеры выбранного теплообменника ТНГ

Наименование	Обозначение	Значение
Диаметр кожуха наружный, м	$D_{вн}$	0.159
Поверхность теплообмена, m^2	F	3.1
Длина труб, м	$L_{труб}$	3
Число теплообменных труб в одном аппарате, шт	n	13
Число ходов, шт	z	1
Внешний диаметр теплообменных труб, м	d_n	0.025
Внутренний диаметр теплообменных труб, м	d_b	0.021
Площадь проходного сечение одного хода по трубам, m^2	S_T	$0.45 \cdot 10^{-2}$
Площадь проходного сечение между перегородками, m^2	S_M	$0.75 \cdot 10^{-2}$
Площадь проходного сечение в вырезе перегородки, m^2	$S_{в.п}$	$0.33 \cdot 10^{-2}$
Масса теоритическая аппарата, кг	m_T	235

4 Выбор конструкционных материалов

Всегда нужно стремиться к выбору конструкционных материалов, характеризующихся минимальной проницаемостью при заданных условиях технологического процесса. Рабочие условия эксплуатации аппарата, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Рабочие условия эксплуатации аппарата

Используемый теплоноситель	Пространство теплообменника	Температура максимальная, °С	Давление, МПа
Вода обессоленная (горячий)	Трубное пространство	25	0.2
Антифриз, (холодный)	Межтрубное пространство	20	0.2

Теплообменники будут установлены внутри цеха, т.е. в закрытом отапливаемом помещении от -15 до +22 °С.

При выборе основных конструкционных материалов учтём коррозионную агрессивность используемых теплоносителей, которые представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Коррозионная агрессивность используемых теплоносителей

Коррозионная агрессивность	
Горячий теплоноситель	Холодный теплоноситель
Вода обратная	Антифриз, водный раствор этиленгликоля
Вода проходит максимальную очистку от механических и химических примесей, для продления срока эксплуатации оборудования. Предварительная подготовка воды сокращает образование кальцинированных наростов. Значение рН воды, который зависит от содержания растворенного кислорода, который значительно влияет на	Смесь 60% этиленгликоля и 40% воды замерзает при -49 °С. Водный раствор этиленгликоля совершенно экологичный. Этиленгликоль взрыво-, пожаробезопасен. Может привести к электрохимической коррозии металла. Окисляется в низкомолекулярные органические кислоты, во время перекачки, которые увеличивают общую коррозионную агрессивность жидкости. Для уменьшения агрессивности добавляют ингибиторы коррозии.

ФЮРА.065111.001.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Бородич К.М.			
Провер.	Тихонов В.В.			
Н. Контр.				
Утверд.				
4 Выбор конструкционных материалов				
		Лит.	Лист	Листов
			27	123
ТПУ гр.3-4Г61				

Продолжение таблицы 4.2

Коррозионная агрессивность	
Горячий теплоноситель	Холодный теплоноситель
Вода оборотная	Антифриз, водный раствор этиленгликоля
интенсивность коррозии. Для предотвращения коррозии применяют химическое обескислороживание. Что бы связать растворенный кислород, применяют сульфит натрия или гидразин, в водных растворах. Такой способ называется реагентным. Повышенное содержание концентрации солей может привести к интенсификации электрохимической коррозии.	Смесь нескольких ингибиторов обеспечивают комплексную защиту всех деталей системы охлаждения. Присадки в растворе воды и этиленгликоля насчитывают до 10 веществ, которые оказывают антикоррозийный эффект и уменьшают окислительные свойства смеси, предотвращают образование накипи, удаляют существующий налет, увеличивают термическую стабильность и инертность к синтетическим уплотнениям. Присадки составляют 3-5% (например, Hot Blood-65M, Dixis-65). Подобное соотношение дает в результате лучшие показатели теплообмена [5].

Общая поверхностная коррозия в зависимости от скорости коррозии делится на группы, которые представлены в таблице 4.3 [14].

Таблица 4.3 – Группы агрессивных сред и их скорость коррозии

Группа коррозионно-активной среды	Скорости коррозии, мм/год
Весьма агрессивная	при скорости коррозии более 10
Сильно агрессивная	от 1 до 10
Агрессивная	от 0,1 до 1,0
Умеренно агрессивная	от 0,01 до 0,10
Малоагрессивная	от 0,001 до 0,010
Неагрессивная	менее 0,001

Отнесем горячий и холодный теплоноситель к умеренно агрессивным средам. Тогда прибавку к толщине стенки элементов теплообменника произведем из расчета скорости коррозии 0,1 мм/год.

Из таблицы 10 [6] определим какое исполнение материалу применимо для применения аппаратов типов ТН в зависимости от диаметра кожуха 159 мм, длины труб 3000мм, и температурному пределу: М1; М8; М9; М10; М11; М12; М17.

Для выбора соответствующих конструкционных материалов, произведем сравнительную характеристику сталей, которые можно использовать для изготовления ТН. Характеристика марок сталей, представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Характеристика марок сталей

Марка стали	Класс	Характеристика	Удельный вес, кг/м ³	Цена, руб.
Ст3сп	Сталь конструкционная углеродистая обыкновенного качества	Отсутствие в сплаве кислорода, и однородная структура – это факторы, повышающие стойкость к образованию коррозии в агрессивных средах. Имея такие качества и большую пластичность, используют при производстве конструкций, элементов, к которым предъявляются большие требования по жёсткости.	7850	От 28000 до 55000
16ГС	Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций	Днища, корпуса аппаратов, и детали, которые работают под давлением и при температуре от -45 до +480 °С. Работающие при 300 °С и давлении 40 МПа По СТ-ЦКБА 010-2004 критическая температура хрупкости 20 °С	7850	От 35000 до 55000
09Г2С	Сталь конструкционная низколегированная	Элементы и детали сварных металлоконструкций, которые работают под давлением при температуре от —70 до +426 °С	7850	От 27000 до 45000
10Х17Н13 М2Т	Сталь коррозионно-стойкая обыкновенная	Сварные конструкции, которые работают в средах повышенной агрессивности, при температуре 600 °С, предусмотренные для длительного времени работы.	7950	От 95000 до 160000

Продолжение таблицы 4.4

12X18H10T	Сталь конструкционная криогенная	Элементы и детали, которые работают при температуре от - 200 до 600 °С. В разбавленных растворах уксусной, азотной, фосфорной кислот и в растворах щелочей и солей. При наличии агрессивных сред при температуре до 350 °С.	7920	От 12000 0 до 20000 0
10Г2	Сталь конструкционная углеродистая качественная	Корпуса аппаратов, фланцы, патрубки, штуцера, болты и детали из кипящей стали, не имеющие термообработку, которые работают при температуре от -20 до 425 °С.	7850	От 23000 до 47000

Особенности коррозионных разрушений аппаратуры, стоит учитывать при разработке противокоррозионных мероприятий. А так же приемлемые сроки эксплуатации оборудования. Целесообразно и экономически выгодно увеличить срок эксплуатации аппарата. Углеродная сталь используется 5 лет, а цветные сплавы и высоколегированная сталь - 10 лет. Тогда рассмотрим легированные стали. Из таблицы 9 [6] это марки стали: 16ГС; 12X18H10T; 10X17H13M2T; 09Г2С.

Марки стали 10X17H13M2T и 12X18H10T отличается высокой стоимостью. Выбираем 16ГС или 09Г2С. Стоимость этих марок почти одинаковая. Тогда рассмотрим, при каком исполнении они используются из таблицы 9 [6]: М1 и М12 для 16ГС; М17 для 09Г2С. При исполнении аппарата по материалу М1, будут применяться такие марки стали как 20,СтЗсп, т.е. углеродистые. Как мы выясняли они служат меньше чем легированные, а вот при исполнении М17 используют 10Г2, эта марка стали относится к классу конструкционной легированной. Делаем вывод, что для изготовления ТН выбираем исполнение по материалу М17. Для изготовления сборочных единиц основных узлов и деталей, будем применять следующие материалы, в соответствии с каталогом таблица 9 [6]:

Кожух - 09Г2С

Распределительные камеры и крышки - 09Г2С, ГОСТ 8479 гр. IV - КП. 245.

Трубы - сталь марок 10Г2 по ГОСТ 8731 гр. В

Теплообменные трубы - 10Г2 по ГОСТ 550 гр. А

Трубные решетки - 09Г2С по ГОСТ 5520

Перегородки - СтЗсп по ГОСТ 380, ГОСТ 14637

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Для прокладок будем использовать паронит, в соответствии с каталогом таблица 9 [6].
Паронит химически стойкий и широко используется, что делает его дешевле аналогов.

Прокладки кожуха – Паронит по ГОСТ 481

Прокладки распределительной камеры - Паронит по ГОСТ 481

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

5 Механический расчет оборудования

Механический расчет оборудования подтверждает обеспечение механической надежности работы проектируемого оборудования. Рассчитанный критерий в течение всего срока эксплуатации не должен превышать допустимое значение. Расчетная модель ТНГ изображена на рисунке 5.1

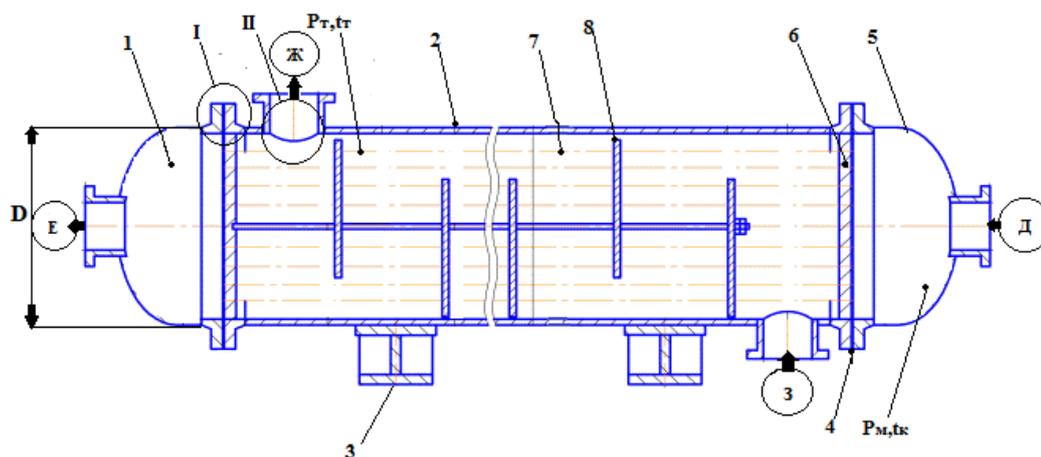


Рисунок 5.1 - Расчетная модель ТНГ:

где P_m - давление в межтрубном пространстве; $P_{г,тг}$ - давление в трубном пространстве;
 $t_{г}$ - максимальная температура горячего теплоносителя; $t_{х}$ - максимальная температура холодного теплоносителя; 1- распределительная камера; 2 – кожух аппарата; 3 – седловая опора; 4 – фланец;
 5 – крышка аппарата; 6 – трубная решетка; 7 – теплообменная труба; 8 – поперечная перегородка;
 I – фланцевое соединение; II – отверстие под технологический штуцер; Д – вход воды; Е – выход – воды;
 Ж – выход антифриза; З – вход антифриза.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	5 Механический расчет оборудования		
Разраб.	Бородич К.М.						
Провер.	Тихонов В.В.					32	123
Н. Контр.					ТПУ гр.З-4Г61		
Утверд.							

5.1 Толщина стенки кожуха (позиция № 2, рисунок – 5.1), рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.2-2017

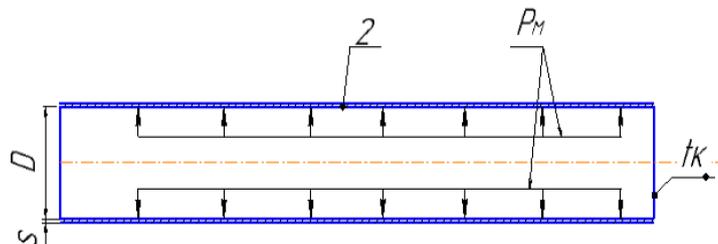


Рисунок 5.2 - Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха

Для расчёта цилиндрической обечайки кожуха, исходные данные представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета цилиндрической обечайки кожуха

Наименование	Значение
Внутренний диаметр, мм	$D = 149$
Рабочее давление в межтрубном пространстве, МПа	$P_M := 0.2$
Рабочее давление в трубном пространстве, МПа	$P_T := 0.2$
Материал обечайки	09Г2С
Скорость коррозии, мм/год	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации, лет	$\tau := 10$
Максимальная температура горячего теплоносителя, °С	$t_T := 25$
Максимальная температура холодного теплоносителя, °С	$t_M := 20$

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

Примем в качестве расчетной температуры горячего теплоносителя наибольшую температуру среды [6], °С:

$$t_{M, \text{расч}} := 20$$

По [6] допускаемое напряжение для стали 09Г2С при температуре 20°С, МПа:

$$\sigma := 196$$

Расчетное значение предела текучести при 20°С для стали 09Г2С определим согласно таблице Б.1 [6], МПа:

$$R_e := 300$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при температуре 20°С гидравлического испытания рассчитаем по 3 [6], МПа:

$$\sigma_{н} := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{1.1}, 0.5\right) = 272.5 \quad (5.1)$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при температуре 20°С, в соответствие с таблицей А.1 [6], МПа:

$$\sigma_{20} := 196$$

Аппарат изготавливается из листового проката, поэтому поправочный коэффициент принимаем в соответствии с рекомендациями п.8.3 [6], МПа:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{Д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 196 \quad (5.2)$$

