

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка теплообменного оборудования для установки получения легкого газойля

УДК 66.045-047.84:665.725.002.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Жетписбаева Малике Канаткызы		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Жетписбаевой Малике Канаткызы

Тема работы:

Разработка теплообменного оборудования для установки получения легкого газойля	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1235/с от 18.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Разработка теплообменного оборудования для установки получения легкого газойля Нагревающий агент – легкий газойль; Охлаждающий агент – вакуумный дистиллят. Начальная температура нагревающего агента - 261°C; Конечная температура нагревающего агента - 150°C; Начальная температура охлаждающего агента - 121°C; Конечная температура охлаждающего агента - 138°C; Давление в трубном пространстве: 0.7 МПа Давление в межтрубном пространстве: 0.1 МПа
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>Реферат Введение 1. Описание технологической схемы 2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника 3. Конструктивный расчет теплообменника 4. Механический расчет теплообменника 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема установки А1 Лист 2 – Общий вид кожухотрубчатого теплообменника А1 Лист 3 – Выносные элементы кожухотрубчатого теплообменника А1 Лист 4 – Экономические показатели А2</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>Креницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Механический расчет</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>14.01.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель/ консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Жетписбаева М.К.		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Жетписбаева Малике Канаткызы

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго – и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет научного исследования составляет 348741,2 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 27,1 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка. Выполнение SWOT – анализа проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной экономической эффективности	Оценка эффективности производства легкого газойля.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Жетписбаева Малике Канаткызы		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Жетписбаевой Малике Канаткызы

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Разработка теплообменного оборудования для установки получения легкого газойля	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – теплообменник с линзовым компенсатором Рабочая зона – ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» Область применения – Химическая, нефтеперерабатывающая промышленность, пищевая промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- "Трудовой кодекс Республики Казахстан" от 23.11.2015 № 414 - V (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2019 г.)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1.Повышенная температура поверхности оборудования; 2.Повышенный уровень шума; 3.Статическое электричество.
3. Экологическая безопасность: -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	- Вредные вещества, которые выделяются или используются во время работы аппарата. - Вредные воздействия на гидросферу и литосферу.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий: 1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла 2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества 3. организационная эвакуация работающих;
--	---

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Жетписбаева Малике Канаткызы		

Реферат

Дипломный проект содержит 115 с., 20 рисунков, 25 таблицы, 29 источников литературы, 3 листа графического материала формата А1 и 1 листа формата А2.

Выпускная квалификационная работа «Разработка теплообменного оборудования для установки получения легкого газойля»

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, компенсатор, вакуумный дистиллят, горизонтальный, нефтепереработка.

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник с линзовым компенсатором для нагрева вакуумного дистиллята.

Цель работы – расчет и выбор аппарата для нагрева вакуумного дистиллята легким газойлем.

В процессе исследования проведены тепловые, конструктивные и механические расчеты оборудования.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики теплообменника: диаметр кожуха 1400 мм, длина труб 6 м, диаметр труб 25x2,5 мм, с линзовым компенсатором, четырехходовой, горизонтальный.

Степень внедрения: ТОО «Павлодарский нефтехимический завод».

Область применения: нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» построен график безубыточности и рассчитаны технико-экономические показатели.

В разделе «Социальная ответственность» описаны мероприятия по безопасному ведению технологического процесса.

В ходе работы было подтверждено, что данный выбранный теплообменник соответствует всем предъявляемым требованиям технологического процесса.

Abstract

The diploma project contains 115 p., 20 Drawings, 25 tables, 29 sources of literature, 3 sheets of graphic material A1 and 1 sheet of graphic material A2.

Final qualification work "Development of heat exchange equipment for the installation of producing light gas oil".

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, compensator, vacuum distillate, horizontal, oil refining.

The object of the study is a shell-and-tube heat exchanger with a lens compensator for heating a vacuum distillate.

The purpose of the work is to calculate and select the apparatus for heating a vacuum distillate with light gas oil.

In the process of the study, thermal, structural and mechanical calculations of the equipment were carried out.

The main design, technological and technical and operational characteristics of the heat exchanger: casing diameter 1400 mm, length of pipes 6 m, diameter of pipes 25x2.5 mm, with a lens compensator, four-way, horizontal.

Degree of implementation: Pavlodar Petrochemical Plant LLP.

Scope: oil refining and petrochemical industry.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving", a break-even schedule has been drawn up and technical and economic indicators have been calculated.

The Social Responsibility section describes activities for the safe conduct of the process. During the work it was confirmed that this selected heat exchanger meets all the requirements of the process.

Оглавление

Введение.....	13
1 Описание технологической схемы	14
2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	16
2.1 Технологический расчет.....	16
2.2 Тепловой расчет	16
2.2.1 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника.....	18
2.3 Уточненный расчет и выбор кожухотрубчатого теплообменника.....	20
2.3.1 Коэффициент теплоотдачи вакуумного дистиллята.....	21
2.3.2 Коэффициент теплоотдачи ПЦО (легкий газойль).....	22
2.3.3 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений	24
2.3.4 Коэффициенты теплопроводности теплообменника	24
3 Конструктивный расчет.....	26
3.1 Расчёт диаметра теплообменника.....	26
3.2 Подбор и расчет штуцеров	26
3.3 Выбор конструкционных материалов теплообменника	28
4 Механический расчет.....	30
4.1 Расчетные параметры.....	30
4.2 Расчет толщины стенки кожуха.....	32
4.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища	34
4.4 Расчет температурных деформаций	37
4.5 Расчет толщины распределительной камеры	39
4.6 Расчет толщины трубных решеток.....	41
4.7 Фланцевые соединения.....	42
4.7.1 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ.....	42
4.7.2 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.....	44
4.8 Расчет необходимости укрепления отверстий	58
4.9 Поверочный расчет теплообменника на прочность.....	60
4.9.1 Расчет толщины трубной решетки	60
4.9.2 Расчет прочности трубной решетки	67
4.9.3 Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость.....	70
6 Подбор и расчет стандартной опоры аппарата.....	75
6.1 Расчет опор	77
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	85

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования	85
7.2 SWOT-анализ.....	85
7.3 Планирование научно-исследовательских работ	88
7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	88
7.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	90
7.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	90
7.4.2 Сумма амортизационных отчислений.....	91
7.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	91
7.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	92
7.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	93
7.4.6 Накладные расходы.....	93
7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	94
7.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	94
7.7 Расчет затрат на производство продукции	97
7.7.1 Анализ безубыточности производства.....	100
8 Социальная ответственность.....	102
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	102
8.2 Производственная безопасность.....	103
8.3 Экологическая безопасность.....	106
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
Заключение	112
Список использованной литературы.....	113

Введение

В химической технологии теплообменные аппараты довольно широко распространены, они применяются в различных производствах легкой и тяжелой промышленности. Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования.

Для обеспечения того или иного технологического процесса применяются различные типы теплообменных аппаратов. Основную группу теплообменных аппаратов, применяемых в промышленности, составляют поверхностные теплообменники, в которых теплота от горячего теплоносителя передается холодному теплоносителю через разделяющую их стенку. Другую группу составляют теплообменники смешения, в которых теплота передается при непосредственном соприкосновении горячего и холодного теплоносителей.

Теплообменное оборудование классифицируют по следующим признакам. По конструкции:

- аппараты, изготовленные из труб (кожухотрубчатые, теплообменники типа «труба в трубе», оросительные, погружные змеевиковые, из оребренных труб);
- аппараты, изготовленные из листового материала (пластинчатые, спиральные, с рубашкой из листа);
- аппараты, изготовленные из неметаллических материалов (с эмалированной поверхностью, из стекла, из графита).

По назначению: холодильники, подогреватели, испарители, конденсаторы.

По направлению движения теплоносителей: прямоточные, противоточные, перекрестного тока.

В зависимости от требований, предъявляемых к теплообменникам, применяют аппараты различных конструкций и типов.

1 Описание технологической схемы

Секция 200 входит в состав комбинированной установки топливного комплекса КТ-1 и включает в себя реакторный блок каталитического крекинга, блок ректификации, воздушную компрессорную.

Процесс каталитического крекинга гидроочищенного сырья является целевым в наборе процессов установки КТ-1 и позволяет получать следующие продукты:

- жирный газ и нестабильный бензин, применяется в качестве сырья на секции в качестве сырья на секции абсорбции и газофракционирования с целью получения пропан-пропиленовой фракции, бутан-бутиленовой фракции, сухого углеводородного газа, высокооктанового компонента автобензина (фракция н.к. 205°C);
- легкий каталитический газойль (фр.195-340°C), используемый в качестве компонента дизельного топлива или товарного печного топлива;
- шлам (фр. выше 420°C), используемый в качестве компонента сырья для производства технического углерода, игольчатого кокса или компонента котельного топлива.

Разделение данных продуктов крекинга осуществляется по традиционной схеме для всех моделей каталитического крекинга и осуществляется в ректификационной колонне К-201.

В ректификационной колонне К-201 предусмотрено четыре циркуляционных орошения:

- верхнее циркуляционное орошение – ВЦО (циркулирующая нефтя);
- первое циркуляционное орошение – I ПЦО (легкий циркулирующий газойль);
- второе циркуляционное орошение – II ПЦО (циркулирующий тяжелый газойль);
- нижнее циркуляционное орошение – НЦО (шлам).

Пары продуктов крекинга, загрязненные катализаторной пылью, из реакторного блока поступают в отмывочно-сепарационную секцию колонны фракционирования К-201, оборудованную структурированной насадкой. .

На насадке за счет контакта паров продукта крекинга с нижним циркуляционным орошением (НЦО) колонны К-201 происходит отмыв от катализаторной пыли, а также частичная конденсация углеводородных фракций (фр. >420 °C). НЦО и катализаторная пыль с насадки поступают в отстойную (кубовую) часть колонны К-201, где происходит частичный отстой от катализаторной пыли. Отмытые от катализатора пары поступают в концентрационную часть на разделение.

Верхнее циркуляционное орошение с 34-ой сборно-распределительная тарелки с паровыми коробами поступает на прием насосов Н-206/1,2,Р, затем подается в теплообменники Т-209/1,2, где отдает тепло нестабильному бензину секции С-300. После теплообменников Т-209/1,2 ВЦО доохлаждается в холодильниках воздушного охлаждения ХВ-202/1÷4 и возвращается на 37-ю тарелку К-201.

Вакуумный дистиллят в теплообменник Т-205/1 поступает от Т-202. Температура вакуумного дистиллята на выходе из Т-205/1 контролируется, регистрируется и регулируется расходом шлама из Т-205/1.

Вакуумный дистиллят в теплообменник Т-205/2 поступает от Т-203. Температура вакуумного дистиллята на выходе из Т-205/2 контролируется, регистрируется и регулируется расходом шлама из Т-205/2.

2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника

2.1 Технологический расчет

Технологический расчет заключается в тепловом расчете теплообменника, и выбор из ряда стандартных теплообменников для дальнейших расчетов.

Исходные данные для расчёта теплообменника.

G_d - массовый расход вакуумного дистиллята, кг/с;

G_r - массовый расход ПЦО (легкий газойль), кг/с;

$t_{н.д.}$ - начальная температура вакуумного дистиллята, °С;

$t_{к.д.}$ - конечная температура вакуумного дистиллята, °С;

$t_{н.г.}$ - начальная температура ПЦО (легкий газойль), °С;

$t_{к.г.}$ - конечная температура ПЦО (легкий газойль), °С.

$$G_d := 29.822 \text{ кг/с} \quad t_{н.д.} := 121 \text{ °С}$$

$$G_r := 13.979 \text{ кг/с} \quad t_{к.д.} := 138 \text{ °С}$$

$$t_{н.г.} := 261 \text{ °С}$$

$$t_{к.г.} := 150 \text{ °С}$$

2.2 Тепловой расчет

Для расчета дальнейших расчетов необходимо построить температурную схему.

Температурная схема приведена на рисунке 1.

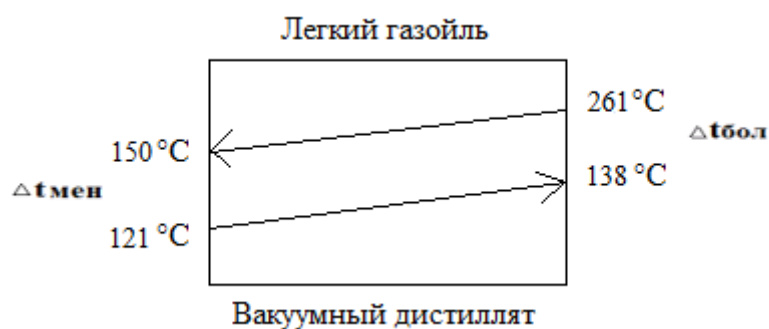


Рисунок 1 – Температурная схема

Разности температур рассчитываем следующим образом:

$$\Delta t_6 := t_{н.г.} - t_{н.д.}$$

$$\Delta t_6 := 261 - 138 = 123 \text{ °С}$$

$$\Delta t_M := t_{к.г.} - t_{к.д.}$$

$$\Delta t_M := 150 - 121 = 29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где Δt_6 – наибольшая разность температур, $^\circ\text{C}$;

Δt_M – наименьшая разность температур, $^\circ\text{C}$.