Определение коэффициента прочности сварных швов:

Для бесшовных элементов сосудов в соответствии с [6]:

$$\phi := 1$$

Давление испытаний рассчитаем по формуле 3.1 [6], МПа:

$$P_{н} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma} = 0.25 \quad (5.3)$$

Прибавка для компенсации коррозии обечайки [6], мм:

$$c_1 := \tau \cdot \Pi = 1 \quad (5.4)$$

В соответствии с таблицей 2 [8] примем поправку на минусовое отклонение, мм:

$$c_2 := 0.8$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [5] примем прибавку на уточнение стенки элемента сосуда при технических операциях, мм:

$$c_3 := 0$$

Расчетную прибавку к толщинам вычисляют согласно [6] по формуле 13, мм:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.8 \quad (5.5)$$

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 2 [8], мм:

$$s_p := \max\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P}, \frac{P_{н} \cdot D}{1.8 \cdot \phi \cdot \sigma_{н} - P_{н}}\right) = 0.081 \quad (5.6)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 1 [8]:

$$s_{н} := \text{ceil}(s_p + c) = 2 \quad (5.7)$$

Принимаем толщину стенки обечайки равной минимальной толщине стенки аппарата диаметром 159 мм [6], мм:

$$s_{н} := 5$$

Проверка на условие применимости формул:

$$P_{гов} := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } \frac{s-c}{D} < 0.1 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{гов} = \text{"условие применение формул выполняется"}$$

Для рабочих условий, МПа:

$$p1 := 2 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \frac{(s-c)}{[D + (s-c)]} = 7.734 \quad (5.8)$$

Для условий испытания, МПа:

$$p_{ли} := 1.8 \cdot \sigma_{н} \cdot \phi \cdot \frac{(s-c)}{[D + (s-c)]} = 9.677 \quad (5.9)$$

Проверка условия прочности:

Для рабочих условий:

$$P_{гов} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P < p1 \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{гов} = \text{"условие прочности выполняется"}$$

Для условий испытания

$$P_{гов} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{н} < p_{ли} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{гов} = \text{"условие прочности выполняется"}$$

5.2 Температурные деформации, рассчитаем в соответствии с ГОСТ 52857.1-2017

Проверим, подходит ли нам теплообменный аппарат с неподвижными трубными решетками, произведем расчет температурных деформаций труб и корпуса.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Расчет ведем по [6]. Схема температурных деформаций труб и корпуса представлена на рисунке 5.3.

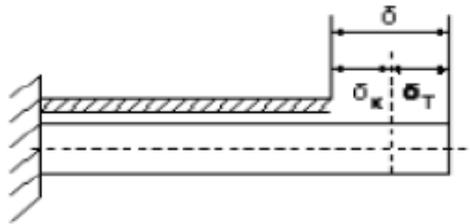


Рисунок 5.3 - Схема температурных деформаций труб и корпуса

Для расчета температурных деформаций, исходные данные представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для трубы и корпуса

Наименование	Значения для трубы	Значения для корпуса
Температурные коэффициенты линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$	$\alpha_T := 11.6 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$
Температура, $^\circ\text{C}$	$t_{\text{т}} := 25$	$t_{\text{к}} := 20$
Наружный диаметр, м	$d_{\text{н}} := 0.025$	$D_{\text{н}} := 0.159$
Внутренний диаметр, м	$d_{\text{вн}} := 0.021$	$D_{\text{вн}} := (D - 2s) = 149$
Число труб, шт	$n := 13$	
Длина труб, м	$l := 3$	

Модули упругости при рабочей температуре согласно [6], МПа:

Для материала труб (10Г2):

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad t_{\text{т}} := 25 \quad (5.10)$$

$$E_T := \text{linterp}(t, E, t_T) = 1.985 \times 10^5$$

Для материала кожуха (09Г2С):

$$E_K := 1.99 \cdot 10^5$$

Допускаемые напряжения при рабочей температуре по [6], МПа:

Для труб:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\text{дт}} := \begin{pmatrix} 180 \\ 160 \end{pmatrix} \quad t_{\text{г}} := 25 \quad (5.11)$$

$$\sigma_{\text{дт}} := \text{linterp}(t, \sigma_{25}, t_{\text{г}}) = 178.75$$

Для корпуса:

$$\sigma_{\text{дк}} := 196$$

Площади поперечного сечения, м²:

Для труб:

$$F_{\text{T}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot n = 1.879 \times 10^{-3} \quad (5.12)$$

Для корпуса:

$$F_{\text{К}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2) \cdot n = 0.031 \quad (5.13)$$

Температурное усилие, МН:

$$Q_{\text{т}} := \left| \frac{(\alpha_{\text{К}} \cdot t_{\text{К}} - \alpha_{\text{T}} \cdot t_{\text{T}}) \cdot E_{\text{T}} \cdot E_{\text{К}} \cdot F_{\text{T}} \cdot F_{\text{К}}}{E_{\text{T}} \cdot F_{\text{T}} + E_{\text{К}} \cdot F_{\text{К}}} \right| = 0.02 \quad (5.14)$$

Температурные напряжения, МПа:

Для труб:

$$\sigma_{\text{T}} := \frac{Q_{\text{т}}}{F_{\text{T}}} = 10.866 \quad (5.15)$$

Для корпуса:

$$\sigma_{\text{К}} := \frac{Q_{\text{т}}}{F_{\text{К}}} = 0.649 \quad (5.16)$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется, ТН подходит"} & \text{if } (\sigma_{\text{T}} < \sigma_{\text{дт}}) \wedge (\sigma_{\text{К}} < \sigma_{\text{дк}}) \\ \text{"условия прочности не выполняется, ТН не подходит"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров} = \text{"условие прочности выполняется, ТН подходит"}$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

5.3 Толщины стенки стандартной эллиптической крышки (позиция № 5, рисунок – 5.1)

рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.2-2017

Примем эллиптическую крышку для теплообменного аппарата по рекомендациям [9].
Расчетная схема крышка изображена на рисунке 5.4.

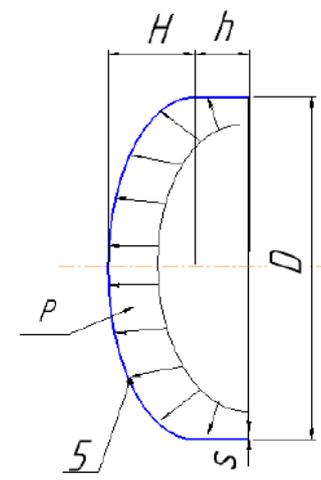


Рисунок 5.4 – Расчетная схема эллиптической крышки

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Исходные данные для расчета эллиптической крышки

Наименование	Значение
Внутренний диаметр, мм	$D := 149$
Рабочее давление, МПа	$P = 0.2$

Цель расчета толщины эллиптической крышки такая же, как и у расчета кожуха: определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и условиях испытания.

Глубина крышки по таблице 2 [9], мм:

$$H := 0.25 \cdot D = 37.25 \quad (5.17)$$

Проверка на условие применимости формул:

$$Pro_{\text{ov}} := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0.2 < \frac{H}{D} < 0.5 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Pro_{\text{ov}} = \text{"условие применение формул выполняется"}$

Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки по формуле 45 [9], мм:

$$R := D = 149 \quad (5.18)$$

Давление в крышке составляет, МПа:

$$P := 0.2$$

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки, мм:

$$s_{1p} := \max\left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - 0.5 \cdot P}, \frac{P_H \cdot R}{1.8 \cdot \phi \cdot \sigma_H - 0.5 \cdot P_H}\right) = 0.076 \quad (5.19)$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки с учетом суммы прибавок оставляет по формуле 42 [4], мм:

$$s_1 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 2 \quad (5.20)$$

Примем, мм:

$$s_1 := 5$$

Проверка на условие применимости формул:

$$P_{\text{гов}} := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0.002 < \frac{s_1 - c}{D} < 0.1 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$P_{\text{гов}} = \text{"условие применение формул выполняется"}$

Для рабочих условий по формуле 44 [9], МПа:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5(s_1 - c)} = 8.329 \quad (5.21)$$

Для условий испытания по формуле 45 [9], МПа:

$$P_{\text{дн}} := \frac{1.8 \cdot \sigma_H \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5(s_1 - c)} = 10.422 \quad (5.22)$$

Проверка условия прочности:

Для рабочих условий:

$$P_{\text{гов}} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P < P_d \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$P_{\text{гов}} = \text{"условие прочности выполняется"}$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Для условий испытания:

$$P_{гов} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P < p_{ди} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$P_{гов} = \text{"условие прочности выполняется"}$

По таблице 2 [9] будем использовать две стальные эллиптические крышки, размеры крышки представлены в таблице 5.4, в соответствии с ГОСТ 6533-78.

Таблица 5.4 - Размеры крышки

D_n , мм	h_1 , мм	h_n , мм	s , мм	F , м ²	V , дм ³	Масса, кг
159	25	40	5	0,04	0,84	1,5

5.5 Проверка необходимости укрепления отверстий в обечайке, рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.3-2017

В кожухотрубном теплообменнике имеются четыре отверстия под технологические штуцера. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла. При расчете укрепления отверстий определим предельный диаметр неукрепленного отверстия и сравним его с расчетным диаметром отверстия.. При расчете определим нужно ли укреплять отверстия в целях компенсации возникающий напряжений в зоне отверстия. расчётная схема представлена на рисунке 5.5.

Штуцер для подвода воды обозначено на рисунке 5.1 позицией II.

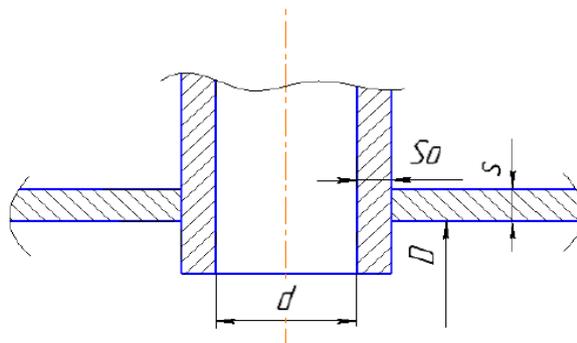


Рисунок 5.5 - Расчетная схема укрепления отверстия

Для расчета укрепления отверстия, исходные данные представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета укрепления отверстия

Наименование	Значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D = 149$
Марка стали	09Г2С
Внутреннее расчетное давление, МПа	$P = 0.2$

Продолжение таблицы 5.5

Наименование	Значение
Исполнительная толщина стенки обечайки, мм	$s = 5$
Расчетная толщина стенки распределительной камеры, мм	$s_{p.к} = 0.076$
Диаметр отверстия, мм	$d := 80$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c = 1.8$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi = 1$
Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, МПа	$\sigma_d := 196$
Допускаемое напряжение при 20 °С, МПа	$\sigma_{20} := 196$

5.6 Параметры цилиндрической оболочки и штуцера, рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.2-2017

Расчетный диаметр аппарата вычисляется по формуле 3 [10], мм:

$$D_p = D = 149$$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 8 [10], мм:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 83.6 \quad (5.23)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\begin{aligned}
 \text{Пров} := & \left\{ \begin{array}{l} \text{"отношение диаметров не выполняются"} \text{ if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру не выполняются"} \text{ if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"условие применения формул выполняется"} \text{ otherwise} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Пров = "условие применения формул выполняется"

Расчетная толщина стенки штуцера по формуле 16 [10], мм:

$$s_{p.шт} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 0.043 \quad (5.24)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_o := \text{ceil}(s_{p.шт} + c) = 2 \quad (5.25)$$

Принимаем, мм:

$$s_o = 2$$

Расчетная длина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца.

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляется по формуле 19 [10]:

$$l_p := \sqrt{D \cdot (s - c)} = 21.836 \quad (5.26)$$

Отношения допускаемых напряжений для внешней части штуцера в соответствии с [10]:

$$\begin{aligned} \sigma_{д1} &:= \sigma_d = 196 \\ \chi &:= \min \left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_d} \right) = 1 \end{aligned} \quad (5.27)$$

5.7 Укрепление отверстия штуцером, в соответствии с ГОСТ 24755-89

Расчетная длина штуцера по формуле 17 [10], мм:

$$l_{1p} := \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} = 16.356 \quad (5.28)$$

Принимаем, мм:

$$l_{1p} := 16$$

5.8 Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.3-2017

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления в стенке цилиндрической обечайки при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера, рассчитаем по формуле 24 [10], мм:

$$d_{o,p} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 8.734 \quad (5.29)$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, рассчитаем по формуле 26 [10], мм:

$$d_o := \min \left[\left[2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \right], (D + 2 \cdot c) \right] = 152.6 \quad (5.30)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_o \geq d_p \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Не требуется укрепление отверстий"

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Нет необходимости укреплять отверстия, так как нагруженным внутренним давлением отверстие цилиндрической обечайки достаточно, что бы компенсировать возникшие напряжения в зоне отверстия.

5.9 Фланец (позиция № 4, рисунок – 5.1) и фланцевое соединение (обозначено I, рисунок 5.1), рассчитаем в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017

При расчете определим тип фланца и прокладки, при которых будут выполняться условия герметичности фланцевого соединения и прочность в рабочих условиях и в условиях испытания. В качестве критериев надежности выступают прочность и герметичность.