Среднюю разность температур определяем по уравнению 4.78 [1, с. 169]:

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}\right)} \quad \Delta t_{cp} := \frac{123 - 29}{\ln\left(\frac{123}{29}\right)} = 65.057 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где Δt_{cp} – средняя разность температур.

Найдем среднюю температуру:

$$t_{cp.д.} := \left(\frac{t_{н.д.} + t_{к.д.}}{2} \right) = 129.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{cp.г.} := \frac{t_{н.г.} + t_{к.г.}}{2} = 205.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $\Delta t_{cp.г.}$ – средняя температура ПЦО (легкий газойль), $^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{cp.д.}$ – средняя температура вакуумного дистиллята, $^\circ\text{C}$;

Определение количества тепла, передаваемого в подогревателе от легкого газойля к вакуумному дистилляту. Для определения количества теплоты приводим значения теплоемкости и плотности вакуумного дистиллята и легкого газойля.

Теплоемкости и плотности вакуумного дистиллята и ПЦО (легкий газойль) соответственно:

$$\rho_d := 880 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_r := 915 \text{ кг/м}^3$$

$$c_d := 1.850 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$$

$$c_r := 2.180 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$$

Количество передаваемого тепла рассчитывается как:

$$Q_d := G_d \cdot c_d \cdot (t_{к.д.} - t_{н.д.}) = 9.379 \times 10^5 \text{ Вт}$$

где Q_d - количество передаваемого тепла, Вт.

Определяем количество передаваемого тепла от легкого газойля вакуумному дистилляту.

$$Q_{\Gamma} := 1.05 \cdot Q_{\text{д}}$$

$$Q_{\Gamma} := 1.05 \cdot (9.379 \times 10^5) = 9.848 \times 10^5 \text{ Вт}$$

где Q_{Γ} - количество передаваемого тепла ,Вт.

Объёмный расход вакуумного дистиллята и ПЦО (легкий газойль):

$$V_{\text{д}} := \frac{G_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}} = 0.034 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_{\Gamma} := \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = 0.015 \text{ м}^3/\text{с}$$

2.2.1 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника

Приводим максимальное и минимальное значения коэффициентов теплопередачи от органического вещества к органическому [1, с. 172, табл. 4.8]:

$$K_{\text{max}} := 270 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \qquad K_{\text{min}} := 120 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

где K_{min} – минимальный коэффициент теплопередачи, Вт/(м² ·К);

K_{max} – максимальный коэффициент теплопередачи, Вт/(м² ·К).

Ориентировочная поверхность теплообмена соответственно равна:

$$F_{\text{min}} := \frac{Q_{\text{д}}}{K_{\text{max}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 53.395 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{max}} := \frac{Q_{\text{д}}}{K_{\text{min}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 120.139 \text{ м}^2$$

где F_{min} – минимальная поверхность теплообмена, м²;

F_{max} – максимальная поверхность теплообмена, м².

Принимаем приближенное значение ориентировочных поверхностей теплообмена:

$$F_{\text{min}} = 55 \text{ м}^2 \qquad F_{\text{max}} = 120 \text{ м}^2$$

Принимаем, что вакуумный дистиллят движется по трубному пространству с трубами 25x2,5 мм: Наружный диаметр труб:

$$d_{\text{нар.}} = 25 \text{ мм}$$

Толщина стенки трубы:

$$\delta = 2,5 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр равен:

$$d_B := d_{\text{нар}} - 2\delta = 20 \text{ мм}$$

Принимаем характер движения потока в трубном пространстве турбулентным:

$$Re = 10000$$

где Re – ориентировочный критерий Рейнольдса;

Определяем вязкость компонентов смеси при средней температуре смеси [1, с. 556, рис. V]:

$$\mu_D := 0.738 \cdot 10^{-3} \text{ Па*с}$$

$$\mu_T := 0.514 \cdot 10^{-3} \text{ Па*с}$$

где μ_T – динамический коэффициент вязкости легкого газойля, Па*с ;

μ_D – динамический коэффициент вязкости вакуумного дистиллята, Па*с;

Скорость вакуумного дистиллята в трубах для обеспечения турбулентного течения:

$$w_D := \frac{Re \cdot \mu_D}{d_B \cdot \rho_D} \quad w_{\text{дв}} := \frac{10000 \cdot (0.738 \cdot 10^{-3})}{20 \cdot 880 \cdot 10^{-3}} = 0.419 \text{ м/с}$$

где w_D – скорость течения вакуумного дистиллята в трубах, м/с.

Рассчитываем ориентировочное число труб на один ход по формуле 1.5 [2, с.23]:

$$n_1 := \frac{V_D}{0.785 \cdot d_B^2 \cdot w_D}$$
$$n_{1\text{дв}} := \frac{0.034}{0.785 \cdot 0.020^2 \cdot 0.419} = 258.425$$

где n_1 - ориентировочное число труб одного хода.

Опираясь на рассчитанные данные, выбираем теплообменник с параметрами [3, табл. 3].

Параметры теплообменника представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ориентировочного кожухотрубчатого теплообменника

Внутренний диаметр кожуха, мм	Наружный диаметр труб, мм	Толщина стенки труб, мм	Число ходов по трубам	Общее число труб	Длина труб, мм	Поверхность теплообмена, м ²
1400	25	2,5	4	1100	6000	360

2.3 Уточненный расчет и выбор кожухотрубчатого теплообменника

Уточняем критерий Рейнольдса (Re):

$$Re_d := \frac{0.419 \cdot 0.025 \cdot 880}{0.738 \cdot 10^{-3}} = 1.249 \times 10^4$$

$Re > 10000$ – режим течения смеси турбулентный.

Тогда скорость движения вакуумного дистиллята будет равна:

$$\omega_d := \frac{12490 \cdot (0.738 \cdot 10^{-3})}{0.02 \cdot 880} = 0.524 \text{ м/с}$$

Рассчитаем действительную поверхность теплообмена, выражая ее из основного уравнения теплопередачи 4.72 [1, с. 168]:

$$F_{\text{дейст}} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}$$

где $F_{\text{дейст}}$ – действительная поверхность теплообмена, м²;

Q – количества тепла, Дж;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур, °С.

Коэффициент теплопередачи рассчитываем по следующей формуле 4.37 [1, с. 158]:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \Sigma r_{\text{ст.}} + \frac{1}{\alpha_d}}$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи легкого газойля, Вт/(м² · К);

α_d – коэффициент теплоотдачи вакуумного дистиллята, Вт/(м² · К);

ΣR – сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений, (м² · К)/Вт.

2.3.1 Коэффициент теплоотдачи вакуумного дистиллята

Коэффициент теплоотдачи вакуумного дистиллята рассчитываем по формуле [1, с. 150]:

$$\alpha_d := \frac{Nu_d \cdot \lambda_d}{d_B} : \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

где Nu_d – критерий Нуссельта;

λ_d — коэффициент теплопроводности вакуумного дистиллята при средней температуре 129,5°C.

Коэффициент теплопроводности компонентов, Вт/(м · К):

$$\lambda_d := 0.165 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$$

$$\lambda_r := 0.128 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$$

Для турбулентной области критерий Нуссельта рассчитывается по формуле 4.17 [1, с. 152]:

$$Nu_d := 0.021 \cdot Re_d^{0.8} \cdot Pr_d^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_d}{Pr_{стд}} \right)^{0.25} \cdot \epsilon_d :$$

где Pr_d – критерий Прандтля при средней температуре вакуумного дистиллята;

$Pr_{стд}$ – критерий Прандтля при средней температуре стенки.

Критерий Прандтля для вакуумного дистиллята при температуре 129,5°C по формуле 4.12 [1, с. 151]:

$$Pr_d := \frac{c_d \cdot \mu_d}{\lambda_d} = 8.275$$

Отношение $\left(\frac{Pr_d}{Pr_{стд}} \right)^{0.25}$ принято взять равным 1,0.

Подставляем все известные величины и находим критерий Нуссельта и коэффициент теплоотдачи:

$$Nu_d := 0.021 \cdot Re_d^{0.8} \cdot Pr_d^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_d}{Pr_{стд}} \right)^{0.25} \cdot \epsilon_d = 135.981$$

$$\alpha_d := \frac{Nu_d \cdot \lambda_d}{d_B}$$

$$\alpha_d := \frac{Nu_d \cdot \lambda_d}{d_{BH}} = 1.122 \times 10^3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

2.3.2 Коэффициент теплоотдачи ПЦО (легкий газойль)

Рассчитаем площадь межтрубного пространства по следующей формуле:

$$S_{M.T.P.} = \pi \cdot \frac{(D_{BH})^2}{4} - N \cdot \pi \cdot \frac{(d_{нар.})^2}{4} \text{ м}^2,$$

где $S_{M.T.P.}$ — площадь межтрубного пространства, м^2 ;

D_{BH} — внутренний диаметр кожуха, м;

$$S_{M.T.P.} := 3.14 \cdot \frac{1.4^2}{4} - 1100 \cdot 3.14 \cdot \frac{0.025^2}{4} = 0.999 \text{ м}^2$$

Смоченный периметр:

$$\Pi := \pi \cdot D_{BH} + N \cdot \pi \cdot d_H$$

$$\Pi := 3.14 \cdot 1.4 + 1100 \cdot 3.14 \cdot 0.025 = 90.746 \text{ м}$$

где Π – смоченный периметр, м.

Эквивалентный диаметр рассчитываем по формуле 4.18 [1, с. 153]:

$$d_{\text{э.}} := \frac{4 \cdot S_{M.T.P.}}{\Pi}$$

$$d_{\text{э.}} := \frac{4 \cdot 1}{90.75} = 0.044 \text{ м}$$

Найдем скорость движения легкого газойля:

$$w_{\Gamma} := \frac{V_{\Gamma}}{S_{M.T.P.}} = 0.015 \text{ м/с}$$

Находим критерий Рейнольдса в межтрубном пространстве:

$$Re := \frac{w_{\Gamma} \cdot d_{\text{э.}} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} = 1.177 \times 10^3$$

Развитое ламинарное движение

Коэффициент теплоотдачи дизельного топлива рассчитываем по формуле [1, с. 150]:

$$\alpha_T := \frac{Nu_T \cdot \lambda_T}{d_3} \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{К}$$

где Nu_T — критерий Нуссельта;

λ_T — коэффициент теплопроводности дизельного топлива при средней температуре 192°C.

Для турбулентной области критерий Нуссельта рассчитывается по формуле 4.17 [1, с. 152]:

$$Nu_T := 0.021 \cdot Re_T^{0.8} \cdot Pr_T^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_T}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} \cdot \epsilon_T$$

где Pr_T — критерий Прандтля при средней температуре дизельного топлива;

$Pr_{ст}$ — критерий Прандтля при средней температуре стенки.

Критерий Прандтля для дизельного топлива при температуре 205,5°C [1, с. 151]:

$$Pr_T := \frac{c_T \cdot \mu_T}{\lambda_T} = 8.754$$

Отношение $\left(\frac{Pr_T}{Pr_{ст}} \right)^{0.25}$ принято взять равным 1,0.

Подставляем все известные величины и находим критерий Нуссельта и коэффициент теплоотдачи:

$$Nu_T := 0.021 \cdot Re_T^{0.8} \cdot Pr_T^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_T}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} \cdot \epsilon_T = 150.651$$

$$\alpha_T := \frac{Nu_T \cdot \lambda}{d_3}$$

$$\alpha_T := \frac{Nu_T \cdot \lambda_T}{d_3} = 438.257 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

2.3.3 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений

Рассчитаем сумму термических сопротивлений стенки и загрязнений по формуле [1, с. 195]:

$$\Sigma R = \frac{1}{r_{31}} + \frac{1}{r_{32}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} \frac{m^2 \cdot K}{Вт},$$

где ΣR – термическое сопротивление, $(m^2 \cdot K)/Вт$;

r_{31} – тепловое сопротивление загрязнения со стороны вакуумного дистиллята, $Вт/(m^2 \cdot K)$;

r_{32} – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны ПЦО, $Вт/(m^2 \cdot K)$;

δ – толщина стенки трубы, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки, $Вт/(м \cdot K)$.

Из таблицы XXXI [1, с. 531] выберем тепловые проводимости загрязнений со стороны вакуумного дистиллята равной $5800 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K)$, а со стороны ПЦО $2900 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K)$.

Из таблицы XXVIII [1, с. 529] теплопроводность стали:

$$\lambda_{ст} := 46.5 \quad \text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$$

Имея все значения, найдем термическое сопротивление:

$$\Sigma R := \frac{1}{r_{31}} + \frac{1}{r_{32}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} = 5.71 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

2.3.4 Коэффициенты теплопроводности теплообменника

Рассчитаем действительный коэффициент теплопередачи по формуле 4.37 [1, с. 159]:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_d} + \Sigma R + \frac{1}{\alpha_r}} = 267.083 \quad \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

где K – действительный коэффициент теплопередачи, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Действительная площадь теплопередачи по выше упомянутому уравнению составляет:

$$F_d := \frac{Q_d}{K \cdot \Delta t_{ср}} \quad F_d := 358 \quad \text{м}^2$$

Самый подходящий теплообменник с близкой поверхностью теплообмена имеет поверхность по [3, табл. 4]. Его данные сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры кожухотрубчатого теплообменника

Внутренний диаметр кожуха, мм	Наружный диаметр труб, мм	Толщина стенки труб, мм	Число ходов по трубам	Общее число труб	Длина труб, мм	Поверхность теплообмена, m^2
1400	25	2,5	4	1100	6000	360

3 Конструктивный расчет

Целью конструктивного расчета теплообменника является определение поверхности теплообмена и основных размеров проектируемого аппарата.