Расчетная схема фланца изображена на рисунке 5.7.

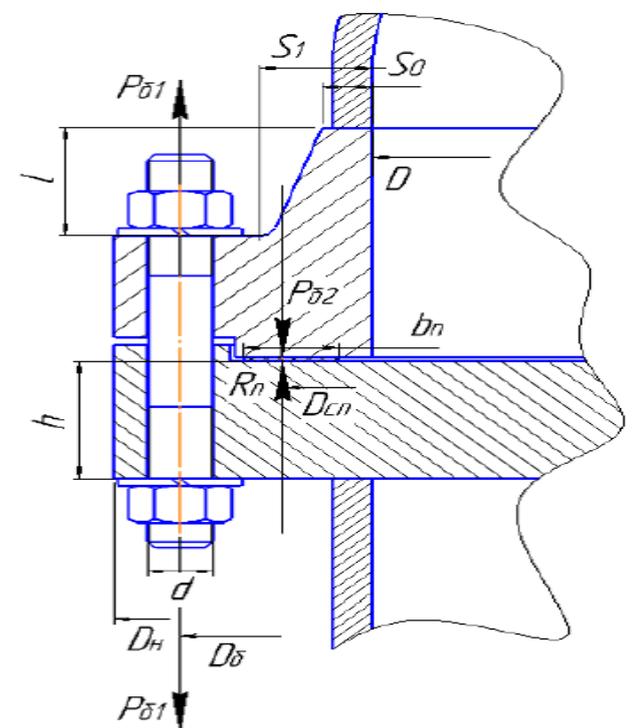


Рисунок 5.7 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчетов фланцевого соединения представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Исходные данные для фланцевого соединения

Наименование	Значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D_{вн} := 149$
Рабочее давление, МПа	$P := 0.2$
Число шпилек, шт	$n := 8$
Сумма прибавок, мм	$c_0 := 1.8$
Расчетная температура, °С	$t := 20$

Продолжение таблицы 5.6

Наименование	Значение
Внешний изгибающий момент, Н·мм	$M := 0$
Внешняя осевая сила, Н	$F_{\text{ос}} := 0$

Согласно ГОСТ 33259-2015 выбираем фланец тип 01 – фланец стальной плоский, исполнения А.

Исходные данные для выбранного типа фланца, представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Исходные данные выбранного фланца:

Наименование	Значение
Наружный диаметр, мм	$D_H := 315$
Диаметр болтовой окружности, мм	$D_6 := 280$
Диаметр болта, мм	$d := 18$
Толщина фланца, мм	$h := 0.5 \cdot (D_H - D_{BH}) = 83$
Толщина обечайки, мм	$S_0 := 7$
Толщина втулки приваренного встык фланца в месте присоединения к тарелке, мм	$S_1 := \beta \cdot S_0 = 17.5$
Коэффициент	$\beta := 2.5$
Высота втулки фланца, мм	$l_{\text{в}} := 3 \cdot (S_1 - S_0) = 31.5$

Выбираем прокладку исполнения типа А материал – паронит ПОН по ГОСТ 15180-86, тогда обозначение прокладки А-80-2,0ПОН – ГОСТ 15180-86. Исходные данные для расчетов прокладки представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Исходные данные для расчетов прокладки

Название величины	Значение
Внутренний диаметр прокладки, мм	$D_{ВП} := 87$
Наружный диаметр прокладки, мм	$D_{НП} := 141$
Ширина прокладки, мм	$b_{п} := \frac{(D_{НП} - D_{ВП})}{2} = 27$
Толщина прокладки, мм	$h_{п} := 2$

Согласно рекомендациям по таблице 21.14 [7]:

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С.

Материал шпилек - сталь 35Х.

Материал прокладки - паронит ПОН.

5.10 Основные расчетные значения, в соответствии с ГОСТ Р 34233.4- 2017

Расчетные температуры, °С:

Для неизолированных приварных встык фланцев по таблице В1 [11]:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t = 19.2 \quad (5.31)$$

Для болтов по таблице В1 [11]:

$$t_b := 0.85 \cdot t = 17 \quad (5.32)$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х по таблице Г1 [11], МПа:

$$\sigma_{д.б} := 230$$

Модуль упругости для болтов из стали 35Х при расчетной температуре по таблице Ж1, МПа [11]:

$$E_b := 2.18 \cdot 10^5$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20$ °С по таблице Г [11], МПа:

$$\sigma_{20б} := 230$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания 20 °С по таблице Ж1 [11], МПа:

$$E_{20б} := 2.18 \cdot 10^5$$

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20-200$ °С по таблице Ж2 [11], 1/К:

$$\sigma_b := 13.4 \cdot 10^{-6}$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 09Г2С по таблице А3 [11], МПа:

$$\sigma := 196$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката, тогда учтем коэффициент, МПа:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{дф} := \eta \cdot \sigma = 196 \quad (5.33)$$

Модуль упругости для фланцев из стали 09Г2С при расчетной температуре по [11], МПа:

$$E := 1.99 \cdot 10^5$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при $t = 20$ °С по [6], МПа:

$$\sigma_{20} := 196$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 196 \quad (5.34)$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания 20 °С по [6], МПа:

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

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 20 - 200$ °С по [6], 1/К:

$$\alpha_{ф} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов из стали 35Х при $t = 20$ °С по таблице Г1, МПа [11]:

$$\sigma_{дбн} := \sigma_{206} = 230$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [11]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

Для рабочих условий:

$$K_{у.р} := 1$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Для условий испытания:

$$K_{y.p.n} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{y.z} := 1$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций:

$$K_{y.t} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х при затяжке, МПа:

Для рабочих условий по формуле Г3 [11]:

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_{дбн} = 358.8 \quad (5.35)$$

Для условий испытаний по формуле Г4 [11]:

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{y.p.n} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_{дбн} = 484.38 \quad (5.36)$$

5.11 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения, в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [11], мм:

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{п}} = 19.745 \quad (5.37)$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [11], мм:

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 121.255 \quad (5.38)$$

Исходные данные для расчетов прокладки представлены в таблице 5.9 [11]:

Таблица 5.9 - Исходные данные для расчетов прокладки

Наименование	Значение
Прокладочный коэффициент	$m := 2.5$
Удельное давление обжатия прокладки, МПа	$q_{обж} := 20$

Продолжение таблицы 5.9

Допускаемое удельное давление, МПа	$q_d := 130$
Коэффициент обжатия прокладки	$K_{обж} := 0.9$
Условный модуль сжатия прокладки, МПа	$E_{п} := 0.02 \cdot 10^5$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [11], Н:

$$R_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 7.522 \times 10^4 \quad (5.39)$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [11], Н:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 3.761 \times 10^3 \quad (5.40)$$

5.12 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях, в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017

Площадь поперечного сечений шпилек для М16 по приложению Д [11], мм²:

$$f_6 := 144$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [16], мм²:

$$A_6 := n \cdot f_6 = 1.152 \times 10^3 \quad (5.41)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [11], Н:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P = 2.309 \times 10^3 \quad (5.42)$$

5.13 Податливость прокладки и шпилек, в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017

Податливость прокладки по формуле К.1 [11], мм/Н:

$$u_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 8.75 \times 10^{-8} \quad (5.43)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Расстояние между опорными поверхностями гаек принимаем [11], мм:

$$L_{60} := 50$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости [11], мм:

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 60.08 \quad (5.44)$$

Податливость болтов по формуле К.2 [11], мм/Н:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 2.392 \times 10^{-7} \quad (5.45)$$

5.14 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев, в соответствии с ГОСТ 34233.4- 2017

Параметр длины обечайки по формуле К.3 [11], мм:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 32.296 \quad (5.46)$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [11]:

$$K := \frac{D_H}{D} = 2.114 \quad (5.47)$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [11]:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.464 \quad (5.48)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 3.023 \quad (5.49)$$

$$\beta_Y := \left[\left(\frac{1}{K - 1} \right) \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \right] = 2.77 \quad (5.50)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 1.576 \quad (5.51)$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [11]:

$$\beta_F := 0.73$$

$$\beta_V := 0.15$$

$$f := 1$$

$$\beta_{\text{мм}} := \frac{S_1}{S_0} = 2.5 \quad (5.52)$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.031 \quad (5.53)$$

Коэффициент по формуле К.11 [11]:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} = 19.89 \quad (5.54)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [11], 1/Н·мм:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} = 2.179 \times 10^{-11} \quad (5.55)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [11]:

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (5.56)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [11], мм:

$$D \leq 20 \cdot S_{1\text{н}} \quad f = 1$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

$$D_{\text{пр}} := D + S_0 = 156 \quad (5.57)$$

5.15 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости, в соответствии с ГОСТ 34233.4- 2017

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [11], мм:

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 79.373 \quad (5.58)$$

Коэффициент находим по формуле Е.6 [11]:

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.05 \quad (5.59)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [11], мм:

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 7.359 \quad (5.60)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [11], мм:

$$e_{\text{вн}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = -17.552 \quad (5.61)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [11], Н/мм:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 1.663 \times 10^6 \quad (5.62)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [11]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} = 0.754 \quad (5.63)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [11], Н:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_f \cdot h \cdot (t_f - 20) - 2 \cdot \alpha_b \cdot h \cdot (t_b - 20)] = 8.315 \times 10^3 \quad (5.64)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения, Н:

$$P_{61} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t \end{array} \right] = 5.501 \times 10^3 \quad (5.65)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов, Н:

$$P_{62} := \max [(P_{обж}), 0.4 \cdot A_b \cdot \sigma_{20б}] = 1.06 \times 10^5 \quad (5.66)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [11], Н:

$$P_{6M} := \max (P_{61}, P_{62}) = 1.06 \times 10^5 \quad (5.67)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [11], Н:

$$P_{6P} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 1.149 \times 10^5 \quad (5.68)$$

5.16 Проверка прочности шпилек и прокладки, в соответствии с ГОСТ 34233.4 - 2017

Расчетные напряжения в болтах:

При затяжке по формуле 19 [11], МПа:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_b} = 92 \quad (5.69)$$

В рабочих условиях по формуле 20 [11], МПа:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_b} = 99.712 \quad (5.70)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21, 22 [11]:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{дбм} \\ \text{"условия при рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{дбр} \\ \text{"условия прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условия прочности выполняется"

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q := \frac{\max(P_{6м}, P_{6р})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 11.168 \quad (5.71)$$

Так как прокладка выполняется из паронита, то, исходя из рекомендаций [7] её необходимо проверить на прочность:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности прокладки выполняются"} & \text{if } q < q_d \\ \text{"условия прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности прокладки выполняются"

5.17 Расчет фланцев на статическую прочность, в соответствии с ГОСТ 34233.4- 2017

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [11], Н/мм:

$$M_M := C_F \cdot P_{6м} \cdot b = 8.412 \times 10^6 \quad (5.72)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [11], Н/мм:

$$M_p := C_F \cdot \max(P_{6р} \cdot b + Q_d \cdot e, |Q_d| \cdot e) = 9.077 \times 10^6 \quad (5.73)$$

5.18 Расчетные напряжения во фланце при затяжке, в соответствии с ГОСТ 34233.4 - 2017

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [11]:

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении, S_1 , МПа:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 10.999 \quad (5.74)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении, S_0 , МПа:

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 10.999 \quad (5.75)$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [11], МПа:

Радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 1.44 \quad (5.76)$$

Окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 20.429 \quad (5.77)$$

5.19 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях, в соответствии с ГОСТ 34233.4 - 2017

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 , по формуле 34 [11], МПа:

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 11.868 \quad (5.78)$$

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 , по формуле 35 [11], МПа:

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 11.868 \quad (5.79)$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [11], МПа:

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 :

$$\sigma_{P1MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)} \right] = 0.281 \quad (5.80)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 :

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)} \right] = 0.906 \quad (5.81)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении S_0 вычисляются по формуле 39 [11]:

$$\sigma_{POMO} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 2.865 \quad (5.82)$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

Радиальное напряжение по формуле 40 [11], МПа:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 1.554 \quad (5.83)$$

Окружное напряжение по формуле 41 [11], МПа:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 22.043 \quad (5.84)$$

5.20 Проверка условий статической прочности фланцев, в соответствии с ГОСТ 34233.4 - 2017

Расчет производится по формулам 43 - 46 [11]:

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

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], МПа:

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 294 \quad (5.85)$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 588 \quad (5.86)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 :

В рабочих условиях:

$$\sigma_{Рmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{1p} + \sigma_{P1MM}| \end{array} \right) \right) = 33.629 \quad (5.87)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_1 :

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Рmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров = "условие прочности выполняются"

При затяжке:

$$\sigma_{3max} := \max \left(|\sigma_{1M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{1M} + \sigma_{TM}| \right) = 31.428 \quad (5.88)$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_1 :

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров = "условие прочности выполняются"

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 :

В рабочих условиях:

$$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}| \quad (5.89)$$

$$W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}| \quad (5.90)$$

$$e := |0.3\sigma_{0p} - \sigma_{POMO}| \quad (5.91)$$

$$R := |0.3\sigma_{0p} + \sigma_{POMO}| \quad (5.92)$$

$$T := |0.7\sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{POMO})| \quad (5.93)$$

$$Y := |0.7\sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{POMO})| \quad (5.94)$$

$$\sigma_{Pmax} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 12.774 \quad (5.95)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$Prov := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dR} \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Prov = \text{"условие прочности выполняются"}$

При затяжке:

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_0 :

$$Prov := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dR} \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Prov = \text{"условие прочности выполняются"}$

Для фланцев всех типов в сечении S_0 должно выполняться условие по формуле 53 [11]:

Проверка условий для фланцев всех типов в сечении S_0 :

$$Prov := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } (|\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Prov = \text{"условие прочности выполняются"}$

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

При затяжке по формуле 54 [11]:

$$Prov := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Prov = "условие прочности выполняются"

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке:

В рабочих условиях по формуле 55 [11]:

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{R\phi}|, |\sigma_{T\phi}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

5.21 Проверка углов поворота фланцев, в соответствии с ГОСТ 34233.4- 2017

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [11], рад:

$$\Theta := M_p \cdot u_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.978 \times 10^{-4} \quad (5.96)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца, рад:

$$\Theta_d := 0.006$$

Проверка условия поворота фланца:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие при испытаниях НЕ выполняются"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"условие в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"условие поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие поворота фланца выполняется"

5.22 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость, в соответствии с ГОСТ 34233.6 – 2017

Расчет на малоцикловую прочность по [13] не проводится, так как при расчетах получены положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения приведенного в [7], при таких же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Проверка условия прочности шпилек:

```
Prov := | "условие прочности шпилек НЕ выполняется при затяжке " if  $\sigma_{61} > \sigma_{дбм}$ 
        | "условие прочности шпилек НЕ выполняется в рабочих условиях " if  $\sigma_{62} > \sigma_{дбр}$ 
        | "условия прочности выполняются" otherwise
```

Prov = "условия прочности выполняются"

Проверка условия прочности прокладки:

```
Prov := | "условие прочности прокладки выполняется " if  $q < q_d$ 
        | "условия прочности НЕ выполняются" otherwise
```

Prov = "условие прочности прокладки выполняется "

5.23 Поверочный расчет кожухотрубчатого теплообменника, в соответствии с ГОСТ 34233.7- 2017

Целью поверочного расчета является обеспечение механической надежности работы теплообменного аппарата. Схема основного типа кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками представлена на рисунке 5.8.