3.1 Расчёт диаметра теплообменника

Ориентировочное число труб на один ход равно:

$$n_1 = 258$$

Рассчитываем длину одной трубки на один ход по формуле 1.6 [2, с. 23]:

$$L_T := \frac{F_d}{3.14 \cdot d_{BH} \cdot n_1} = 22.095 \text{ м}$$

Число ходов трубного пространства рассчитывается по формуле 1.7 [2, с. 23]:

$$Z := \frac{L_T}{l_T} \quad Z := \frac{22.095}{6} = 3.682$$

где l_m – рабочая длина труб, равная 6м.

Принимаем Z равное 4, тогда общее число труб будет равно: $N = Z \cdot n_1 = 1100$ шт.

Диаметр теплообменника определяется по формуле 1.10 [5]:

$$D_{BH} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}}$$

где $\eta = 0.6$ – коэффициент заполнения трубной решетки,

t – шаг между трубами, м.

$$t := 1.2 \cdot 25 + 2 = 32 \text{ мм}$$

$$D_{BH} := 1.397 \times 10^3 \text{ мм}$$

Принимаем теплообменник с диаметром 1400 мм.

Принимаем теплообменник с наружным диаметром 325 мм. Рассчитаем запас поверхности теплообмена, который не должен превышать 30%:

$$\Delta := \frac{F - F_d}{F_d} \cdot 100\% \quad \Delta := \frac{360 - 358}{358} \cdot 100 = 0.559 \%$$

Полученный запас поверхности теплообмена достаточен.

3.2 Подбор и расчет штуцеров

Для дальнейших расчетов схематично изобразим теплообменник с позициями штуцеров. Номер позиции означает, под каким номером рассчитывается штуцер.

Схема расположения патрубков изображена на рисунке 2.

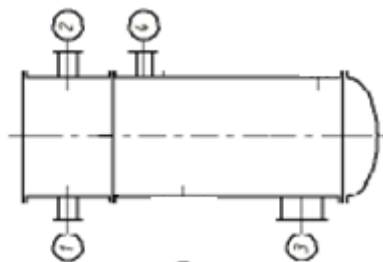


Рисунок 2 – Схема расположения штуцеров

Диаметр штуцера для подвода и отвода вакуумного дистиллята

Скорость вакуумного дистиллята при движении в напорных трубопроводах задаётся:

$$\omega_{д.1} := 1 \text{ м/с}$$

Расчёт внутренних диаметров патрубков рассчитывается как:

$$d_{1,2} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot \omega_{д.1} \cdot \rho_d}} \quad d_{1,2} := \sqrt{\frac{4 \cdot 29.822}{3.14 \cdot 1 \cdot 880}} = 0.208 \text{ м}$$

где $d_{1,2}$ - внутренний диаметр 1 и 2 штуцера, м .

По рекомендации [3, табл.21.9] необходимый условный диаметр штуцера трубного пространства равен 200 мм. Размеры представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные данные

D _y	d _н	D _ф	D _б	D ₁	Болты		Тип фланцев - 1	
					d _б	z	ГОСТ 1255-67	
м							h, мм	Масса, кг
200	219	315	280	258	M16	8	15	4,73

Скорость ПЦО при движении в напорных трубопроводах задаётся:

$$\omega_{г.1} := 0.45 \text{ м/с}$$

Рассчитаем диаметр 3 и 4 штуцеров. Данные штуцера предназначены для подачи и выхода дизельного топлива в межтрубное пространство теплообменника.

$$d_{3,4} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_r}{\pi \cdot \omega_{г.1} \cdot \rho_r}} \quad d_{3,4} := \sqrt{\frac{4 \cdot 13.979}{3.14 \cdot 0.45 \cdot 915}} = 0.208 \text{ м}$$

где $d_{3,4}$ – внутренний диаметр 3 и 4 штуцера, мм

По рекомендации [3, табл.21.9] необходимый условный диаметр штуцера трубного пространства равен 200 мм. Размеры представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные данные

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев - 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
м					М16		8	h, мм
200	219	315	280	258				

3.3 Выбор конструкционных материалов теплообменника

Исходя из того, что в теплообменнике происходит теплообмен между органическими веществами, материал следует выбрать таким, чтобы он был устойчив к данной среде.

Выбор стали для кожуха теплообменника обоснован в первую очередь хладостойкостью данной стали. Так как аппарат устанавливается на открытой площадке, температура воздуха в зимнее время может достигать -40°C . Согласно данным из [4] сталь (09Г2С) может использоваться с рабочей температурой от -40°C до $+475$, относится к углеродистым низколегированным сталям. Обладает легкой свариваемостью и высокой механической прочностью. Вычислим прибавку к расчетным толщинам стенки. Прибавка складывается из двух величин. Прибавка на коррозию и эрозию.

Прибавка на коррозию рассчитывается по формуле 9.1 [5, с. 272]:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau_a \quad c_1 := 0.1 \cdot 20 = 2 \quad \text{мм}$$

где c_1 – прибавка на коррозию, мм;

Π – проницаемость материала, мм/год;

τ_a – срок службы аппарат, лет.

Скорость коррозии принимаем по [5, с. 409]:

$$\Pi := 0.1 \quad \text{мм/год}$$

Срок службы аппарата:

$$\tau_a := 20 \quad \text{лет}$$

Компенсацию на утонение стенки принимается в зависимости от технологических операций:

$$c_2 := 0.2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска в зависимости от проката [6]:

$$c_3 := 0.8 \text{ мм}$$

Общая прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c_{\text{общ.}} := c_1 + c_3 + c_2 \quad c_{\text{общ.}} := 2 + 0.2 + 0.8 = 3 \text{ мм}$$

4 Механический расчет

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др. Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника представлена на рисунке 3.

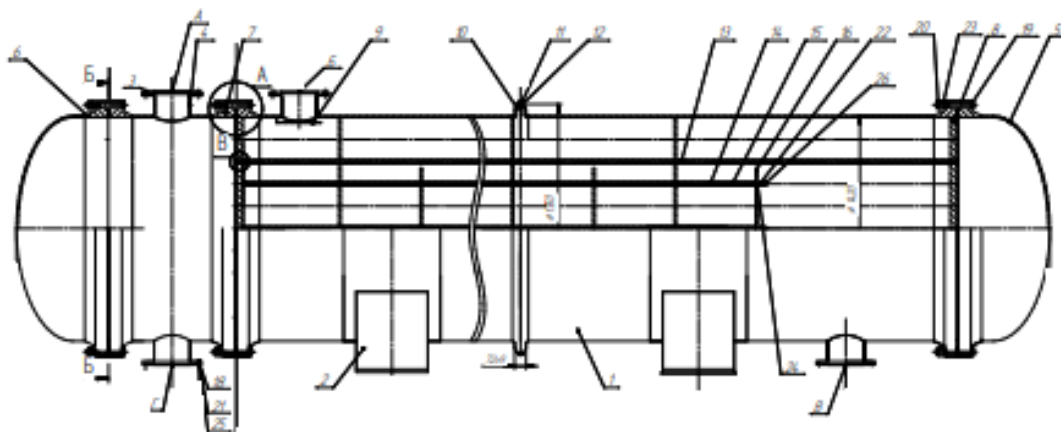


Рисунок 3 – Расчетная модель теплообменника

Таблица 5 - Исходные данные:

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее численное значение
Наружный диаметр обечайки	мм	$D := 1420$
Длина обечайки	м	$L := 5700$
Скорость коррозии (09Г2С)	мм/год	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации	лет	$\tau := 20$
Рабочая температура в межтрубном пространстве	°С	$t_{pa61} := 300$
Рабочая температура в трубном пространстве	°С	$t_{pa62} := 150$
Рабочее давление в межтрубном пространстве	МПа	$P_1 := 0.1$
Рабочее давление в трубном пространстве	МПа	$P_2 := 0.7$
Количество труб	шт.	1100

4.1 Расчетные параметры

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 20 градусов определяем по таблице А.1[7]:

$$\sigma_{Г20} := 196 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре горячего теплоносителя определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.1[7]:

$$t := \begin{pmatrix} 250 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 162 \\ 151 \end{pmatrix}$$
$$\sigma_{300} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{раб1}}), 0.5)$$
$$\sigma_{300} := 151 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 20° определяем по таблице А.3[7]:

$$\sigma_{X20} := 196 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при рабочей температуре холодного теплоносителя определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.3[7]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$
$$\sigma_{150} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{раб2}}), 0.5)$$
$$\sigma_{150} = 171 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 09Г2С при t=20°С определяем из таблицы Б.1[7]:

$$R_{e\Gamma} := 300 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 09Г2С при t=20°С определяем из таблицы Б.7[7]:

$$R_{eX} := 300 \text{ МПа}$$

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

$$n_T := 1.1$$

Коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [7, с7] принимаем:

$$\varphi := 1$$

Давление в межтрубном пространстве.

Расчетное давление в межтрубном пространстве при рабочих условиях:

Так как аппарат расположен горизонтально, гидростатическим столбом жидкости можно пренебречь. Принимаем расчетное давление, действующее на обечайку в межтрубном пространстве, равным рабочему давлению.

$$P_{\text{рас1}} := P_1 = 0.1 \text{ МПа}$$

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

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\Gamma 20}}{\sigma_{300}} = 0.162 \text{ МПа}$$

Давление в трубном пространстве.

Расчетное давление в трубном пространстве при рабочих условиях также принимаем равное рабочему давлению:

$$P_{\text{рас2}} := P_2 = 0.7 \text{ МПа}$$

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

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{X20}}{\sigma_{150}} = 1.003 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3[7]:

$$\sigma_{\text{и1}} := \text{Floor} \left(\frac{R_{e\Gamma}}{1.1}, 0.5 \right) = 272.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3[7]:

$$\sigma_{\text{и2}} := \text{Floor} \left(\frac{R_{eX}}{1.1}, 0.5 \right) = 272.5 \text{ МПа}$$

4.2 Расчет толщины стенки кожуха

Целью расчета толщины цилиндрической обечайки кожуха является обеспечение механической прочности теплообменника в рабочих условиях и в условиях испытания.

Расчетная схема кожуха представлена на рисунке 4.

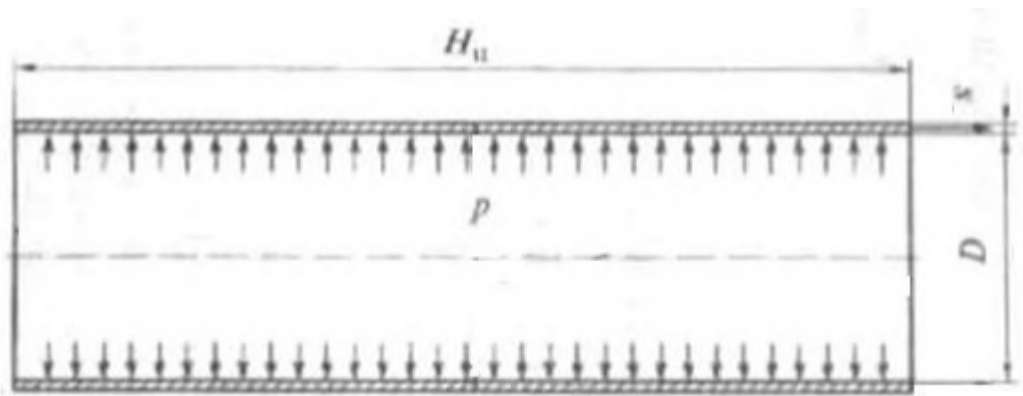


Рисунок 4 – Расчетная схема кожуха

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

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется по формуле 2[9]:

$$S_p := \max\left(\frac{P_{p.мп} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_p \cdot \varphi_p - P_{p.мп}}, \frac{P_{и.мп} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \varphi_p - P_{и.мп}}\right)$$

$$S_p := \max\left(\frac{0.1 \cdot 1400}{2 \cdot 151 \cdot 1 - 0.1}, \frac{0.162 \cdot 1400}{2 \cdot 272.727 \cdot 1 - 0.162}\right) = 0.464 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки с учетом добавок:

$$S_{и} := \text{ceil}(S_p + c) = 4 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям таблицы 1[11] минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при наружном диаметре обечайки, равном 1420 мм, равна 10 мм. Поэтому принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки равной:

$$S := 10 \text{ мм}$$

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

Усл1 := "условия применения формул безмоментной теории выполняется"

Усл2 := "условия применения формул НЕ выполняется"

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } \frac{s_{и} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁ = "условия применения формул безмоментной теории выполняется"

Проверка на условие прочности

Рассчитаем по формуле 3[9] допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$[P] := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_p}{D + (S - c)} \quad [P]_{ин} := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_{ин}}{D + (S - c)}$$
$$[P] := \frac{2 \cdot (10 - 3) \cdot 1 \cdot 151}{1400 + (10 - 3)} = 1.502 \text{ МПа} \quad [P]_{ин} := \frac{2 \cdot (10 - 3) \cdot 1 \cdot 272.727}{1400 + (10 - 3)} = 2.714 \text{ МПа}$$

где $[P]_{ин}$ – допускаемое внутреннее избыточное давление при гидравлическом испытании, МПа.

По методике [9, с.5] проверим выполнение условия прочности:

Усл3 := "условие прочности выполняется"

Усл4 := "условие прочности НЕ выполняется"

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{Усл3} & \text{if } P_{ин1} \leq P_{д1} \\ \text{Усл4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "условие прочности выполняется"

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит, окончательно принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки 10 мм. Обечайка будет изготавливаться из листового проката.

4.3 Расчет толщины стенки эллиптического днища

Цель расчета толщины эллиптической крышки такая же, как и у расчета кожуха: определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и условиях испытания. Расчетная схема крышка изображена на рисунке 5.

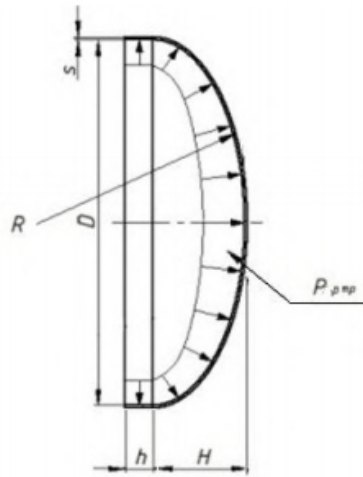


Рисунок 5 – Расчетная схема эллиптического днища

Критерием надежности, является прочность. Выражается через допускаемое давление:

$$|P| \geq P \quad \text{МПа}$$

Пробное давление, которое испытывает крышка, рассчитывается исходя из наименьшего отношения допускаемых напряжений, так как крышка выполнена из такого же материала, что и обечайка, то пробное давление:

$$P_{\text{и.тр}} := 1.25 \cdot P_{\text{р.тр}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_p} \quad P_{\text{и.тр}} := 1.25 \cdot 0.7 \cdot \frac{196}{151} = 1.136 \quad \text{МПа}$$

где $P_{\text{и.тр}}$ – пробное давление гидравлического испытания днища, МПа

Поскольку днище эллиптическое, то высота выпуклой части без учета цилиндрической части будет равна:

$$H := 0.25 \cdot D_{\text{вн}} = 350 \quad \text{мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R := \frac{D^2}{4 \cdot H}$$

$$R := \frac{1502^2}{4 \cdot 433} = 1.303 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Рассчитаем толщину стенки крышки по формуле 43 [11]:

$$S_1 := \max \left(\frac{P_{\text{р.тр}} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_p \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{\text{р.тр}}}, \frac{P_{\text{и.тр}} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{\text{н}} \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{\text{и.тр}}} \right)$$

$$S_1 := \max\left(\frac{0.7 \cdot 1.303 \cdot 10^3}{2 \cdot 151 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0.7}, \frac{1.136 \cdot 1.303 \cdot 10^3}{2 \cdot 272.727 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1.136}\right) = 3.024 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища:

$$s_{\text{ИЭ}} := \text{ceil}(s_p + c) = 6 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям [11] увеличиваем толщину стенки днища до толщины стенки обечайки:

$$s_{\text{ИЭ}} := s_{\text{И}} = 10 \text{ мм}$$

Согласно [21] принимаем днище стальное эллиптическое отбортованное с размерами:

$D_{\text{н}}$, мм	h_1 , мм	$h_{\text{н}}$, мм	s , мм	F , м ²	V , дм ³
1400	40	335	10	2,29	414,01

Рассчитаем по формуле 3[9] допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_{\text{д2}} := \frac{2 \cdot \sigma_{150} \cdot \varphi \cdot (s_{\text{ИЭ}} - c)}{R + 0.5(s_{\text{ИЭ}} - c)} = 1.706 \text{ МПа}$$

Проверка на условие применимости формул

$$U_{\text{sl}} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D_{\text{вн}}} \leq 0.5 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{\text{sl}} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

$$U_{\text{sl}} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{\text{ИЭ}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{\text{sl}} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

Проверка на условие прочности:

$$U_{\text{sl}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{и2}} \leq P_{\text{д2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{\text{sl}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит, окончательно принимаем толщину стенки эллиптического днища 10 мм. Днище будет изготавливаться штамповкой.

4.4 Расчет температурных деформаций

Цель расчета заключается в определении удлинения корпуса и труб, температурных деформаций и проверка пригодности теплообменника с неподвижными трубными решетками. Расчетная схема температурных деформаций труб и корпуса теплообменника представлена на рисунке 6.

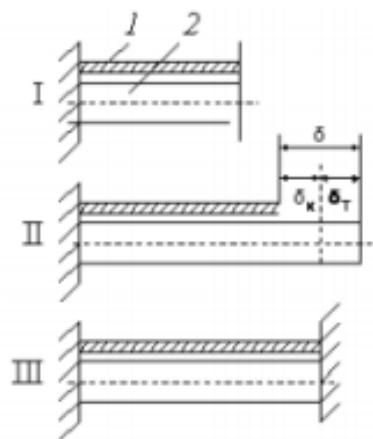


Рисунок 6 – Схема температурных деформаций

Таблица 6 - Исходные данные для расчета:

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее численное значение
Материал		
Средняя температура - в трубах - в корпусе	°C	$t_T = 129.5^{\circ}\text{C}$ $t_K = 205.5^{\circ}\text{C}$
Температурный коэффициент линейного расширения в трубах и корпусе	1/°C	$\alpha_T := 12.6 \cdot 10^{-6}$ $\alpha_K := 12.6 \cdot 10^{-6}$
Допускаемое напряжение для материала труб и корпуса при средней температуре	МПа	$\sigma_{дт} := 173$ $\sigma_{дк} := 164.5$
Модуль упругости материала труб и корпуса	МПа	$E_T := 1.86 \cdot 10^5$ $E_K := 1.86 \cdot 10^5$

Наружный диаметр труб и корпуса	м	$d_H := 0.025$ $D_H := 1.42$
Внутренний диаметр труб и корпуса	м	$d_{BH} := 0.02$ $D_{BH} := 1.40$

Методика расчета такова:

- Определение поперечного сечения труб и корпуса;
- Определение удлинения труб и кожуха;
- Определение температурных деформаций;
- Проверка применимости теплообменника.

Определение поперечного сечения труб и корпуса:

$$F_T := n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \quad F_T := 1100 \cdot \frac{3.14}{4} (0.025^2 - 0.020^2) = 0.194 \text{ м}^2$$

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \quad F_K := \frac{3.14}{4} \cdot (1.420^2 - 1.4^2) = 0.044 \text{ м}^2$$

Определение температурных усилий:

$$Q_t := \frac{(|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K|) \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 6.426 \text{ МН}$$

Определение температурных напряжений:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 33.056 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 145.058 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности

$$Usl := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняется, ТН подходит"} & \text{if } (\sigma_T \leq \sigma_{дТ}) \wedge (\sigma_K \leq \sigma_{дК}) \\ \text{"Усл. прочности не выполняется, ТН не подходит"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Усл. прочности выполняется, ТН подходит"

Из условия прочности следует, что теплообменник типа ТН подходит для данного процесса. Но для уменьшения температурных деформаций и для компенсации температурных усилий целесообразнее использовать теплообменник типа ТК – с

линзовым компенсатором на корпусе. Схема данного теплообменника представлена на рисунке 7.

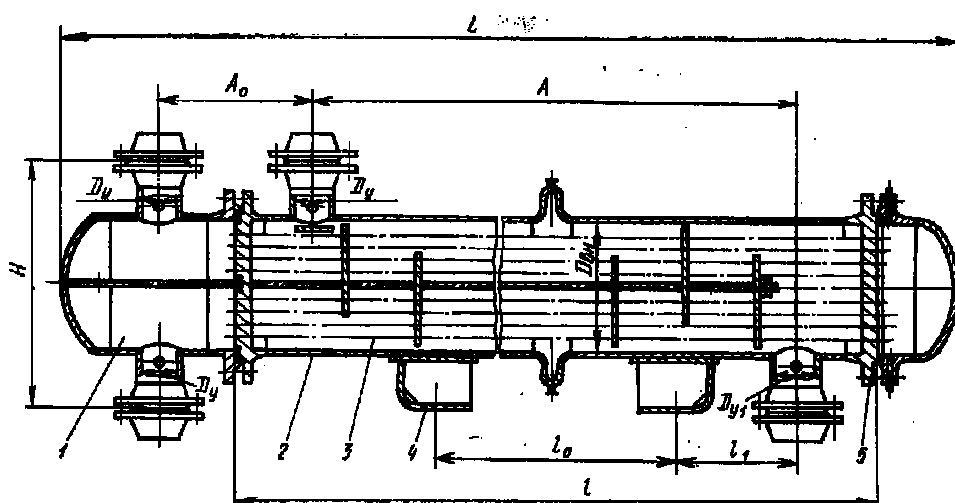


Рисунок 7 - Теплообменник с линзовым компенсатором

Согласно таблице 26.1[6] наружный диаметр линзы компенсатора для теплообменника с наружным диаметром 1400 мм составляет:

$$D_{\text{к}} := 1556 \text{ мм}$$

4.5 Расчет толщины распределительной камеры

Распределительные камеры предназначены для распределения потока рабочей среды по теплообменным трубам. Конструктивно распределительная камера может представлять собой эллиптическое фланцевое днище, присоединяемое к трубной решетке, или короткую обечайку, снабженную по краям фланцами, одним из которых она присоединяется к трубной решетке, а другим – к плоской или эллиптической крышке. Крышка может быть приварена к обечайке распределительной камеры.

Для создания необходимого числа ходов внутри распределительной камеры устанавливают перегородки. Герметизация узла соединения перегородки с трубной решеткой достигается с помощью прокладки, уложенной в паз трубной решетки. Расчетная схема обечайки распределительной камеры представлена на рисунке 8.

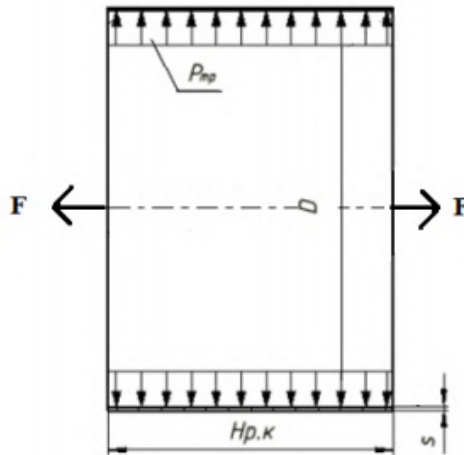


Рисунок 8 – Расчетная схема обечайки распределительной камеры

Расчетное давление:

$$P_{и.р.к} := 1.25 \cdot P_{тр} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_p}$$

$$P_{и.р.к} := 1.25 \cdot 0.7 \cdot \frac{196}{151} = 1.136 \text{ МПа}$$

Толщина стенки распределительной камеры:

$$S_{р.к} := \max\left(\frac{0.7 \cdot 1400}{2 \cdot 156 \cdot 1 - 0.7}, \frac{1.136 \cdot 1400}{2 \cdot 272.727 \cdot 1 - 1.136}\right) = 3.148 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина распределительной камеры:

$$S_{рп.к} := \text{ceil}(S_{р.к} + c) = 7 \text{ мм}$$

Принимаем толщину распределительной камеры, согласно рекомендациям завода, равной:

$$S_{рп.к} := 10 \text{ мм}$$

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

Усл1 := "условия применения формул безмоментной теории выполняется"

Усл2 := "условия применения формул НЕ выполняется"

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } \frac{s_H - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁ = "условия применения формул безмоментной теории выполняется"

4.6 Расчет толщины трубных решеток

Трубная решетка представляет собой диск, в котором высверлены отверстия под трубки, и служит вместе с трубами для разделения трубного и межтрубного пространств.

Решетки изготовляют из цельных стальных листов и поковок. Схема толщины трубных решеток приведена на рисунке 9.

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

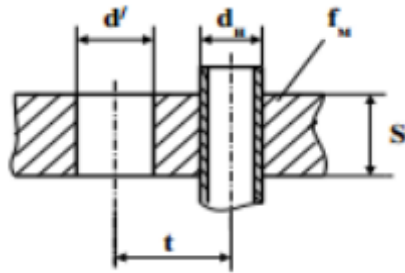


Рисунок 9 – Схема для расчета толщина трубных решеток

Коэффициент прочности решетки

Коэффициент прочности решетки учитывает ослабление сечения решетки отверстиями под трубы и определяется в зависимости от шага t и диаметра отверстий $d_{\text{отв}}$ по формуле:

$$\varphi_p = \frac{t - d_{\text{отв}}}{t}$$

где t – шаг между трубами, мм.