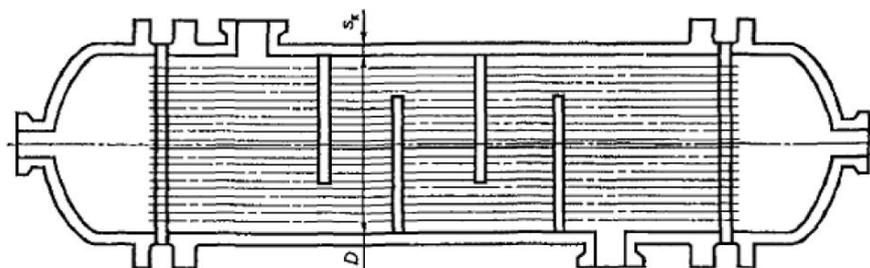


Рисунок 5.8 - Схема аппарата с неподвижными трубными решетками

Исходные данные для поверочного расчета представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Исходные данные для поверочного расчета

Наименование	Значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D = 149$
Толщина стенки кожуха, мм	$s = 5$
Сумма прибавок, мм	$c := 1.8$

Продолжение таблицы 5.10

Наименование	Значение
Коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_k , $1/^\circ\text{C}$	$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре t_T , $1/^\circ\text{C}$	$\alpha_T := 11.6 \cdot 10^{-6}$
Максимальная температура стенки кожуха, $^\circ\text{C}$	$t_{kw} := 20$
Максимальная температура стенки труб, $^\circ\text{C}$	$t_{Tw} := 25$
Давление в трубном пространстве, МПа	$p_T := 0.2$
Давление в межтрубном пространстве, МПа	$p_M := 0.2$
Температура сборки аппарата, $^\circ\text{C}$	$t_{sw} := 20$

5.24 Расчет вспомогательных величин

Определение количества трубок основывается на расположении их по вершинам правильного шестиугольника. Схема расположения труб представлена на рисунке 5.9.

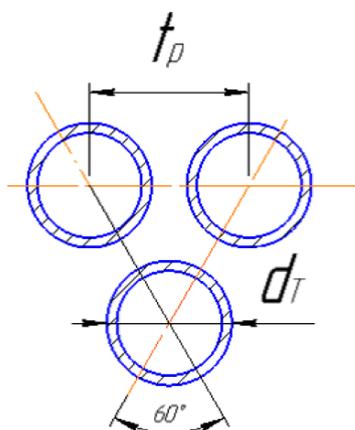


Рисунок 5.9 - Схема расположения труб по вершинам правильного шестиугольника

Принимаем трубы 25x2 мм по табл. 1 [6]. Тогда наружный диаметр труб равен, мм:

$$d_T := 25$$

Шаг расположения труб по таблице 29 [6], мм:

$$t_p := 32$$

Коэффициент заполнения трубной решетки примем:

$$\eta := 0.8$$

Число труб по [6], шт:

$$i := 13$$

По [2] минимальная толщина трубной решетки для труб 25x2 равна, мм:

$$s_{\text{реш}} := 31$$

Так как трубная решетка выполняется заодно с фланцем, принимаем толщину решетки равной толщине фланца по [7], мм:

$$s_{\text{реш}} := 35$$

Внутренний радиус кожуха равен, мм:

$$a := \frac{D}{2} = 74.5 \quad (5.97)$$

По [27] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки, мм:

$$a_1 := 0.525 \cdot t_p \cdot \sqrt{i} = 60.573 \quad (5.98)$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки по формуле 1 [27]:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.23 \quad (5.99)$$

Для гладких теплообменных труб 25x2 мм из материала 10Г2 толщина стенки труб, мм:

$$s_T := 2$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

- со стороны межтрубного пространства по формуле 2 [27]:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.446 \quad (5.100)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

- со стороны трубного пространства по формуле 3 [2]:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.609 \quad (5.101)$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата:

Модуль упругости для материала 10Г2 при температуре 25 °С по [6]. МПа:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E_T := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix} \quad (5.102)$$

$$E_T := \text{linterp}(t, E_T, t_T) = 1.985 \times 10^5$$

По [6] половина длины трубы теплообменного аппарата, мм:

$$l_w := \frac{3000}{2} = 1.5 \times 10^3 \quad (5.103)$$

Модуль упругости основания (системы труб) по формуле 4 [27], Н/мм³:

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1} = 3.235 \times 10^4 \quad (5.104)$$

Модуль упругости для 09Г2С при температуре 20 °С по [6], МПа:

$$E_K := 1.99 \cdot 10^5$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [27]:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_T \cdot s_1} = 1.974 \quad (5.105)$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы – кожух, для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_{p1} := 0$$

$$K_{q1} := 0$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

$$K_p := 1 + K_{p1} = 1$$

$$K_q := 1 + K_{q1} = 1$$

Коэффициент жесткости трубной решетки по приложению Б [27], МПа:

$$\eta := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad \psi := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix} \quad (5.106)$$

$$\psi_0 := \text{linterp}(\eta, \psi, \eta_T) = 0.313$$

Диаметр отверстия в решетке, мм:

$$d_0 := 25.5$$

Коэффициент ослабления трубной решетки по приложению Б [27], мм:

$$\phi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p} = 0.203 \quad (5.107)$$

$$d_E := d_0 - s_T = 23.5 \quad (5.108)$$

Толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, примем равной толщине стенки кожуха, мм:

$$s_1 := 5$$

Эллиптическая крышка имеет толщину стенки из предыдущего расчета, мм:

$$s_2 := 5$$

Коэффициент системы кожух-решетка, 1/мм:

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.067 \quad (5.109)$$

Диаметр фланца по таблице 3 стальных плоских приварных, тип 01 по ГОСТ 33259-2015, мм:

$$D_H := 315$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм:

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 116 \quad (5.110)$$

Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 1.956 \times 10^5 \quad (5.111)$$

Толщина тарелки фланца кожуха по таблице, мм:

$$h_1 := 0.5 \cdot (D_H - D_{BH}) = 83$$

Внутренний диаметр прокладки по таблице 3 ГОСТ 15180-86, мм:

$$d_{\Pi} := 87$$

Наружный диаметр прокладки по таблице 3 ГОСТ 15180-86, мм:

$$D_{\Pi} := 141$$

Условный проход прокладки:

$$B_1 := d_{\Pi} = 87$$

$$E_1 := E_K = 1.99 \times 10^5$$

Коэффициент жесткости фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_{\Phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) = 7.514 \times 10^5 \quad (5.112)$$

Модуль упругости для материала 10Г2 при температуре 25 °С по [6], МПа:

$$E_p := 1.99 \cdot 10^5$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляют по формуле 8 [27], 1/мм:

$$\beta := \frac{1.82}{s_{\text{реш}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_{\text{реш}}}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.107 \quad (5.113)$$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы по формуле 10 [27]:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 6.503 \quad (5.114)$$

5.25 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата, в соответствии с ГОСТ 34233.7- 2017

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб по формуле 12 [27]:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)}{a_1^2} = 0.012 \quad (5.115)$$

Приведенное давление вычисляют по формуле 11 [27]:

$$p_{11} := [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 = -1.876 \quad (5.116)$$

$$p_{22} := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T = 0.47 \quad (5.117)$$

$$p_{33} := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M = 0.34 \quad (5.118)$$

$$p_0 := p_{11} + p_{22} + p_{33} = -1.067 \quad (5.119)$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения по формуле 13 [27]:

$$K_{\phi} := K_{\phi 1}$$

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = 145.303 \quad (5.120)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб определяют по таблице 1 [27]:

$$\omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad \Phi_1 := \begin{pmatrix} 9.08 \\ 10.51 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 6.507) = 9.805 \quad (5.121)$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad \Phi_2 := \begin{pmatrix} 6.15 \\ 7.17 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 6.507) = 6.667 \quad (5.122)$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad \Phi_3 := \begin{pmatrix} 8.81 \\ 10.24 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 6.507) = 9.535 \quad (5.123)$$

Значения T_1, T_2, T_3 определяют по приложению Г [27]:

$$\omega_1 := 6.507 \quad \omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad T_1 := \begin{pmatrix} 9.08 \\ 10.5 \end{pmatrix}$$

$$T_1 := \text{linterp}(\omega, T_1, 6.507) = 9.8 \quad (5.124)$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad T_2 := \begin{pmatrix} 6.13 \\ 7.17 \end{pmatrix}$$

$$T_2 := \text{linterp}(\omega, T_2, 6.507) = 6.657 \quad (5.125)$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad T_3 := \begin{pmatrix} 8.81 \\ 10.2 \end{pmatrix}$$

$$T_3 := \text{linterp}(\omega, T_3, 6.507) = 9.515 \quad (5.126)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

По формулам 20,21,22 [27]:

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца, мм²:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 726.331 \quad (5.127)$$

Фланцы на кожухе одинаковые, поэтому примем, что коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца равен коэффициенту влияния давления на изгиб 1-го фланца:

$$m_2 := m_1$$

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = 0 \quad (5.128)$$

Изгибающий момент, распределенный по краю трубной решетки, по формуле 18 [27], Н·мм/мм:

$$M_n := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + p_1) - T_2^2} = 59.173 \quad (5.129)$$

Перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки, по формуле 19 [27], Н/мм:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + p_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + p_1) - T_2^2} = -9.08 \quad (5.130)$$

Изгибающий момент, распределенный по периметру перфорированной зоны решетки, по формуле 23 [27], Н·мм/мм:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = -67.279 \quad (5.131)$$

Перерезывающая сила, распределенная по периметру перфорированной зоны решетки, по формуле 24 [27], Н/мм:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = -11.167 \quad (5.132)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

- для осевой силы по формуле 25 [27], Н:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_M - \eta_T \cdot P_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = -2.337 \times 10^3 \quad (5.133)$$

Принимаем аппарат с перегородками в кожухе, тогда максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм:

$$l_{1R} := 100$$

Приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу по стр.17 [27], мм:

$$l_{пр} := \frac{l_{1R}}{3} = 33.333 \quad (5.134)$$

Внешний диаметр трубки, мм:

$$d_{внеш} := 25$$

Внутренний диаметр трубки, мм:

$$d_{внутр} := 21$$

Момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴:

$$J_T := \frac{\pi \cdot (d_{внеш}^4 - d_{внутр}^4)}{64} = 9.628 \times 10^3 \quad (5.135)$$

Изгибающий момент, действующий на трубу по формуле 26 [27], Н·мм:

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{пр}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -450.227 \quad (5.136)$$

Усилия в кожухе:

- усилие, распределенное по периметру кожуха по формуле 27 [27], Н/мм:

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = 16.53 \quad (5.137)$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха по формуле 28 [27], Н·мм/мм:

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\Phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -22.041 \quad (5.138)$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух по формуле 29 [27], Н:

$$F_{\text{ос}} := \pi \cdot D \cdot Q_K = 7.738 \times 10^3 \quad (5.139)$$

5.26 Расчетные напряжения в элементах конструкции, в соответствии с ГОСТ 34233.7- 2017

Принимаем трубную решетку, приваренную втавр к обечайке кожуха по [27].

Нагрузки на решетку представлены на рисунке 5.10. Расчетная схема решетки представлена на рисунке 5.11. Трубная решетка аппарата отмечена на рисунке 5.1 позицией номер 6.