$d_{\text{отв}}$ - диаметр отверстия, мм.

Значение шага между трубами будет равно $t = 32$ мм.

Диаметр отверстия принимаем согласно таблице 1[13]:

$$d_{\text{отв}} := 25.7 \text{ мм}$$

Тогда коэффициент прочности решетки будет равен:

$$\varphi_p := \frac{(t - d_{\text{отв}})}{t} = 0.197$$

Толщина стенки из условия надежности развальцовки труб
наружный диаметр труб: $d_n = 25$ мм.

$$f_M := 4.35 \cdot d_H + 15 = 123.75 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{тр1}} := \text{ceil} \left(\frac{f_M}{t - d_{\text{отв}}} + c \right) = 23 \text{ мм}$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решетки

$$D_K = 1.556 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D_{\text{вн}} = 1400 \text{ мм}$$

$$Q_p := P_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{вн}}^2 + P_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_K^2 - D_{\text{вн}}^2) + Q_t = 1.114 \times 10^6 \text{ НН}$$

Расчетное давление:

$$P_p := \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = 0.724 \text{ МПа}$$

Толщина трубной решетки, если считать её плоской заземленной плитой.

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С, из которой изготовлена трубная решетка:

$$\sigma_{\text{дт}} = 173 \text{ МПа}$$

$$S_{\text{тр2}} := \frac{D_{\text{вн}}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_{\text{дт}} \cdot \varphi_p}} = 43.415 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$S_{\text{тр}} := \text{ceil}(\max(S_{\text{тр1}}, S_{\text{тр2}})) = 44 \text{ мм}$$

Согласно таблице 5[13] минимальная толщина трубной решетки для труб с наружным диаметром 25мм составляет 31мм, поэтому принимаем значение, полученное по расчету:

$$S_{\text{тр}} = 44 \text{ мм.}$$

4.7 Фланцевые соединения

4.7.1 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ

Для соединения отдельных частей и узлов теплообменника применяются фланцевые соединения. При выборе фланцевых соединений необходимо руководствоваться такими параметрами, как:

- наружный диаметр обечайки;
- давление в межтрубном пространстве;
- расчетная температура;
- токсичность и опасность теплоносителей.

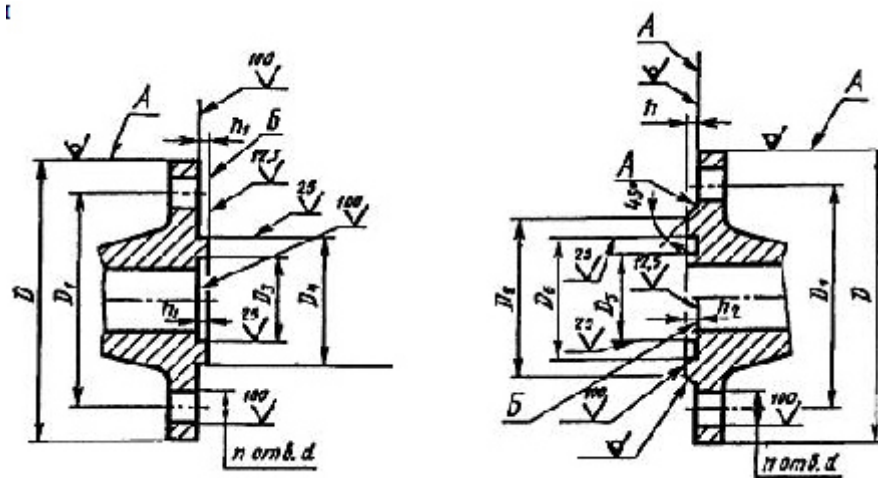


Рисунок 10 – Схема фланцев

Исходя из данных параметров, по [20] были подобраны фланцы стальные приварные встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз со следующими основными геометрическими размерами:

P_y , МПа	D_y , мм	D_2	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	D_4 , мм	D_5 , мм	D_6 , мм	n, шт
		мм							
0,1	1400	1610	1555	1504	1420	1488	1419,5	1488,5	64

Для obtyорации фланцевого соединения, согласно требованиям [6, табл. 20.1] были выбраны плоские паронитовые прокладки. Схема паронитовой прокладки показана на рисунке 10.

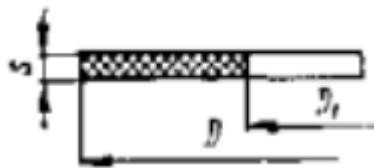


Рисунок 11 – Схема паронитовой прокладки

Согласно таблице 4[22] были приняты основные размеры прокладок:

$$D := 1488 \text{ мм}$$

$$D_1 := 1420 \text{ мм}$$

$$s := 2 \text{ мм}$$

4.7.2 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

Целью расчета фланцевого соединения является подбором такого типа фланца и прокладки, при которых выполняются условия герметичности фланцевого соединения и прочность в рабочих условиях и в условиях испытания. В качестве критериев надежности выступают прочность и герметичность.

Так как теплообменник работает с взрывоопасной средой, то согласно [14] были подобраны фланцы стальные приварные встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз. Расчетная схема фланцевого соединения показана на рисунке 12.

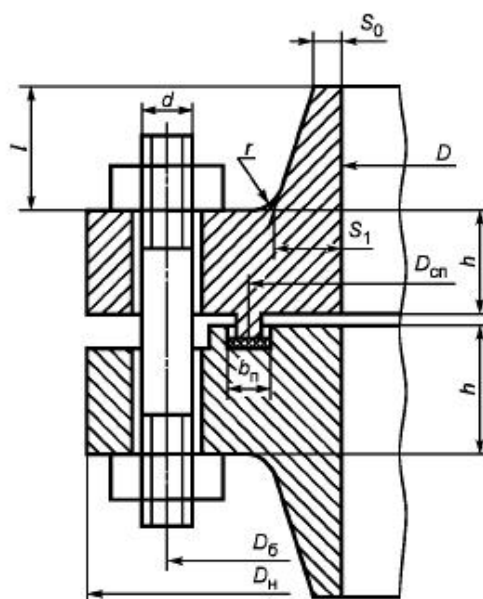


Рисунок 12 – Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета фланцевого соединения

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее значение
Внутренний диаметр	мм	$D := 1400$
Диаметр болтовой окружности	мм	$D_б := 1555$
Наружный диаметр фланца	мм	$D_{нп} := 1610$
Наружный диаметр прокладки	мм	$D_{нп} := 1488$

Расчетное давление	МПа	$P := 0.25$
Толщина стенки	мм	$S_0 := 10$
Толщина воротника фланца	мм	$S_1 := 42$
Высота тарелки фланца	мм	$h := 73$
Ширина прокладки	мм	$b_{\Pi} := 10$
Толщина прокладки	мм	$h_{\Pi} := 2$
Расстояния между поверхностями фланцев	мм	$l := 67$
Диаметр шпильки по резьбе	мм	$d := 30$
Количество шпилек	шт	$n := 64$

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [2] :

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал шпилек - сталь 25Х1МФ

Материал прокладки - паронит ПНБ.

Расчетные значения

Расчетные температуры

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

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \qquad t_{\phi} = 288 \quad ^\circ\text{C}$$

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

$$t_{\zeta} := 0.85 \cdot t \qquad t_{\zeta} = 255 \quad ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ по табл Г1 [14]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 227 \\ 217 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{linterp}(t, \sigma, t_б)$$

$$\sigma_{д.б} = 211.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 25Х1МФ при расчетной температуре по таблице Ж1 [14]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_б := \begin{pmatrix} 2.12 \cdot 10^5 \\ 2.08 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_б := \text{linterp}(t, E_б, t_б)$$

$$E_б = 2.058 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. Г1 [14]:

$$\sigma_{20б} := 238 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания $20 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. Ж1 [14]:

$$E_{20б} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 25Х1МФ при $t = 20\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. Ж2 [14]:

$$\alpha_б := 12.7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечайки из стали 09Г2С определяем по табл. А3 [2]:

$$\sigma := 171 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{д.ф} = 171 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 09Г2С при расчетной температуре по [2]:

$$E := 1.86 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при $t = 20^\circ\text{C}$ по [2]:

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа} \quad \sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{д20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания 20°C по [2]:

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

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 20 - 200^\circ\text{C}$ по [2]:

$$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [14]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

– для рабочих условий

$$K_{у.р.п} := 1$$

– для условий испытания

$$K_{у.р.и} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{у.з} := 1$$

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

$$K_{у.т} := 1.3$$

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{у.р.п} \cdot K_{у.з} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{206} = 371.28 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{у.р.и} \cdot K_{у.з} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{206} = 501.228 \text{ МПа}$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения.

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5[14]:

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}} = 12.017 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7[14]:

$$D_{\text{СП}} := D_{\text{НП}} - b_0 = 1.476 \times 10^3 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице И1[14]:

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\Pi} := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8[14]:

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 5.572 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$R_{\Pi} := \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 3.483 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил.Д [14]:

$$f_6 := 520 \text{ мм}^2$$

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

$$A_6 := n \cdot f_6 = 3.328 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11[14]:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 4.278 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [14]:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 1.941 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{60} := 166 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [14]:

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 182.8 \text{ мм}$$

Податливость болтов по формуле К.2 [14]:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 2.555 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

– параметр длины обечайки по формуле К.3 [14]:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 118.322 \text{ мм}$$

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

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.15$$

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

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.857$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 15.334$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 14.092$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 7.202$$

– коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [14]:

$$\beta_F := 0.57 \quad \beta_V := 0.2 \quad f := 1.6$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 4.2 \quad x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.566$$

– коэффициент λ по формуле К.11 [14]:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.157$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [14]:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 6.682 \times 10^{-11} \quad \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [14]:

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

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [14] при $D \leq 20 \cdot S_1$ и $f > 1$

$$D_{\text{пр}} := D + S_0$$

Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [14]:

$$b := 0.5(D_6 - D_{\text{сп}}) = 39.508 \text{ мм}$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [14]:

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.971$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [14]:

$$S_э := \zeta \cdot S_0 = 19.709 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [14]:

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 28.137 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [14]:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{206}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 3.714 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [14]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} = 1.509$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [14]:

$$Q_{\text{тв}} := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] = 2.127 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{б1}} := \max \left[\left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} - Q_{\text{т}} \end{array} \right] \right] = 6.805 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{б2}} := \max \left[(P_{\text{обж}}), 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{206} \right] = 3.168 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [14]:

$$P_{\text{бм}} := \max (P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 3.168 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [14]:

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} = 3.163 \times 10^6 \text{ Н}$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

– при затяжке по формуле 19 [14]:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} = 95.2 \quad \text{МПа}$$

– в рабочих условиях по формуле 20 [14]:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} = 95.045 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{\text{дбм}} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{дбр}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 68.326 \quad \text{МПа}$$

Т.к. прокладка выполняется из паронита, то, исходя из рекомендаций [14] её необходимо проверить на прочность.

Условие прочности прокладки

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_{\text{д}} \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{бМ} \cdot b = 1.252 \times 10^8 \text{ Н*мм}$$

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

$$M_P := C_F \cdot \max [P_{бР} \cdot b + (Q_D) \cdot e, |Q_D| \cdot e] = 1.37 \times 10^8 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

– меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [14]:

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 :

$$\sigma_{1М} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D_{гр}} = 46.786 \text{ МПа}$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 :

$$\sigma_{0М} := \sigma_{1М} \cdot f = 74.858 \text{ МПа}$$

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

– радиальное напряжение

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 21.287 \text{ МПа}$$

– окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} = 83.127 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

– меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 по формуле 34 [14]:

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{гр}} = 51.209 \text{ МПа}$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 по формуле 35 [14]:

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 81.934 \text{ МПа}$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [14]:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 :

$$\sigma_{P1mm} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)} \right] = 2.331 \text{ МПа}$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 :

$$\sigma_{P0mm} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right] = 11.361 \text{ МПа}$$

- Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении S_0 вычисляют по формуле 39 [14]:

$$\sigma_{Pomo} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 20.588 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение по формуле 40 [14]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 23.299 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение по формуле 41 [14]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 90.984 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [14].

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций: $K_T := 1.3$

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [6].

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 256.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 513 \text{ МПа}$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

– в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{1p} + \sigma_{P1mm}| \end{array} \right) \right) = 139.862$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_1

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

– при затяжке

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{1m} + \sigma_{Rm} \right|, \left| \sigma_{1m} + \sigma_{Tm} \right| \right) = 129.913$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.м} = 333.45$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_1

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

– в рабочих условиях

$$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}|$$

$$W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}|$$

$$e := |0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{P0MO}|$$

$$R := |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{P0MO}|$$

$$T := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})|$$

$$Y := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})|$$

$$\sigma_{Pmax} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 93.295$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.R} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

– при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.R} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Для фланцев всех типов в сечении S_0 должно выполняться условие по формуле 53 [14]:

Проверка условий для фланцев в сечении S_0

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{P0MO}|, |\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

– при затяжке по формуле 54 [14]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rm}|, |\sigma_{Tm}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_1} = \text{"Условия прочности выполняются"}$

– в рабочих условиях по формуле 55 [14]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_1} = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Проверка углов поворота фланцев

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

$$y_{\phi} := 6.682 \times 10^{-12}$$
$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 9.794 \times 10^{-4} \text{ рад}$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца равен [14]:

$$\Theta_d := 0.006 \text{ рад}$$

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

$U_{sl_P} = \text{"Условие поворота фланца выполняется"}$

Проверка малоциклового прочностного элементов фланцевого соединения

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

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

4.8 Расчет необходимости укрепления отверстий

Расчёт укрепления отверстий проводится в соответствии с требованиями [23]. В конструкцию аппарата входят 4 основных технологических штуцера. В данном пункте будет производиться проверка необходимости укрепления отверстия для наибольшего штуцера. Расчетная схема проходящего штуцера приведена на рисунке 13.

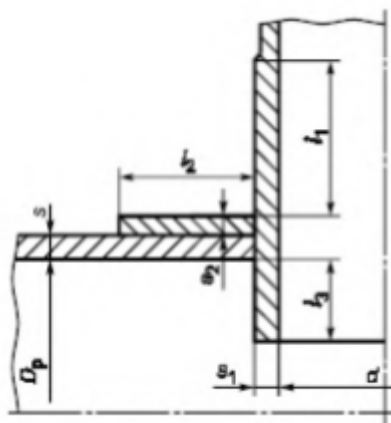


Рисунок 13 – Проходящий штуцер

Исходные данные для расчета приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Исходные данные для расчета

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее значение
Внутренний диаметр аппарата	мм	Внутренний диаметр штуцера
Марка стали		09Г2С
Внутреннее расчетное давление	МПа	$P := 0.1$
Исполнительная толщина стенки обечайки	мм	$s := 10$
Прибавка к расчетной толщине стенки	мм	$c := 3$
Допускаемое напряжение при температуре 300°C	МПа	$\sigma_d := 151$

Коэффициент прочности сварных швов		$\varphi = 1$
Внутренний диаметр штуцера	мм	$d := 219$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [23]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 225 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по 16 [23]:

$$s_{p.ш} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_D - P} = 0.075 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера равна:

$$s_{и.ш} := s_{p.ш} + c = 3.075 \text{ мм}$$

Исполнительную толщину стенки штуцера принимаем равной:

$$s_{шт.ш} := 4 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки, определяется по формуле 26 [23]:

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 324.774 \text{ мм}$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_2 = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$

Вывод по расчету: Укрепление отверстия избыточной толщиной обечайки достаточно, дальнейшее укрепление отверстия не требуется.

4.9 Поверочный расчет теплообменника на прочность

В данном разделе ведется механический расчет на прочность, жесткость и устойчивость элементов кожухотрубчатого теплообменника. Расчетная схема аппарата с линзовым компенсатором представлена на рисунке 14 .

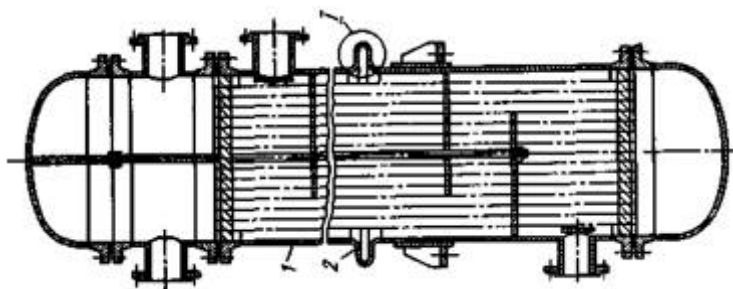


Рисунок 14 – Расчетная схема аппарата с линзовым компенсатором

4.9.1 Расчет толщины трубной решетки

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

$$m_n = \frac{a}{a_1}$$

$$a_{\text{ww}} := \frac{D}{2} = 700 \text{ мм}$$

По [18] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки для аппарата с наружным диаметром 1420мм:

$$a_1 := \frac{1380}{2} - \frac{25}{2} = 677.5 \text{ мм}$$

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.033$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку

– со стороны межтрубного пространства по формуле 2[15]:

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

$$d_T := 25 \text{ мм}$$

$$\eta_M := 1 - \frac{N_{\text{труб}} \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.626$$

– со стороны трубного пространства по формуле 3[15]:

$$\eta_T := 1 - \frac{N_{\text{труб}} \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.736$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата

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

$$K_y = \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1}$$

Определим половину длины трубы теплообменного аппарата:

$$l_{\text{т}} := \frac{L}{2} = 3 \times 10^3 \text{ мм}$$

Модуль упругости для материала сталь 09Г2С при температуре 300 °С по таблице В1[7]

$$E_{\text{ст}} := 1.71 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1} = 6.284 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

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

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре 300 °С по ГОСТ [7]:

$$E_{\text{ст}} := 1.71 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$s_K := s_{\text{И}} = 10 \text{ мм}$$

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K} = 7.469$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы - кожух:

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

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

Для аппаратов с компенсатором на кожухе K_{qq} и K_{pp} вычисляются по формулам А1 и А2[15]:

$$D_{\text{КОМ}} := 1556 \text{ мм}$$

$$d_{\text{КОМ}} := D_{\text{КОМ}} - 2 \cdot s_{\text{И}} = 1.536 \times 10^3 \text{ мм}$$

Жесткость компенсатора определяем по таблице 30[16]:

$$K_{\text{КОМ}} := 60 \text{ кН/м}$$

$$K_{qq} := \frac{\pi \cdot a \cdot E_{\text{К}} \cdot s_{\text{И}}}{1 \cdot K_{\text{КОМ}}} = 2.089 \times 10^4$$

$$K_{pp} := \frac{-\pi \cdot (D_{\text{КОМ}}^2 - d_{\text{КОМ}}^2) \cdot (E_{\text{К}} \cdot s_{\text{И}})}{4.8 \cdot l \cdot a \cdot K_{\text{КОМ}}} = -549.293$$

$$K_q := 1 + K_{qq} = 2.089 \times 10^4$$

$$K_p := 1 + K_{pp} = -548.293$$

Коэффициент ослабления трубной решетки по приложению Б[15]:

$$\eta_{\text{ав}} := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad \psi_0 := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{linterp}(\eta_{\text{Т}}, \psi_0, 0.609) = 0.313$$

$$\psi_0 = 0.313 \text{ МПа}$$

d_0 - диаметр отверстия в решетке, мм

$$d_0 := 25.7 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости трубной решетки по приложению Б[15]:

$$\omega_{\text{ФП}} := 1 - \frac{d_0}{t_p} = 0.197$$

$$d_E := d_0 - s_T = 23.7 \text{ мм}$$

Примем по [9]: $s_1 := s_{\text{И}}$

Толщина стенки эллиптической крышки:

$$s_2 := 10 \text{ мм}$$

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.016 \frac{1}{\text{мм}}$$

Диаметр фланца:

$$D_H = 1.61 \times 10^3 \text{ мм}$$

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха:

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 752.5 \text{ мм}$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 4.494 \times 10^5 \text{ Н*мм}$$

$h_1 := 73 \text{ мм}$ толщина тарелки фланца кожуха

$d_{\text{П}} := 1420 \text{ мм}$ внутренний диаметр прокладки

$D_{\text{П}} := 1488 \text{ мм}$ наружный диаметр прокладки

$$B_1 := d_{\text{П}}$$

$$E_1 := E_K$$

$$K_{\Phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) = 1.461 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

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

$$\beta := \frac{1.82}{S_{\text{ТР}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot S_{\text{ТР}}}{\psi_0 \cdot E_T}} = 0.011 \frac{1}{\text{мм}}$$

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

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 7.515$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Коэффициенты линейного расширения по таблице Г.1[7]:

$$\alpha_{\text{кв}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\alpha_{\text{ст}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

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

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{N_{\text{труб}} \cdot (d_{\text{T}} - s_{\text{T}})^2}{a_1^2} = 0.19$$

Приведенное давление вычисляют по формуле 11[15]:

$$p_0 = p_{11} + p_{22} - p_{33}$$

$$p_{11} := [\alpha_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_0) - \alpha_{\text{т}} \cdot (t_{\text{т}} - t_0)] \cdot K_{\text{y}} \cdot 1 = 35.628 \text{ МПа}$$

$$p_{22} := [\eta_{\text{т}} - 1 + m_{\text{ср}} + m_{\text{н}} \cdot (m_{\text{н}} + 0.5 \cdot \rho \cdot K_{\text{q}})] \cdot p_{\text{т}} = 5.643 \times 10^4 \text{ МПа}$$

$$p_{33} := [\eta_{\text{м}} - 1 + m_{\text{ср}} + m_{\text{н}} \cdot (m_{\text{н}} + 0.3 \cdot \rho \cdot K_{\text{p}})] \cdot p_{\text{м}} = -126.841 \text{ МПа}$$

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} = 5.659 \times 10^4 \text{ МПа}$$

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

$$K_{\text{ф}} := K_{\text{ф1}}$$

$$\rho_1 := \frac{K_{\text{y}} \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\text{ф}} \cdot R_1} = 2.203$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 определяют по табл.1[15]:

$$\omega := 1.363$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_1 := \begin{pmatrix} 2.79 \\ 3.58 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 1.363) = 1.784$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_2 := \begin{pmatrix} 1.32 \\ 2.16 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 1.363) = 0.25$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_3 := \begin{pmatrix} 2.75 \\ 3.76 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 1.363) = 1.463$$

Значения T_1 , T_2 , T_3 определяют по приложению Ж [15] в зависимости от ω или вычисляют по формулам 14,15,16,17[15]:

$$\omega := 2.446$$

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1.114$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 2.061$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 0.278$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 1.512$$

По формулам 20,21,22[15] вычисляют:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 4.42 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

так как фланцы на кожухе одинаковые:

$$m_2 := m_1$$

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = -0.103 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки:

– Изгибающий момент по формуле

$$M_n := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -3.35 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

– Перерезывающую силу по формуле 19[15]:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 245.705 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

- Изгибающий момент по формуле 23[15]:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = 2.179 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

- Перерезывающую силу по формуле 24[15]:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = 253.865 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

- Осевая сила по формуле 25[15]:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{N_{\text{труб}}} \cdot \left[(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 410.939$$

- Изгибающий момент по формуле 26[15]:

максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой: $l_{1R} := 255 \text{ мм}$

$$d_{\text{внеш}} := 25 \text{ мм}$$

$$d_{\text{внутр}} := 21 \text{ мм}$$

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

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 4.986 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Усилия в кожухе:

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

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = -0.705 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

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

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\Phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{p_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -202.5 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

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

$$F_{\text{сум}} := \pi \cdot D \cdot Q_K = -3.1 \times 10^3 \text{ Н}$$

4.9.2 Расчет прочности трубной решетки

Принимаем трубную решетку, сваренную во фланец. Расчетная схема решетки приведена на рисунке 15

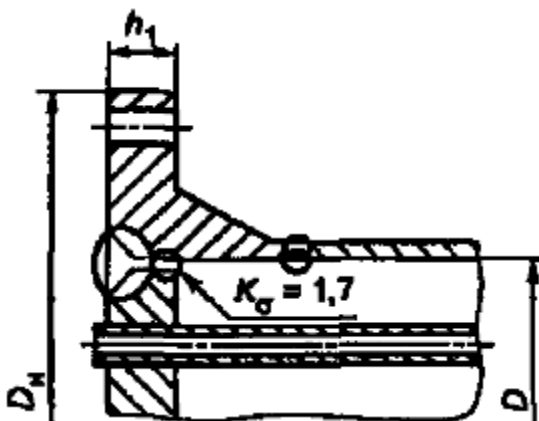


Рисунок 15 – Расчетная схема решетки

$$s_p := S_{тр}$$

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 105 \text{ мм} \quad s_p = 44 \text{ мм}$$

Принимаем толщину решетки в зоне кольцевой канавки равной толщине трубной решетки:

$$s_{1p} := s_p \quad s_{1p} = 44 \text{ мм}$$

В первом приближении принимаем эквивалентную толщину втулки фланца равной толщине кожуха

$$s_3 := s$$

$$s_{1p} := s_3 \text{ - толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом:

- изгибные по формуле 30[15]:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 11.956 \text{ МПа}$$

- касательные по формуле 31[15]:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 5.993 \text{ МПа}$$

M_{\max} - максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, рассчитывающийся по формуле 34[15]:

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

где A - коэффициент, определяемый по приложению Г[15] в зависимости от ω и m_A :

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.095$$

$$\omega = 2.446 \quad A := 0.386$$

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 8.834 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}}$$

Проверка условия прочности на изгибающий момент:

$$\text{prog}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{|M_a|}{M_{\max}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{prog}_2 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{|M_a|}{M_{\max}} = 0.247$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки:

– изгибные по формуле 32[15]:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 160.157 \text{ МПа}$$

– касательные по формуле 33[15]:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 31.451 \text{ МПа}$$

Напряжения в коже в месте присоединения к решетке

– в меридиональном направлении по формулам 38,39[15]:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = 0.101 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{\text{ух}} := \frac{6 \cdot |M_K|}{(s_1 - c)^2} = 24.805 \text{ МПа}$$

– в окружном направлении по формулам 40,41[15]:

мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{|p_M| \cdot a}{(s_1 - c)} = 10 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\tau_{\text{у}\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{ух}} = 7.441 \text{ МПа}$$

Напряжения в трубах:

– в осевом направлении по формулам 42,43[15]:

мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 2.844 \text{ МПа}$$

суммарные:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2 \cdot J_T} = 9.317 \text{ МПа}$$

– в окружном направлении по формуле 44[15]:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 4.025 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 09Г2С при температуре 152 °С определяем по таблице А.2[7]:

$$\sigma_{\text{др}} := 168 \text{ МПа}$$

Проверка условия статической прочности трубных решеток

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие стат. прочности выполняется"} & \text{if } \frac{\max(\tau_{p1}, \tau_{p2})}{(0.8 \cdot \sigma_{\text{др}})} \leq 1 \\ \text{"Условие стат. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{prov}_1 = \text{"Условие стат. прочности выполняется"} \quad \frac{\max(\tau_{p1}, \tau_{p2})}{(0.8 \cdot \sigma_{\text{др}})} = 0.234$$

По таблице 2 [15] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки

$$[W] := 0.7 \text{ мм}$$

Максимальный прогиб трубной решетки определяется по формуле 52 [15]:

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 0.14 \text{ мм}$$

Проверка условия жесткости

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие жесткости выполняется"} & \text{if } \frac{W}{[W]} \leq 1 \\ \text{"Условие жесткости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{prov}_1 = \text{"Условие жесткости выполняется"} \quad \frac{W}{[W]} = 0.2$$

4.9.3 Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость

Проверка условия статической прочности труб

Допускаемое напряжение для материала труб 09Г2С при температуре 26.25 °С по [7]:

$$\sigma_{\text{дт}} := 183 \text{ МПа}$$

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие стат. прочности труб выполняется"} & \text{if } \frac{\max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T})}{\sigma_{\text{дт}}} \leq 1 \\ \text{"Условие стат. прочности труб НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{prov}_1 = \text{"Условие стат. прочности труб выполняется"} \quad \frac{\max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T})}{\sigma_{\text{дт}}} = 0.022$$

Проверка труб на устойчивость

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

$$N_T = 410.939 \quad N, \text{ следовательно, проверять трубы на устойчивость не нужно.}$$

Проверка прочности крепления трубы в решетке

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой на глубину 26 мм.

$$l_B := 26 \text{ мм}$$

По приложению E[15] для гладкозавальцованных труб:

$$[N]_{\text{тр}} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_{\text{T}} \cdot (d_{\text{T}} - s_{\text{T}}) \cdot \min\left(\frac{l_{\text{в}}}{d_{\text{T}}}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{\text{дт}}, \sigma_{\text{др}}) = 1.262 \times 10^4 \text{ Н}$$

Проверка условия прочности крепления труб в трубной решетке:

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности крепления труб выполняется"} & \text{if } \frac{N_{\text{T}}}{[N]_{\text{тр}}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности крепления труб НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_1 = "Условие прочности крепления труб выполняется" $\frac{N_{\text{T}}}{[N]_{\text{тр}}} = 0.033$

Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [1], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [17] не проводится для обечайки, труб и трубной решетки.

5 Расчет развальцовочного соединения

Расчет развальцовочного соединения необходим для проверки вырывания труб. Схема к расчету развальцовочного соединения представлена на рисунке 16.

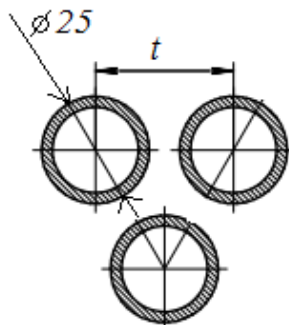


Рисунок 16 – Схема развальцовочного соединения

Таблица 9 – Исходные данные для расчета развальцовки

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее значение
Давление в трубном пространстве	МПа	$P_t = 0.1$
Давление в межтрубном пространстве	МПа	$P_M = 0.7$
Внутренний диаметр корпуса	м	$D_{вн} = 1.4$
Внутренний диаметр труб	м	$d_{вн} = 0.020$
Внешний диаметр труб	м	$d_{н} = 0.025$
Шаг между трубами	м	$t = 0.032$
Количество труб	шт	$n = 1100$

Критерием выполнения условий является прочность, выраженная через допускаемую нагрузку на развальцовку:

При развальцовке в отверстиях без канавок:

$$[\sigma]_{б.к} := 0.08 \frac{МН}{м}$$

При развальцовке с канавками:

$$[\sigma]_к := 0.14 \frac{МН}{м}$$

Определяем усилие от давления по уравнению 30 [2]:

$$Q := P_M \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [D_{BH1} - (n \cdot d_H^2)] + P_t \cdot \frac{\pi \cdot d_{BH}^2}{4}$$

$$Q := 0.7 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot [1.4^2 - (1100 \cdot 0.025^2)] + 0.1 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.020^2}{4} = 0.699 \text{ МН}$$

Площадь трубной решетки при расположении труб по вершинам квадрата вычисляется по формуле:

$$f_p := t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \quad f_p := 0.032^2 - \frac{3.14 \cdot (0.025^2)}{4} = 5.334 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Определяем усилие, действующее на одну трубу:

$$q := \frac{Q}{n} = 3.561 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Рассчитаем температурное усилие, которое испытывает одна труба. Для этого сначала рассчитаем площадь поперечного сечения трубы:

$$f_t := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2)$$

$$f_t := \frac{3.14}{4} \cdot (0.025^2 - 0.020^2) = 1.766 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Температурное усилие:

$$q_t := f_t \cdot \sigma_{150}$$

$$q_t := 1.766 \times 10^{-4} \cdot 171 = 0.03 \text{ МН}$$

Удельная нагрузка от давления равна: Найдем удельную нагрузку от давления на единицу длины окружности развальцовки по формуле 33 [2]:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 4.534 \times 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Сравним удельную нагрузку от давления, с допускаемой нагрузкой развальцовки труб в отверстиях без канавки и с канавкой:

$$\sigma_0 \leq [\sigma]_K \qquad \sigma_0 \leq [\sigma]_{6.K}$$

$$4.534 \times 10^{-3} \leq 0.14 \qquad 4.534 \times 10^{-3} \leq 0.08$$

Условие прочности выполняется, так как используется теплообменник конструкции ТК, то вырывание труб из гнезда исключаются, так как происходит свободное движение плавающей головки.

6 Подбор и расчет стандартной опоры аппарата

Целью расчета является проверка несущей способности корпуса аппарата от воздействия опорной нагрузки от рабочего веса аппарата.

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях водой с плотностью 1000 кг/м^3 .

- Масса обечайки рассчитывается по формуле:

$$m_{об} = \rho_{об} \cdot V_{об},$$

где $V_{об}$ - объем материала обечайки

$\rho_{об}$ - плотность материала обечайки (сталь 09Г2С)

- Объем материала обечайки вычисляется по формуле:

$$V_{об} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \cdot L$$

где $D_{нар}$, $D_{вн}$ - наружный и внутренний диаметр обечайки соответственно, м

L - длина обечайки, м

$$V_{об} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \cdot L = 0.25249 \quad \text{м}^3$$

$$m_{об} := \rho_{об} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \cdot L \right] = 1.982 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

- Масса трубок рассчитывается по формуле:

$$m_{тр} = N_{туб} \cdot \rho_{тр} \cdot V_{тр},$$

где $V_{тр}$ - объем материала трубок, м^3

$\rho_{тр}$ - плотность материала трубок (сталь 09Г2С), кг/м^3

$N_{туб}$ - количество труб

- Объем материала трубок вычисляется по формуле:

$$V_{тр} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d^2) \cdot l$$

где d_n , d - наружный и внутренний диаметр трубок соответственно, м

l - длина трубок, м

$$V_{\text{тр}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d^2) \cdot l = 0.00106 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{тр}} := N_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{тр}} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d^2) \cdot l \right] = 9.156 \times 10^3 \text{ кг}$$

– Масса крышки и днища:

Согласно таблице 16.3[6] масса днища 1420x10-40-09Г2С равна 182,7 кг.

Тогда суммарная масса крышки и днища равна:

$$m_{\text{дн}} := 2 \cdot 182.7 = 365.4 \text{ кг}$$

– Масса трубных решеток:

Масса трубных решеток рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{реш}} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - d_{\text{н}} \cdot N_{\text{труб}}) \cdot S_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{реш}}$$

где $\rho_{\text{реш}}$ - плотность материала решетки (сталь 09Г2С)

$$m_{\text{реш}} := 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - d_{\text{н}} \cdot N_{\text{труб}}) \cdot S_{\text{тр}} \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{\text{реш}} = 720.999 \text{ кг}$$

– Общая масса аппарата:

$$m_{\text{апп}} := m_{\text{об}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{дн}} + m_{\text{реш}} = 1.222 \times 10^4 \text{ кг}$$

– Масса воды в аппарате:

$$m_{\text{вод}} = V_{\text{апп}} \cdot \rho_{\text{в}}$$

где $V_{\text{апп}}$ - объем аппарата;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды

Объем аппарата вычисляется по формуле:

$$V_{\text{апп}} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot L = 8.774 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{вод}} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot L \cdot \rho_{\text{в}} = 8.774 \times 10^3 \text{ кг}$$

– Массу вспомогательных устройств примем за 20% от массы аппарата:

$$m_{\text{вс}} := 0.2 \cdot m_{\text{апп}} = 2.445 \times 10^3 \text{ кг}$$

– Общая нагрузка на опоры:

Общая нагрузка на опоры рассчитывается по формуле:

$$g := 10 \text{ м/с}^2$$

$$G := (m_{\text{апп}} + m_{\text{вс}} + m_{\text{вод}}) \cdot g = 2.344 \times 10^5 \text{ Н}$$

Установим аппарат на две опоры, в этом случае нагрузка на одну опору:

$$\frac{G}{2} = 1.172 \times 10^5 \text{ Н}$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F := \frac{G}{2} = 117217 \text{ Н}$$

По полученным значениям по [19] принимаем опору 160-700-I ОСТ 26-2091-93.

6.1 Расчет опор

Таблица 10 – Исходные данные для расчета опор

Название величины	Размерность	Обозначение величины и ее значение
Безразмерный коэффициент, учитывающий условия гидроиспытний		$K_2 = 1.05$
Длина цилиндрической части сосуда	мм	$L = 6000$
Внутренний диаметр аппарата	мм	$D = 1400$
Внутреннее избыточное давление	МПа	$P_{\text{и}} = 0.1$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла		$\varphi = 1$
Ширина седловой опоры	мм	$b := 250$
Исполнительная толщина подкладного листа	мм	$s_2 := 14$
Ширина подкладного листа	мм	$b_2 := 140$
Допускаемое напряжение при 20°C	МПа	$\sigma_{20} = 196$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда	мм	$a := 950$

Длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда	мм	$e := a$
Угол охвата седловой опоры	°	$\delta_1 := 120\text{-deg}$
Угол охвата сосуда подкладным листом	°	$\delta_2 := 140\text{-deg}$
Вес аппарата при гидроиспытаниях	Н	$G_{\text{ап}} := 2.344$
Модуль продольной упругости при 20°C	МПа	$E_{20} = 1.99 \times 10$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки	мм	$c := 3$
Толщина стенки аппарата	мм	$s := 10$

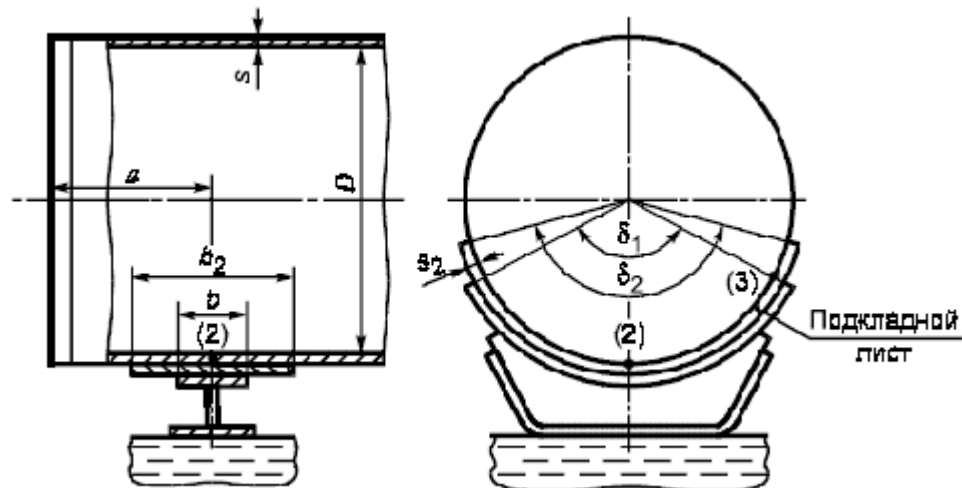


Рисунок 17 – Расчетная схема седловой опоры

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

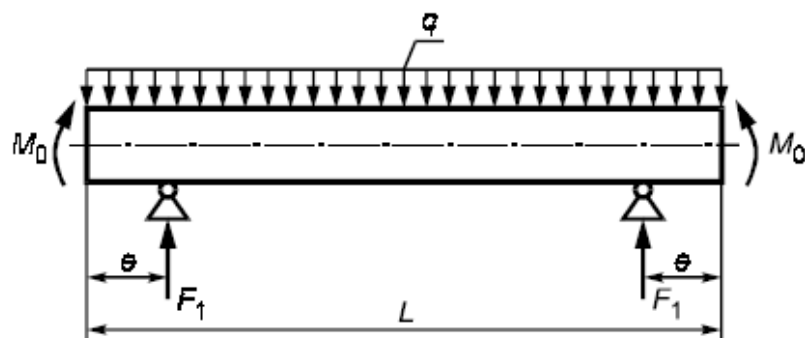


Рисунок 18 – Расчетная схема определения усилий

Проверка применимости формул [24]:

$$U_{sl_2} := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 60\text{-deg} \leq \delta_1 \leq 180\text{-deg} \\ \frac{s-c}{D} \leq 0.05 \\ s_2 \geq s \end{cases} \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_2} = \text{"Формулы применимы"}$