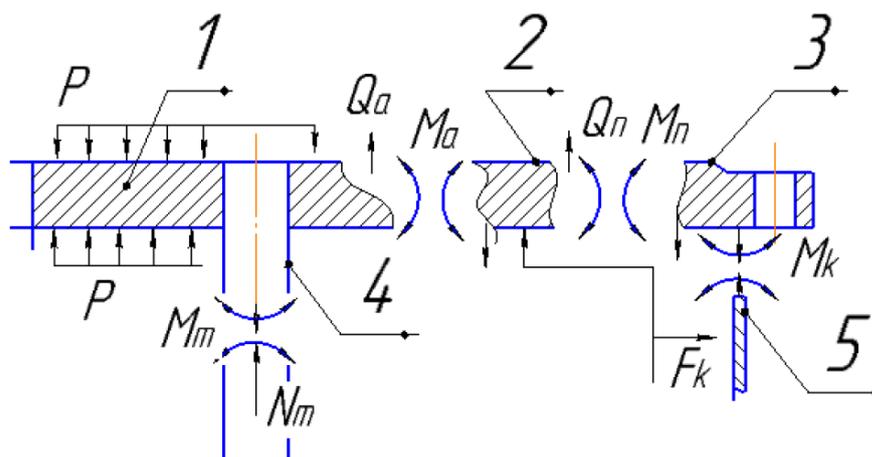


Рисунок 5.10 - Нагрузки на трубную решетку:

- 1 - центральная перфорированная часть; 2- кольцевая неперфорированная часть;
3 - фланец; 4 - трубы; 5 - корпус.

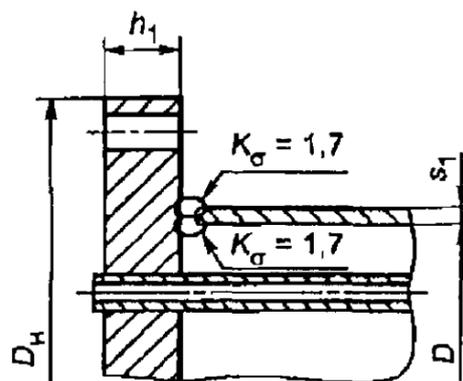


Рисунок 5.11 - Расчетная схема трубной решетки

$$s_p := s_{\text{реш}}$$

Ширина тарелки фланца кожуха, мм:

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 83 \quad (5.140)$$

$$s_p = 35$$

Принимаем толщину решетки равной толщине трубной решетки, мм:

$$s_{1p} := s_{\text{реш}}$$

$$s_{1p} = 35$$

Расчетные напряжения в трубных решетках:

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом:

- изгибные по формуле 30 [27], МПа:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 0.322 \quad (5.141)$$

- касательные по формуле 31 [27], МПа:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 0.273 \quad (5.142)$$

$$\text{При } -1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1$$

где A - коэффициент, определяемый по табл. Г2 [27] в зависимости от ω и m_A :

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.647 \quad (5.143)$$

$$m_A := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.7 \end{pmatrix} \quad A := \begin{pmatrix} 0.851 \\ 0.888 \end{pmatrix} \quad (5.144)$$

$$A := \text{linterp}(m_A, A, 0.647) = 0.868$$

Максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки по формуле 34 [27], Н·мм/мм:

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 90.327 \quad (5.145)$$

Проверка условия выполнения изгибающего момента:

$$\text{Pr0v} := \begin{cases} \text{"условие выполняются"} & \text{if } |M_a| \leq M_{\max} \\ \text{"условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Pr0v = "условие выполняются"

Напряжения в перфорированной части трубной решетки:

- изгибные по формуле 32 [27], МПа:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 2.421 \quad (5.146)$$

- касательные по формуле 33 [27], МПа:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\phi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 1.656 \quad (5.147)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке:

- в меридиональном направлении по формулам 38,39 [27]:

Мембранные, МПа:

$$\sigma_{M\kappa} := \frac{|Q_{\kappa}|}{(s_{1p} - c)} = 0.498 \quad (5.148)$$

Изгибные, МПа:

$$\sigma_{\text{и}\kappa} := \frac{6 \cdot |M_{\kappa}|}{(s_{1p} - c)^2} = 0.12 \quad (5.149)$$

- в окружном направлении по формулам 40,41 [27], МПа:

мембранные, МПа:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_M \cdot a}{(s_{1p} - c)} = 0.449 \quad (5.150)$$

изгибные, МПа:

$$\sigma_{\text{и}\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{и}\kappa} = 0.036 \quad (5.151)$$

Напряжения в трубах:

- в осевом направлении по формулам 42,43 [27]:

Мембранные, МПа:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 16.169 \quad (5.152)$$

Суммарные, МПа:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2 \cdot J_T} = 16.754 \quad (5.153)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- в окружном направлении по формуле 44 [27], МПа:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 1.15 \quad (5.154)$$

5.27 Проверка прочности и устойчивости кожуха по РД РТМ 26-01-141-82

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке по формуле 53 [27], МПа:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется"

5.28 Проверка прочности и жесткости трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 10Г2 при температуре 25 °С по [6], МПа:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix} \quad (5.155)$$

$$\sigma_{др} := \text{linterp}(t, \sigma, 25) = 194.813$$

Проверка статической прочности:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется"

По таблице 2 [27] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки, мм:

$$W_1 := 0.7$$

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 2.859 \times 10^{-5} \quad (5.156)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Условия статической прочности:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } W \leq W_1 \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется"

5.29 Расчет труб на прочность и расчет крепления труб в решетке, в соответствии с ГОСТ 55601- 2013

Примем, что трубки крепятся в трубной решетке при помощи развальцовки.

Расчетная схема крепления труб в трубной решетке представлена на рисунке 5.12.

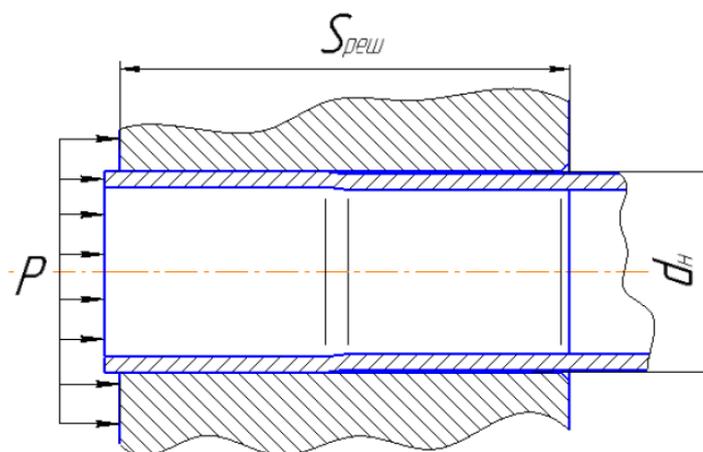


Рисунок 5.12 - Схема крепления труб в трубной решетке

Допускаемое напряжение для материала труб 10Г2 при температуре 25 °С по [6], МПа:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \sigma := \begin{pmatrix} 180 \\ 160 \end{pmatrix} \quad (5.157)$$

$$\sigma_{\text{дт}} := \text{interp}(t, \sigma, 25) = 178.75$$

Условие статической прочности труб, МПа:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\sigma_{p1}, \sigma_{p2}) \leq \sigma_{\text{дт}} \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется"

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если $N_T < 0$, Н:

$$N_T = -2.337 \times 10^3$$

$Prov :=$

"условие устойчивости выполняется"	if	$\sigma_{1T} \leq \phi_p \cdot \sigma_{дт}$
"условия устойчивости НЕ выполняются"	otherwise	

$Prov =$ "условие устойчивости выполняется"

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой. Тогда, глубину развальцовки, мм:

$$l_B := 26$$

По приложению Е [27] для гладкозавальцованных труб допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой, Н:

$$N_{тр} := \left[0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \min \left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6 \right) \min (\sigma_{дт}, \sigma_{др}) \right] = 1.343 \times 10^4 \quad (5.158)$$

Проверка условия прочности крепления труб в трубной решетке:

$Prov :=$

"условие прочности выполняется"	if	$N_T \leq N_{тр}$
"условия прочности НЕ выполняются"	otherwise	

$Prov =$ "условие прочности выполняется"

5.30 Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность, в соответствии с ГОСТ 34233.5 - 2017

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [4], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [6] не проводится для обечайки, труб и трубной решетки.

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, болтов и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения.

Исходя из полученных данных, принят теплообменник типа 159ТНГ-0.2-М17/25Г-3-1-У-И.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Для труб:

-проведена проверка статической прочности, МПа:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT} \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется "

-проведена проверка крепления труб в трубной решетке, Н:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } N_T \leq N_{Tp} \\ \text{"условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняется "

Для трубной решетки:

-проведена проверка статической прочности, МПа:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие статической прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"условия статической прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие статической прочности выполняется "

- величина прогиба трубной решетки, мм:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прогиба выполняются"} & \text{if } W \leq (W) \\ \text{"условия прогиба НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прогиба выполняются "

- изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, Н·мм/мм:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прогиба выполняются"} & \text{if } M_a \leq M_{max} \\ \text{"условия прогиба НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прогиба выполняются "

По произведенным расчетам можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает всем критериям надежности.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

5.31 Расчет массы аппарата

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях водой. Исходные данные для расчета массы аппарата приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 - Исходные данные для расчета массы аппарата

Наименование	Значение
Наружный диаметр корпуса, м	$D_{\text{нар}} := 159 \cdot 10^{-3}$
Внутренний диаметр аппарата, м	$D_{\text{вн}} := 149 \cdot 10^{-3}$
Внутренний диаметр труб, м	$d_{\text{в}} := 0.021$
Плотность воды, кг/м ³	$\rho_{\text{с}} = 1000$
Толщина стенок труб, м	$s_{\text{тр}} := 0.002$
Толщина стенки корпуса, м	$s_{\text{корп}} := 0.005$
Сумма прибавок, м	$c := 0.0018$
Длина труб, м	$L_{\text{тр}} := 3$
Количество труб, м	$N_{\text{труб}} := 13$
Ускорение свободного падения, м ² /с	$g := 9.81$
Плотность стали, кг/м ³	$\rho_{\text{с}} = 7850$
Толщина трубной решетки, м	$s_{\text{тр}} := 0.035$
Диаметр трубной решетки, м	$D_{\text{т.р1}} := 0.140$
Наружный диаметр труб, м	$d_{\text{н}} := 0.025$

Объем материала обечайки, м³:

$$V_{\text{об}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - D_{\text{вн}}^2) \cdot L_{\text{тр}} = 7.257 \times 10^{-3} \quad (5.159)$$

Масса обечайки, кг:

$$m_{\text{об}} := \rho_{\text{об}} \cdot V_{\text{об}} = 56.968 \quad (5.160)$$

Объем материала трубок, м:

$$V_{\text{тр}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot L_{\text{тр}} = 4.335 \times 10^{-4} \quad (5.161)$$

Масса трубок, кг:

$$m_{\text{тр}} := N_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{тр}} \cdot V_{\text{тр}} = 44.243 \quad (5.162)$$

По таблице 16.3 [31] масса днища 1.5 кг, тогда суммарная масса крышки и днища равна, кг:

$$m_{\text{дн}} := 2 \cdot 1.5 = 3 \quad (5.163)$$

Масса трубных решеток, кг:

$$m_{\text{реш}} := 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - d_{\text{н}}^2 \cdot N_{\text{труб}}) \cdot S_{\text{тр}} \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{\text{реш}} = 6.558 \times 10^{-3} \quad (5.164)$$

Общая масса аппарата, кг:

$$m_{\text{апп}} := m_{\text{об}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{дн}} + m_{\text{реш}} = 104.217 \quad (5.165)$$

Объем аппарата, м³:

$$V_{\text{апп}} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{нар}}^2 \cdot L_{\text{тр}} = 0.06 \quad (5.166)$$

Масса воды в аппарате, кг:

$$m_{\text{вод}} := V_{\text{апп}} \cdot \rho_{\text{в}} = 59.567 \quad (5.167)$$

Вес пустого аппарата:

Принимаем, что фланцы, патрубки и пр. составляют 20% массы аппарата, кг:

$$m_{\text{вс}} := 0.2 \cdot m_{\text{апп}} = 20.843 \quad (5.168)$$

Общая нагрузка на опоры, Н:

$$G := (m_{\text{апп}} + m_{\text{вс}} + m_{\text{вод}}) \cdot g = 1.846 \times 10^3 \quad (5.169)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Нагрузка от собственной массы, Н:

$$F := G = 1.846 \times 10^3$$

5.32 Расчёт обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор, в соответствии с ГОСТ 34233.5 - 2017

Целью расчета является проверка несущей способности корпуса аппарата от воздействия опорной нагрузки от рабочего веса аппарата, а также подбор седловых опор на основе рассчитанной максимальной массы кожухотрубчатого теплообменника. В расчете определяется необходимость подкладного листа.

Седловая опора изображена на рисунке 5.13 под номером 3. Расчетная схема опоры изображена на рисунке 5.14.

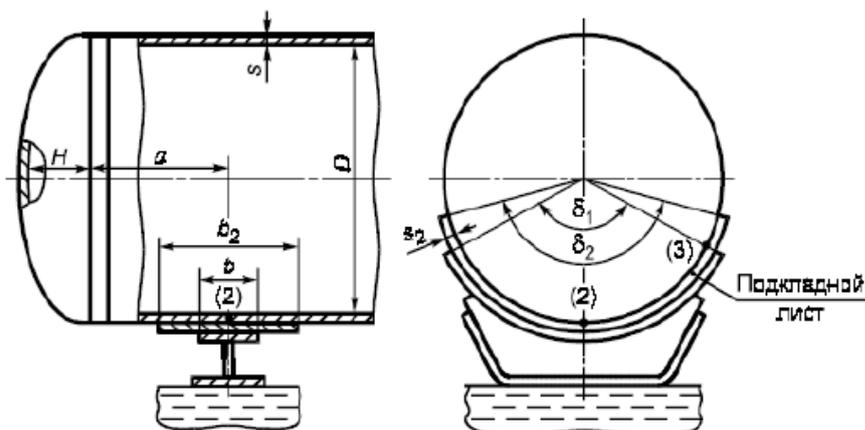


Рисунок 5.13 - Расчетная схема седловой опоры

Исходные данные для расчета обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 - Исходные данные для расчета обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Наименование	Значение
Марка стали	09Г2С
Плотность материала, кг/м ³	$\rho := 7850$
Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;	$H := 35.76$

Продолжение таблицы 5.12

Наименование	Значение
Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;	$L := 3400$
Внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;	$D := 149$
Внутреннее избыточное давление, МПа	$p_{rab} := 0.2$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла	$\phi := 1$
Модуль продольной упругости материала обечайки при расчетной температуре, МПа	$E := 1.99 \cdot 10^5$
Ширина седловой опоры, мм	$b := 120$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм	$a := 200$
Длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм	$e := a + H = 235.76$
Расчетная температура в аппарате, °С	$t_{rab} := 20$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм	$c := 1.8$
Угол охвата седловой опоры, °	$\delta_1 := 120\text{-deg}$
Угол охвата сосуда подкладным листом, °	$\delta_2 := 140\text{-deg}$

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения симметрично опёртый на две опоры.

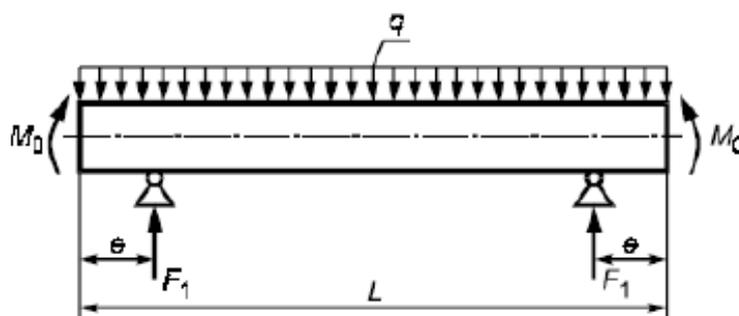


Рисунок 5.14 - Расчетная схема определения усилий

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [6] при расчётной температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, МПа:

$$\sigma_d := 194.5$$

Расчётное давление, МПа:

$$p := p_{rab}$$

$$p := 0.2$$

Допустимое наружное давление, МПа:

$$n_y := \begin{cases} 2.4 & \text{if } o = 1 \\ 1.8 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$n_y = 1.8$$

$$p_d := \begin{cases} p_{dp} \leftarrow \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \\ B_1 \leftarrow \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right] \\ p_{dE} \leftarrow \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \\ p_d \leftarrow \frac{p_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{dp}}{p_{dE}} \right)^2}} \end{cases} \quad (5.170)$$

$$p_d = 2.312$$

Площадь эллиптической крыши и днища, мм:

$$A_k := 1.24 \cdot D = 184.76 \quad (5.171)$$

Площадь корпуса, мм:

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L = 1.592 \times 10^6 \quad (5.172)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Вес аппарата, Н:

$$\begin{aligned}
 G &:= \left\{ \begin{array}{l} A_k \leftarrow 1.24 \cdot D \\ A1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot \left[2 \cdot A_k \cdot s + A1 \cdot s + \pi \cdot \left(\frac{d_H^2 - d_B^2}{4} \right) \cdot L_{TP} \cdot i \right] \cdot 10^{-9} \\ G \leftarrow 9.81 \cdot m_k \quad \text{if } o = 1 \\ G \leftarrow 9.81 \cdot \left[m_k + \left[\frac{\pi \cdot D^2}{24} \cdot (L + 2D) - \pi \cdot \left(\frac{d_H^2 - d_B^2}{4} \right) \cdot L_{TP} \cdot i \right] \cdot 10^{-6} \right] \quad \text{if } o = 2 \end{array} \right. \quad (5.173)
 \end{aligned}$$

$$G := 1.925 \cdot 10^3$$

Проверка применимости формул:

$$\text{Prov} := \left\{ \begin{array}{l} \text{"Формулы применимы"} \quad \text{if} \quad \left\{ \begin{array}{l} A_k \geq (s - c) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \\ 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s - c}{D} \leq 0.5 \\ s_2 \geq s \end{array} \right. \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

Prov = "Формулы применимы "

Распределенная нагрузка, действующая на обечайку по приведенной на рисунке 5.14 расчетной схеме, вычисляются по формулам 30 [32], Н/мм:

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} = 0.558 \quad (5.174)$$

Изгибающий момент, действующий на обечайку по приведенной на рисунке 5.14 расчетной схеме, вычисляются по формулам 31 [32], Н·мм:

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} = 774.741 \quad (5.175)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Опорное усилие, по формуле 33 [32], Н:

$$F_1 := \frac{G}{2} = 962.5 \quad (5.176)$$

Момент над опорой вычисляют по формуле 34 [32], Н·мм:

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 = 1.474 \times 10^4 \quad (5.177)$$

Максимальный момент между опорами вычисляют по формуле 35 [32], Н·мм:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot H \right)^2 = 6.149 \times 10^5 \quad (5.178)$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой вычисляют по формуле 36 [32], Н:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 = 837.52 \quad (5.179)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами по формуле 40 [32]:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Проверка требуется"} & \text{if } M_{12} \geq M_1 \\ \text{"Проверка НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Проверка НЕ требуется"

5.32 Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла ГОСТ 34233.5 - 2017

Параметр, определяемый расстоянием до днища вычисляют по формуле 45 [32]:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s-c)}{D}} = 0.557 \quad (5.180)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры вычисляют по формуле 46 [32]:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 5.001 \quad (5.181)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла вычисляют по формуле 55 [32], МПа:

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 0.264 \quad (5.182)$$

Проверка несущей способности обечайки:

$$u := 2$$

для подкладного листа по формуле 61 [32]:

$$w := \begin{cases} s - c & \text{if } u = 1 \\ (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} & \text{if } u = 2 \end{cases} \quad (5.183)$$

При $o := 2$

Коэффициенты для определения $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$:

$$K_2 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.05$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25 \quad (5.184)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.851 \quad (5.185)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.425 \quad (5.186)$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} = 0.965 \quad (5.187)$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w} \cdot \frac{b}{D}} \cdot \delta} = 0.178 \quad (5.188)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата:

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.071 \quad (5.189)$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) = 1 \quad (5.190)$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.2 \quad (5.191)$$

по табл.1 [32]:

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.077 \quad (5.192)$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta)} = -1.543 \quad (5.193)$$

$$v_{212} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} = -1.294 \times 10^{-3} \quad (5.194)$$

$$v_{213} := 0$$

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

$$v_{222} := \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} = 4.851 \times 10^{-3} \quad (5.195)$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} = 0.012 \quad (5.196)$$

По стр.3 [32]:

$$K_{112} := \frac{1 - v_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right)^2 + (1 - v_{212}^2) \cdot v_{12}^2}} = 1.48 \quad (5.197)$$

$$K_{122} := \frac{1 - v_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right)^2 + (1 - v_{213}^2) \cdot v_{13}^2}} = 0.523 \quad (5.198)$$

$$K_{113} := \frac{1 - v_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right)^2 + (1 - v_{222}^2) \cdot v_{12}^2}} = 1.482 \quad (5.199)$$

$$K_{123} := \frac{1 - v_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right)^2 + (1 - v_{223}^2) \cdot v_{13}^2}} = 0.529 \quad (5.200)$$

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 0.523$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.529$$

Предельное напряжение изгиба по формуле 1 [32], МПа:

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 106.829 \quad (5.201)$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 108.112 \quad (5.202)$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении по формуле 57 [32], Н:

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{12} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 6.202 \times 10^4 \quad (5.203)$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении по формуле 58 [32], Н:

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{13} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 2.35 \times 10^5 \quad (5.204)$$

Проверка условие прочности по формуле 56 [32], Н:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры по формуле 60 [32], Н:

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 268.688 \quad (5.205)$$

Допустимое поперечное усилие, Н:

$$Q_d := \begin{cases} Q_{dp} \leftarrow 0.25 \cdot \sigma_d \cdot \pi \cdot D \cdot (w) \\ Q_{de} \leftarrow \frac{2.4 \cdot E \cdot (w)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D \cdot (w)}{L^2} \right] \\ Q_d \leftarrow \frac{Q_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{dp}}{Q_{de}} \right)^2}} \end{cases} \quad (5.206)$$

$$Q_d = 1.347 \times 10^5$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости, Н:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot w \cdot \sigma_d = 5.62 \times 10^5 \quad (5.207)$$

Проверка условие устойчивости:

$$P_{\text{гов}} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d}\right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$P_{\text{гов}} = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$

Выбранные седловые опоры не оказывают на обечайку аппарата воздействий, которые могли бы привести к потере прочности и устойчивости теплообменника.

Таким образом, подбираем седловую опору типа 1, для сосудов и аппаратов диаметром от 159 до 630 мм, согласно по ОСТ 26-2091-93 «Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция».

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна

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

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

1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Примерный бюджет проекта – 89178,29 руб. В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30% Минимальный размер оплаты труда (на 01.01.2020) 12130 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета технического проекта	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на проектирование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проектирования проекта
4. Бюджет затрат ТП

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.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В работе представлен расчет установки СОВ для охлаждения гальванических ванн. Основными потребителями подобного оборудования являются предприятия химической промышленности.

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Карта сегментирования рынка по производству кожухотрубчатых теплообменников представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1- Карта сегментирования КТ

Размер завода	Количество ходов в теплообменнике		
	Один	Два	Четыре
Малый	ООО «Теплотекс АПВ»		
Средний		ООО Промышленная группа «Империя»	
Крупный			ЗАО «ЦЭЭВТ»

Вывод: Изготовление кожухотрубчатых теплообменников, которые имеют разное количество ходов, изготавливаются на разных заводах. Так одноходовой на малом, двухходовой на среднем и четырехходовой на крупном. Следовательно, среди заводов разными размерами конкуренция отсутствует.

6.2 SWOT-анализ

Для определения сильных и слабых сторон проекта, а также потенциальных угроз и возможностей, проведем SWOT-анализ в таблице 6.2.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Бородич К.М.</i>			<i>6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					91	123
<i>Н. Контр.</i>						<i>ТПУ зр.3-4Г61</i>		
<i>Утверд.</i>								

Таблица 6.2 - SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
<p>Возможности:</p> <p>В1.Выход на международный рынок</p> <p>В2. Спрос на результаты теоретических расчетов</p> <p>В3. Возможность увеличения поверхности теплопередачи.</p> <p>В4. Возможность использования аппарата в вертикальном, и горизонтальном положении.</p>	<p>Сильные стороны и возможности</p> <p>1.Высокая экономичность проекта и универсальность его результатов повышают вероятность выхода на международный рынок и спрос на результаты проекта.</p> <p>2.Изменение скорости потоков, использование возможных площадей теплообмена как внутри труб, так и в межтрубном пространстве, за счет различных интенсификаторов.</p> <p>3.Развитие торговых отношений отечественных и иностранных производителей.</p>	<p>Слабые стороны и возможности</p> <p>1.Рациональноераспределение потоков может исключить механическую очистку межтрубного пространства.</p>
	<p>C1. Актуальность и востребованность результатов проекта.</p> <p>C2. Относительная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>C3. Уменьшение загрязнения окружающей среды.</p> <p>C4. Компетенции участников проекта в данной области.</p>	<p>Сл1. Нет возможности механической очистки межтрубного пространства</p>

Продолжение таблицы 6.2

Угрозы:	Сильные стороны и угрозы	Слабые стороны и угрозы
У1. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации	1.Использование подходящих прокладок.	1.Использование других конструкций аппарата, которые позволили бы очищать межтрубное пространство механическим путем, или замена труб.
У2. Высокая конкуренция между производителями	2.Вероятность продвижение аппарата на мировой рынок за счет новизны технологии и снижения стоимости.	2.Снижение цен на выпускаемую продукцию.
У3. Угроза вырывания труб трубного пучка из трубной решетки, при увеличении нагрузок (давление).	3.Использование подходящего рода крепления труб в трубной решетки.	3.Усовершенствованиетехнологии.

SWOT-анализ показывает на то, что основной угрозой проекта является санкционная политика. С целью обеспечения конкурентоспособности продукта, необходимо использование высококачественных отечественных материалов и комплектующих, соответствующих современным требованиям отрасли.

6.3 Планирование научно – исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках научного исследования.
- Определение участников каждой работы.
- Установление продолжительности работ.
- Построение график проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, в качестве исполнителя (И), научный руководитель выпускной квалификационной работы (НР). Примерный порядок составления этапов и работ, распределения исполнителей по данным этапам работ представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Перечень этапов, работ и распределения

Основные этапы работ	Номер работ	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и разработка технического задания	НР
Выбор направления исследований	2	Подбор материалов по теме исследования	НР, И
	3	Изучение материалов по теме исследования	И
	4	Выбор направления исследования	НР, И
	5	Календарное планирование работ	НР, И
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов с использованием ПО MathCAD	И
	7	Выбор лучшего результата	НР
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И
	9	Определение целесообразности выполнения ВКР	НР, И
Проведение ВКР			
Разработка технической и документации и проектирование	10	Разработка чертежей в программе КОМПАС 3D	И
	11	Проверка разработанных чертежей	НР, И
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	И

Проектирование СОВ для охлаждения гальванических ванн состоит из 12 этапов. Инженер выполняет большую часть работы.

6.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значения трудоемкости $t_{ожi}$, рассчитаем по формуле 6.1:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (6.1)$$

где, $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн..

На выполнения работ выделено 4 месяца (97 дней). Кратчайший срок выполнения проекта - 60 дней, максимальный - 90 дней. Минимальная и максимальная трудоемкость выполнения работ представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 - Минимальная и максимальная трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Минимальная трудоемкость	1	2	8	1	1	10	1	1	1	12	1	17
Максимальная трудоемкость	1	4	10	2	1	20	2	2	1	20	2	25

Определим ожидаемую трудоемкость округлением до целых, данные запишем в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 - Ожидаемая трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ожидаемая трудоемкость	1	3	9	1	1	14	2	2	1	15	2	20

С учетом ожидаемой продолжительности работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , по формуле 6.2:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіі}}{Ч_i}, \quad (6.2)$$

где, T_{pi} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожіі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел..

Результаты расчёта продолжительности каждой работы в рабочих днях представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 - Продолжительность каждой работы в рабочих днях

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Продолжительность каждой работы	1	2	9	5	1	14	2	1	5	15	1	20

6.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

С целью построения графика Гантта, необходимо дни, затраченные на каждый этап работ, перевести календарные, по формуле 6.3:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (6.3)$$

где, T_{ki} - продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности, рассчитаем по формуле 6.4:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (6.4)$$

где, $T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Подставим численные значения в формулу (6.4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Продолжительность каждой из работ рассчитана и представлена в таблице 6.7 с округлением до целых.

Таблица 6.7 - Временные показатели проведения работ

№	Минимальная трудоемкость	Максимальная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость	Исполните ли работ	Длительно сть в раб. днях	Длительнос ть в кал. днях
1	1	1	1	НР	1	1
2	2	4	3	НР,И	2	2
3	8	10	9	И	9	11
4	1	2	1	НР, И	1	1
5	1	1	1	НР, И	1	1
6	10	20	14	И	14	17
7	1	2	2	НР	2	2
8	1	2	2	НР, И	1	1
9	1	1	1	НР, И	1	1
10	12	20	15	И	15	18
11	1	2	1	НР, И	1	1
12	17	25	20	И	20	24
ИТОГО:	60	90	72		68	80

По полученным данным из таблицы 6.7 составим план-график работ, и представим его в таблице 6.8.

Таблица 6.8 - План-график работ по теме «Проект системы оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн»

Вид работы	Исполнители	Тк _і , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление технического задания	НР	1	■											
Изучение материалов	И	10	■											
Выбор направления исследования	НР, И	1		■										
Планирование работ	И	2			■									
Проведение расчетов	И	14				■								
Проверка расчетов	НР	2					■							
Оценка результатов	НР, И	1						■						
Целесообразность ОКР	И	2							■					
Построение чертежей	И	28								■	■	■		

Продолжение таблицы 6.8

Проверка чертежей	НР	1																
Составление ПЗ и оформление чертежей	И	23																

Вывод: В соответствии с таблицей 6.8 продолжительность проектирования составляет 12 целых декад, начиная с первой декады февраля, заканчивая третьей декадой мая, с 1 февраля по 25 мая. Продолжительность рабочего времени составляет 87 дня. Из них 81 день – работает инженер, а 6 дней – работа руководителя.

6.4 Затраты на выполнение НТИ

Произведем расчеты основных затрат, которые будут входить в бюджет НТИ.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- Материальные затраты НТИ;
- Затраты на оборудование;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Накладные расходы.

6.4.1 Материальные затраты

Материальные затраты, рассчитаем по формуле (6.5):

$$Z_m = (1 + kt) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (6.5)$$

где, m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых в процессе выполнения работ;

$N_{расхi}$ - количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию (шт., кг, л, и т.д.);

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

C_i - цена единицы i -го вида материальных ресурсов (руб./шт., руб./л., руб./кг. и т.д.);

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимаются в размере 15% от стоимости материалов).

Материальные затраты в рамках работ занесем в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 - Материальные затраты в рамках работ

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Ручка	1	20	20
Тетрадь	4	20	80
Карандаш	2	10	20
Картридж для принтера	1	700	700
Бумага	1	300	300
Всего за материалы:			1120
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%):			168
Итого:			1220

Материальные затраты на оборудование и программы, которые нужны для выполнения расчетов и оформления чертежей представлено в таблице 6.10.

Таблица 6.10 - Материальные затраты на оборудование и программы

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Компьютер	1	60000	60000
ПО Microsoft office	1	2000	2000

Продолжение таблицы 6.10

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Mathcad Application	1	30000	30000
Компас 3D	1	40000	40000
Итого:			132000

Затраты по таблице 6.10 не учитываются так как оборудование и программное обеспечение было приобретено ранее.

6.4.2 Расчёт амортизационных отчислений

Написание ВКР по плану занимает 5 месяцев. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет.

Норма амортизации, рассчитывается по формуле 6.6:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\% \quad (6.6)$$

где T – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации, рассчитывается по формуле 6.7:

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% \quad (6.7)$$

Годовые амортизационные отчисления, рассчитывается по формуле 6.8:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.}, \quad (6.8)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления, рассчитывается по формуле 6.9:

$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.}, \quad (6.9)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств, рассчитывается по формуле 6.6:

$$A = 1650 \cdot 5 = 8250 \text{ руб.}, \quad (6.10)$$

6.4.3 Основная заработная плата исполнительской темы

Основная заработная плата. рассчитывается по формуле (6.11):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (6.11)$$

где, $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата одного работника;

T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату работника, рассчитаем по формуле (6.12):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (6.12)$$

где, $Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 36 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 5 - дневная неделя

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн..

Баланс рабочего времени, представлен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни	44	48
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	56	28
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	271

Месячный должностной оклад работника, рассчитывается по формуле (6.13):

$$Z_{\text{мес}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (6.13)$$

где, $Z_{\text{мес}}$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

$Z_{\text{тс}}$ - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

$k_{\text{р}}$ - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Результаты расчета фонда заработной платы производственных рабочих, представлен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 - Расчет фонда заработной платы производственных рабочих

Исполнители	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{мес}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	0,3	0,2	1,3	36174	1205,8	10	12058
Инженер	0,3	0,2	1,3	18426	614,2	65	39923
Итого:							51981

6.4.4 Дополнительная заработная плата исполнительной темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (6.14):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (6.14)$$

где, $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12).

6.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле (6.15):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

На 2021 г. размер ставки страховых взносов равен 30% (22% - ПФР, 5,1% - ФОМС, 2,9% - ФСС).

Результаты расчета приведены в таблице 6.13.

Таблица 6.13 - Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Исполнители	$Z_{\text{доп}}$	$Z_{\text{внеб}}$
Руководитель	1446,96	3617,40
Инженер	4790,76	13414,13
Итого:	23269,25	

6.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле 6.16:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + A + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (6.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 15%, тогда произведем расчет по формуле 6.16.

$$Z_{\text{накл}} = (1220 + 8250 + 51981 + 23269,29) \cdot 0,15 = 12708,04$$

6.4.7 Бюджет затрат НТИ

Бюджет затрат проведенных работ приведен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 - Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	1220
2. Затраты на оборудование	0
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	51981
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6237,72

Продолжение таблицы 6.14

Наименование статьи	Сумма, руб
5. Отчисления во внебюджетные фонды	17031,53
6. Затраты на научные и производственные командировки	0
7. Накладные расходы	12708,04
8. Бюджет затрат НИИ	89178,29

Распределили обязанности по проектированию и рассчитали общее продолжительность работы, которое составило 87 дней. После всех произведенных расчетов бюджет затрат на НИИ составил 89178,29 рублей.

Вывод:

- 1) Составлена карта потенциальных потребителей результатов исследования. По таблице 6.1 сделали вывод, что конкуренция отсутствует.
- 2) Определен коммерческий потенциал, а также сильные и слабые стороны проекта. SWOT анализа представлен в таблице 6.2, основной угрозой в реализации проекта является санкционная политика, способная привести к сбоям в поставках, комплектующих и затруднению выхода на международный рынок.
- 3) Составлен план-график работ, представлен в таблице 6.8. Продолжительность проектирования составляет 12 целых декад. Продолжительность рабочего времени составляет 87 дня.
- 4) Выполнен расчет затрат на выполнение НИИ. Полученные данные представлены в таблице 6.14 и бюджет работ составил 89178,29 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна

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

Тема ВКР:

Проект системы оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: Система оборотного водоснабжения для охлаждения гальванических ванн.</p> <p>Область применения: 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"> - Конституция РФ. - Трудовой кодекс РФ - ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие эргономические требования». - ГОСТ Р ИСО 6385-2016. «Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем». - ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация». - СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал. - ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением». - СНиП РК 4.01-41, СНиП РК 3.02-09 и СНиП 3.05.01. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Опасность воздействия электрического тока или опасного уровня напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. - Работа с оборудованием находящимся под давлением.

	Вредные факторы: - Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении. - Повышенный уровень шума и вибрации. - Влияние вредных химических веществ. - Отсутствие или недостаток естественного света. - Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса.
3. Экологическая безопасность:	- Атмосфера: сбросное тепло. - Гидросфера: сброса части оборотной воды. - Литосфера: образования отходов при поломке СОВ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Внезапное обрушение здания. - Аварии на коммунальных системах. - Пожар. - Угроза пандемии. - Наводнения. - Ураганы. - Лесные пожары. Наиболее типичная ЧС – пожар.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Бородич Кристина Михайловна		

7 Социальная ответственность

В данной выпускной квалификационной работе объект исследования является СОВ для охлаждения гальванических ванн.

На разрабатываемой рабочей площадке (цех) будет располагаться следующее оборудование: гальваническая линия, бак с электролитом, теплообменник ТНГ, чиллер, бак с оборотной водой, насосы. Разрабатываемая СОВ и ее эксплуатация может привести к вредным и опасным факторам. Поэтому следует строго соблюдать технику безопасности, а так же должны использоваться всевозможные меры для обеспечения безопасных условий труда для рабочего персонала.

Раздел социальной ответственности представляет собой анализ условий труда, выявление вредных и опасных факторов, определение порядка проведения мероприятий по технике безопасности, а так же мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудников предприятия.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Конституция РФ составляет правовую основу обеспечения безопасности и здоровья, которая гарантирует право граждан на труд, отдых, охрану здоровья, и материальное обеспечение в случае болезни, при полной или частичной нетрудоспособности и в старости. Трудовой кодекс РФ регламентирует основные правовые гарантии в части обеспечения производственной безопасности [15].

Разрабатываемая СОВ будет устанавливаться на гальваническом участке. Работа на гальваническом участке предполагает для персонала особую оценку условий труда. Оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса. А так же оценка уровня воздействия вредных и опасных факторов на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным. Правительством РФ федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	7 Социальная ответственность	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Бородич К.М.</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					108	123
<i>Н. Контр.</i>						<i>ТПУ гр.3-4Г61</i>		
<i>Утверд.</i>								

7.2 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Гальванический участок относится к особо опасным помещениям. Согласно трудовому кодексу РФ и федеральному закону РФ «О специальной оценке условий труда» работникам предусматриваются:

1) Сокращение длительности рабочего времени [ТК РФ Статья 92]: Для работников, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени, или опасным условиям труда – не более 36 часов в неделю.

2) Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты [ТК РФ Статья 221];

3) Установления работникам предусмотренных ТК РФ гарантий и компенсаций [ТК РФ г. 28];

4) Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск [ТК РФ Статья 117]; Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени, либо опасным условиям труда. Продолжительность отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

5) Медицинские осмотры [ТК РФ 213]: Работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, проходят обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года - ежегодные) медицинские осмотры для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний.

7.3 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным рабочим местом является участок, где расположена гальваническая линия. При работе выделяется большое количество паров, газов и пыли, которые вредны для организма человека. Разработана система мероприятий, для создания безопасных условий труда ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие эргономические требования» и ГОСТ Р ИСО 6385-2016. «Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем».

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

Все здания и сооружения объектов водоснабжения и водоотведения должны быть построены по утвержденным проектам, предусматривающим создание безопасных условий труда, максимальную автоматизацию и механизацию трудовых процессов, а также обеспечение санитарно-гигиенических и бытовых условий для обслуживающего персонала как в обычных условиях, так и при аварийных ситуациях. При установке в процессе реконструкции и (или) модернизации технологического процесса (не предусмотренного первоначальным проектом), применения методов работ, материалов, веществ, технологической оснастки, оборудования и транспортных средств, не предусмотренных настоящими Правилами, следует соблюдать требования соответствующих государственных стандартов, а также правил, положений, рекомендаций и инструкций, утвержденных в установленном порядке.

1. На гальваническом участке персонал должен ежемесячно проходить инструктаж по безопасности труда с регистрацией в специальном журнале.
2. СИЗ и спецодежда должна храниться в шкафах, отдельно от верхней одежды.
3. Принятие пищи, происходит в специальном отведенном месте.
4. Курение в рабочих помещениях строго запрещается.
5. Полы не должны впитывать растворы электролитов и других химических веществ. При работе с агрессивными жидкостями, полы должны быть кислотно-щелочестойкими.
6. Для смывания вредных веществ, попавших на кожу и в глаза рабочих, а также средства для нейтрализации кислот и щелочей, должна быть холодная и горячая вода.
7. Должны быть аптечки с набором перевязочных материалов и необходимых медикаментов для оказания первой помощи при отравлении, ожогах и в других случаях.
8. Производственные и бытовые здания и помещения должны быть оборудованы отоплением, вентиляцией, системами водоснабжения и водоотведения, естественным и искусственным освещением в соответствии с требованием СНиП РК 4.01-41, СНиП РК 3.02-09 и СНиП 3.05.01.
9. Должны периодически проводиться проверки технического состояния зданий и сооружений, что бы предотвратить аварии и обрушения.
10. Помещения с сыростью и высокой температурой должны иметь металлические, земляные и кирпичные полы.

7.4 Производственная безопасность

При работе проектируемой СОВ на гальваническом участке, необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих опасных и вредных производственных факторов способных привести к заболеванию персонала, снижению его трудоспособности, временной или

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

стойкой утрате трудоспособности, трудовому увечью, профессиональному заболеванию или смерти работника: В целях обеспечения производственной безопасности необходимо выявить и устранить (или предусмотреть специальные методы защиты) опасные и вредные производственные факторы. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Выявленные факторы перечислены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Опасные и вредные факторы при разработке (Р), изготовления (И) и эксплуатации (Э) СОВ для охлаждения гальванических ванн

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Р	И	Э	
Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
Повышенный уровень шума и вибрации	-	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация».
Влияние вредных химических веществ	-	-	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал.
Работа с оборудованием находящимся под давлением	-	+	+	ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».
Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса	+	+	+	Трудовой кодекс РФ

Продолжение таблицы 7.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ	Нормативные документы	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ
Опасность воздействия электрического тока или опасного уровня напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
Пожарная безопасность	+	+	+	Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ.

7.5 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении. Микроклимат определяется действующими на организм человека показателями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Длительное воздействие на человека неблагоприятных показателей микроклимата ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям, поэтому в организации должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата, установленные СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Оптимальные значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 - 24	21 - 25	40 - 60	0,1
Теплый	23 - 25	22 - 26	40 - 60	0,1
Допустимые значения характеристик микроклимата				
Холодный	20 - 25	19 - 26	15 - 75	Холодный
Теплый	21 - 28	20 - 29	15 - 75	Теплый

Повышенный уровень шума и вибрации. Шум на участке создается от генераторов постоянного тока, выпрямителей переменного тока и от вентиляторов. Фоновый уровень шума в гальванических цехах, зависящий от одновременной работы всех видов оборудования, составляет 76 – 84 дБ. Для защиты органов слуха применяют средства защиты органов слуха, снижая шумовую нагрузку. Все физические факторы (шум, ультразвук, вибрация) часто действуют в сочетании друг с другом, усугубляя вредное воздействие каждого из них. Ультразвуковые колебания воздействуют на персонала через рабочую среду в течение всего рабочего дня. Направленность действия колебаний сохраняется на расстоянии 25 – 50 см от оборудования.

Использование вредных химических веществ. При техпроцессе используют в работе применением различные химические вещества, что имеет основное значение в оценке состояния условий труда. Существует три пути поступления вредных веществ в организм человека через: органы дыхания, кожу и пищеварительный тракт. Гальванический участок должен быть обеспечен втяжкой, а для рабочих, предусмотрено:

- халат или костюм
- сапоги резиновые, ботинки кожаные;
- фартук прорезиненный с нагрудником
- перчатки резиновые кислотостойкие;
- очки защитные;
- респиратор ЗМ 9926 ГОСТ Р 12.4.191-99.

Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Свет, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма, регулирует обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Сравнительная оценка естественного и искусственного освещения по его влиянию на работоспособность показывает преимущество естественного света. При этом все аспекты качества освещения играют роль в предотвращении несчастных случаев. Неравномерное освещение может создавать проблемы адаптации, снижая видимость. Работая при освещении плохого качества или низких уровней, рабочие могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям.

Работа с оборудованием находящимся под давлением. При работе с оборудованием находящимся под давлением, необходимо соблюдать технику безопасности и убедиться что оборудование герметично закрыто при работе. При несоблюдении техники безопасности, а так же

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		113

правильности эксплуатации оборудования, может привести к аварийным ситуациям и повреждения работников.

Согласно ТР ТС 032/2013 Техническому регламенту Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением", следует обращать внимание на основные виды опасности при работе с оборудованием находящимся под давлением:

- наличие незащищенных подвижных элементов;
- вибрация;
- наличие взрывопожароопасных элементов;
- недопустимые отклонения параметров конструкции, сборочных единиц и устройств безопасности, влияющие на безопасность;
- пожар, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера;
- перегрев;
- превышение давления (рабочее давление не превышает разрешенное);
- повреждения, связанные с отложением примесей рабочей среды на внутренних поверхностях элементов оборудования;
- коррозия или иные виды износа поверхности элементов оборудования;
- неисправность предохранительных устройств и систем безопасности;
- прекращение действия вспомогательного оборудования;
- исчезновение напряжения на всех контрольно-измерительных приборах, устройствах дистанционного и автоматического управления;
- снижение уровня жидкой рабочей среды ниже минимально допустимого уровня;
повышение уровня рабочей среды выше максимально допустимого уровня.

Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса. После совершения работы появляются нервно-психические перегрузки, которые приводят к временному снижению эффективности труда. Состояние утомления (усталость) характеризуется определенными объективными показателями и субъективными ощущениями. Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо:

- дать нервной системе расслабиться;
- чередовать отдых и работу;

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		114

- вести активный образ жизни.

Полностью исключить провоцирующие факторы невозможно, но если давать нервной системе отдых можно уменьшить негативное воздействие.

Опасность воздействия электрического тока или опасного уровня напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. На гальваническом участке есть возможность поражения электрическим током, из – за большого количества оборудования, которое находится под напряжением. Так же на участке присутствует влажность воздуха, возможность контакта с растворами, которые создают условия для поражения работающих электротоком и статическим электричеством. Электрический ток может оказать на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Несоблюдение правил ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» может привести к опасным последствиям. Мерами защиты от воздействия электрического тока:

- оградительные устройства,
- устройства автоматического контроля и сигнализации,
- изолирующие устройства и покрытия,
- устройства защитного заземления,
- устройства автоматического отключения,
- предохранительные устройства.

Пожарная безопасность. Помещения с относительной влажностью 75%, относятся к помещениям повышенной опасности. К таким помещениям относится участок, где будет расположена СОВ. Возникновения пожаров и взрывов, может привести применение органических веществ в виде растворов, аэрозолей и пыли, а также источников тока с возможностью искрения или короткого замыкания.

7.6 Экологическая безопасность

Гидросфера. Актуальной и экологически важной задачей является защита от загрязнения гидросферы. Главный загрязнитель поверхностных вод — СВ. Наиболее действенным способом защиты является разработка и внедрение безводной и безотходной технологии производства. СОВ на гальваническом участке позволяет многократно использовать одну и ту же воду в производственных процессах, резко сокращая объемы выброса загрязненной воды в окружающую среду, что позволит избежать выплат штрафных санкций за нарушение норм действующего экологического законодательства.

В циркуляционной воде СОВ происходит постепенный рост концентрации солей, что характерно создает риск возникновения отложений на теплообменных поверхностях. Сокращение этих негативных процессов требует сброса части оборотной воды (продувка системы) в

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

поверхностный водоем. Осадки, образующиеся при очистке СВ, могут явиться основой для получения ценной товарной продукции (азотных и органических удобрений, товарного сульфата натрия и т.п.).

Атмосфера. Все сбросное тепло поступает в атмосферу. Количество сбросного тепла зависит от энергоэффективности производственного процесса.

Литосфера. В результате образования отходов при поломке СОВ. Вышедшее из строя оборудование, подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» [23].

7.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям (ЧС) на гальваническом участке выделяют:

- Внезапное обрушение здания.
- Аварии на коммунальных системах.
- Пожар.
- Угроза пандемии.
- Наводнения.
- Ураганы.
- Лесные пожары.

Для предотвращения ЧС на предприятии ведется прогнозирование чрезвычайных ситуаций. До возникновения ЧС выполняют большой объем организационных, технических и технологических мероприятий. В ЧС разработкой и осуществлением мероприятий занимаются органы управления по делам гражданской обороны и ЧС Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

1 этап. Выявляют потенциальные источники возникновения ЧС на предприятии и оценивают риск их возникновения. Выявляя опасности природного характера, прежде всего, оценивают потенциальную возможность возникновения землетрясений, наводнений, ураганов, экологических катастроф и массовых инфекционных заболеваний.

2 этап. Прогнозируют последствия воздействия возможных ЧС на население и подведомственные территории. Для этого используют методики, разработанные для каждого вида ЧС с учетом особенностей региона.

3 этап. Осуществляют выбор, обоснование и реализацию следующих направлений деятельности по обеспечению безопасности в ЧС:

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

- Выбирали технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения и прогнозировали последствия своей профессиональной деятельности с точки зрения биосферных процессов.
- Рассмотрели рациональный способ снижения воздействия на окружающую среду.
- Определили правила прогнозирования ЧС, которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемой СОВ. Установили правила поведения в ЧС.

					ФЮРА.065111.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118

Заключение

В ходе данной работы был рассчитан кожухотрубчатый одноходовой теплообменник с неподвижными трубными решетками горизонтальный. Произведен технологический расчет, в результате которого была рассчитана поверхность теплообмена. По выполненным расчётам, для охлаждения оборотной воды потребуется два теплообменника, которые будут соединены последовательно.

Осуществлен конструктивный расчет с выбором материалов для изготовления теплообменника. Выполнен механический расчет, в котором определены толщины цилиндрической обечайки, трубной решетки, эллиптической крышки и распределительной камеры, произведена проверка необходимости укрепления отверстий, рассчитано фланцевое соединение, подобраны неподвижные и подвижные седловые опоры.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредных и опасных факторов, при работе на гальваническом участке. Приведены мероприятия по снижению вредного воздействия этих факторов на окружающую среду.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была проведена оценка рентабельности проекта, рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, и его возможности.

Список литературы

1. НПЦ «Полус»: официальный сайт. – Томск, 2021. - URL: <http://polus.tomsknet.ru> (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.
2. Техническая вода: сайт. – Томск, 2021. - URL: <http://lkmпром.ru/clauses/materialy/tehnicheskaya-voda-i-ee-osnovnye-kharakteristiki> (дата обращения 07.04.2021). – Текст: электронный.
3. Кожухотрубчатый теплообменник: сайт. – Томск, 2021. - URL: <https://masterok-remonta.ru/otoplenie-i-ventilyatsiya/kozhukhotrubnyy-teploobmennik-printsip-raboty.html> (дата обращения 07.04.2021). – Текст: электронный.
4. Павлов Константин Феофанович Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. — 10-е изд., перераб. и доп.. — репринтное издание. — Москва: Альянс, 2013. — 576 с.: ил.
5. Антифриз: сайт. – Томск, 2021. - URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkостей/voda-i-rastvory/svoystva-etilenglikolya-c2h4-oh-2-vodnyj-rastvor-antifriz> (дата обращения 07.04.2021). – Текст: электронный.
6. Каталог ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе: сайт. – Томск, 2021. - URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725801.pdf> (дата обращения 12.04.2021). – Текст: электронный.
7. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский - Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.
8. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. Пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
9. ГОСТ 34233.5- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартинформ, 2018. - 31с.
10. ГОСТ 34233.3- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем.
11. ГОСТ 34233.4- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.: Стандартинформ, 2018. - 42с.
12. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1993. - 12с.

13. ГОСТ 34233.6 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках.- М.: Стандартиформ, 2018. -19с.
14. Группы коррозионно-активной среды: сайт. – Томск, 2021. - URL: <https://fireman.club/inseklodepia/agressivnaya-sreda/> (дата обращения 15.04.2021). – Текст: электронный.
15. Конституция РФ.
16. Трудовой кодекс РФ
17. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие эргономические требования».
18. ГОСТ Р ИСО 6385-2016. «Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем».
19. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
20. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
21. ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация».
22. СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал.
23. ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».
24. СНиП РК 4.01-41, СНиП РК 3.02-09 и СНиП 3.05.01.Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ.
25. Социальная ответственность: сайт. – Томск, 2021. - URL: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=4289> (дата обращения 30.03.2021). – Текст: электронный.
26. ГОСТ 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. -М.: Стандартиформ, 2013. - 50с..
27. РД РТМ 26-01-141-82 Камеры греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. - М.: НИИхиммаш, 1983. - 21с..
28. ГОСТ 34233.7 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. -М.: Стандартиформ, 2018. - 54с..
29. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1993. - 12с.

30. 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. - 54с.
31. ГОСТ 6533-78*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.- М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 78. - 26 с.
32. ГОСТ 34233.5- 2017.Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартиформ, 2018. - 31с.
33. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36с.

Приложения

«Приложение А» – Технологическая схема СОВ (формат А1).

«Приложение Б» – Теплообменник. Общий вид. Чертеж (формат А1).

«Приложение В» – Спецификация (формат А4).