Распределенную нагрузку и изгибающий момент, действующие на обечайку (рисунок 10), вычисляют по формулам 28,29 [24]:

– распределенная нагрузка:

$$q := \frac{G_{ап}}{L} = 39.067 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

– изгибающий момент:

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} = 4.786 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Опорное усилие вычисляют по формуле 30 [24]:

$$F_1 := \frac{F}{2} = 5.861 \times 10^4 \text{ Н}$$

Момент над опорой вычисляют по формуле 31 [24]:

$$M_1 := \left| \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right| = 1.284 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_2 := M_1 = 1.284 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Максимальный момент между опорами вычисляют по формуле 32 [24]:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 = -5.087 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

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

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L} \cdot F_1 = 4.005 \times 10^4 \text{ Н}$$

Условие проверки несущей способности обечайки в сечении между опорами

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Проверка требуется"} & \text{if } M_{12} \geq M_1 \\ \text{"Проверка НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} = \text{"Проверка НЕ требуется"}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Примем по [24]:

$$y := \frac{D}{s} = 140 \quad x := \frac{L}{D} = 4.286$$

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

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

$$a_{11} := 1.6 - 0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1) - 0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot y \cdot x \cdot (x - 1)$$

$$a_{12} := 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 - 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2 + 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y$$

$$a_{13} := 0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x + 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3 + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3$$

$$K_9 := \max(a_{11} - a_{12} - a_{13}, 1) = 1.376$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров}_{\text{п}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot s} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot s} \right) \leq \sigma_d \cdot \varphi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{п}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Допускаемый изгибающий момент определяем по формуле 21 [19]:

$$M_d = \frac{M_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\text{п}}}{M_E} \right)^2}}$$

где $M_{\text{п}}$ - допускаемый изгибающий момент из условия прочности, Н*м;

M_E - допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости, Н*м.

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности определяется по формуле 22 [9]:

$$M_{\text{п}} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{20} = 2.123 \times 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости определяется по формуле 23 [19]:

$$M_E := \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E_{20}}{1.8} \cdot D^3 \cdot \left(\frac{100 \cdot s}{D} \right)^{2.5} = 1.164 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент

$$M_D := \frac{M_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{II}}{M_E} \right)^2}} = 2.088 \times 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{M_{12}}{M_D} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие устойчивости выполняется."

Проверка несущей способности обечайки в области опорного узла

Несущая способность по рекомендации [24] проверяется в точках 2 и 3 рисунок 11:

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

$$\gamma_{33} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 0.136$$

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

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 2.298$$

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

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 1.192 \text{ МПа}$$

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

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

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.435$$

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b_2}{D} \cdot \delta_2} = 0.538$$

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

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.851$$

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.071$$

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.425$$

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

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}\right) = 0.454$$

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 0.744$$

По таблице 1 [24] определим безразмерные коэффициенты:

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.035$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_2)} = -1.441$$

$$v_{212} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = -5.791 \times 10^{-3}$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left[\frac{P_H \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \sigma_{\max} \right] \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = 0.019$$

$$v_{223} := \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = 0.049$$

$$K_{112} := \frac{1 - v_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right)^2 + (1 - v_{212}^2) \cdot v_{12}^2}} = 1.495$$

$$K_{122} := \frac{1 - v_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right)^2 + (1 - v_{213}^2) \cdot v_{13}^2}} = 0.552$$

$$K_{113} := \frac{1 - v_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right)^2 + (1 - v_{222}^2) \cdot v_{12}^2}} = 1.498$$

$$K_{123} := \frac{1 - v_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right)^2 + (1 - v_{223}^2) \cdot v_{13}^2}} = 0.578$$

Определим безразмерные коэффициенты для определения предельного напряжения изгиба:

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 0.552$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.578$$

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

$$\sigma_2 := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 113.529 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 118.895 \text{ МПа}$$

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

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 2.587 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 4.355 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка условия прочности:

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

Проверка = "Условие прочности выполняется."

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

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 2.097 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие определяем по формуле 13 [9]:

$$F_d := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{20} \cdot \varphi = 6.065 \times 10^6 \text{ Н}$$

По рисунку 7 [9] определим безразмерный коэффициент:

$$\varphi_3 := 1$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "Условие устойчивости выполняется."

Вывод по расчету: по расчетам, произведенным в данном подпункте, можно сделать вывод о том, что подобранные седловые опоры не оказывают на обечайку аппарата воздействий, которые могли бы привести к потере прочности и устойчивости аппарата.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе подробно разобран коммерческий потенциал данного исследования и его перспективы на рынке. Проведена оценка ресурсоэффективности проделанной работы. Описан и составлен план необходимого комплекса работ.

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В данной работе продуктом является кожухотрубчатый теплообменник, необходимый для нагрева вакуумного дистиллята.

Целевой рынок: крупные предприятия по нефтепереработке в Республике Казахстан, такие как Шымкентский нефтеперерабатывающий завод, Атырауский нефтеперерабатывающий завод.

7.2 SWOT-анализ

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Сущность SWOT-анализа заключается в анализе внутренних и внешних факторов компании, оценке рисков и конкурентоспособности товара в отрасли.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Для этого необходимо определить сильные и слабые стороны проекта.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это внутренние характеристики предприятия, которые обеспечивают конкурентное преимущество на рынке или более выгодное положение в сравнении с конкурентами.

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Таблица 14 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Более низкая стоимость аппарата по сравнению с	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенная подверженность коррозии Сл2. Высокая
--	---	---

	<p>импортными производителями</p> <p>С2. Возможность осуществления работы с агрессивными средами.</p> <p>С3. Увеличение поверхности теплообмена</p> <p>С4. Возможность функционировать в загрязненной среде</p>	<p>металлоёмкость</p> <p>Сл3. Сложность в обслуживании аппарата (монтаж и ремонт).</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование аппарата на различных технологических линиях</p> <p>В2. Возможность использования аппарата в местах с пониженной температурой.</p> <p>В3. Развитие потребительской способности рынка на выпускаемый продукт</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации</p> <p>У2. Высокая конкуренция между производителями</p> <p>У3. Устаревание технологий и оборудования</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Составляется интерактивная матрица, с помощью которой можно оценить варианты стратегического выбора.

- (+) - Сильное соответствие сильных сторон возможностям;
- (-) - Слабое соответствие сильных сторон возможностям;
- (0) - Сомнения в выборе;

Результаты анализа соответствий сильных сторон с возможностями представлены в таблице 2.

Таблица 12 - Результаты анализа соответствий сильных сторон с возможностями

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	0
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа, которая приводится в данной работе (табл. 3).

Таблица 13 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Более низкая стоимость аппарата по сравнению с импортными производителями</p> <p>C2. Возможность осуществления работы с агрессивными средами.</p> <p>C3. Увеличение поверхности теплообмена</p> <p>C4. Возможность функционировать в загрязненной среде</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Повышенная подверженность коррозии</p> <p>Сл2. Высокая металлоёмкость</p> <p>Сл3. Сложность в обслуживании аппарата (монтаж и ремонт).</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Использование аппарата на различных технологических линиях</p> <p>B2. Возможность</p>	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <p>1. Аппарат функционирует как при очень низких, так и при очень высоких</p>	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <p>1. Создание новой технологии, которая бы исключила сложности при</p>

использования аппарата в местах с пониженной температурой. ВЗ. Развитие потребительской способности рынка на выпускаемый продукт	температурах. 2. Развитие торговых отношений отечественных и иностранных производителей.	ремонте. 2. Использование альтернативных материалов. 3. Привлечение новых заказчиков.
Угрозы: У1. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации У2. Высокая конкуренция между производителями У3. Устаревание технологий и оборудования	Сильные стороны и угрозы: 1. Использование подходящего рода фланцев или использование подходящих прокладок. 2. Продвижение аппарата на мировой рынок за счет новизны технологии и снижения стоимости	Слабые стороны и угрозы: 1. Усовершенствование технологии, которая бы обеспечила заинтересованность иностранных потребителей 2. Использование более дешевых материалов для уменьшения себестоимости аппарата 3. Снижение цен на выпускаемую продукцию.

7.3 Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В состав рабочей группы входят:

- Инженер – Жетписбаева Малике Канаткызы
- Руководитель проекта – Семакина Ольга Константиновна

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4

Таблица 14 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер Научный руководитель
	3	Проведение теоретических исследований	Научный руководитель Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Проверка расчетов	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель
	9	Предоставление отчета о проделанной работе	Инженер
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Сбор материалов и оформление социальной ответственности	Инженер
	11	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	12	Расчет и оформление экономической части работы	Инженер
	13	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета и чертежей по ОКР	14	Составление пояснительной записки	Инженер
	15	Сдача работы на рецензию	Инженер
	16	Предзащита дипломной работы	Инженер

	17	Подготовка к защите дипломной работы	Инженер
	18	Защита дипломной работы	Инженер

7.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ была использована следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;

накладные расходы.

7.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат проводится по формуле:

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

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида используемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15% от цены материалов).

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование основных материалов и сырья	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, Зм, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Легкий газойль	т	1	1,5	2	39900	39900	39900	45885	65835	85785

Вакуумный дистиллят	т	0,5	1	1,5	21500	21500	21500	13975	24725	35475
Итого, руб.		Исполнение 1			Исполнение 2			Исполнение 3		
		59860			90557			121260		

7.4.2 Сумма амортизационных отчислений

Расчет амортизационных отчислений будем вести по следующей формуле:

$$A_0 = \frac{C_{II} * H_0}{100 * T_{раб.дг.год}} * T_{раб}$$

где A_0 – амортизационные отчисления, руб;

C_{II} – стоимость оборудования, руб;

H_0 – норма амортизационных отчислений, для каждого оборудования, %

$T_{раб.дг.год}$ – рабочие дни в 2019 году, 247 дней;

$T_{раб}$ – дни эксплуатации в проекте;

Норму амортизационных отчисления (H_0) высчитываем по формуле:

$$H_0 = \frac{1}{n} * 100$$

где n – срок эксплуатации оборудования на производстве, лет.

Время использования оборудования ($T_{раб}$) 5 дней в соответствии с

экспериментальным исследованием.

Таблица 16 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Количество основных средств, шт		Срок эксплуатации и n , лет	Норма амортизации H_0 , %	C_{II} тыс. руб.	A_0 , руб.	
	исп.1	исп.2				исп.1	исп.2
Колонна	1	2	15	6,7	4700	6374,5	12748,9
Теплообменник	7	7	20	5	500	3542,7	
Холодильник	4	4	15	6,7	800	4340,1	
Насос	8	8	7	14,3	200	4631,6	
Итого						18888,9	25263,4

7.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.; $Z_{\text{дн}}$ –среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}},$$

Обозначения:

$Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуска	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Все рассчитанные значения основной заработной платы сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$ руб.	k_p	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	43763	1813,3	5	9066,5
Инженер	25600	1,3	33280	1671,5	94	157121
Итого						166 187,5

7.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при

исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 43\,763 = 5689 \text{ рублей}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 33280 = 4326,4 \text{ рублей}$$

7.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равный 27,1%.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Научный руководитель	Инженер
Зарплата	43 763	33280
Дополнительная зарплата	5689	4326,4
Отчисления на соц.нужды	0,271	
Отчисления на соц.нужды	21562 руб.	

7.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы, попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \times k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

В данный пункт входят затраты на электроэнергию:

$$Z_3 = T_3 * M * T_{раб} = 3.42 * 176 * 5 * 24 = 72\ 230,4 \text{ руб.}$$

где Z_3 – затраты на электроэнергию, руб;

T_3 – тариф электроэнергии 1кВт/ч, руб/(кВт/ч);

M – мощность потребляемая двигателями насосов, кВт;

$T_{раб}$ – число рабочих часов оборудования для исследования, ч.

7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 20 - Бюджет затрат на проведение данного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты	59860	90557	121260	Пункт 2.4.1
2. Амортизация оборудования	18888,9	25263,4		Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате	166 187,5			Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	10012,4			Пункт 2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	21562			Пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	72230,4			Пункт 2.4.6
7. Бюджет затрат проекта	348741,2	385812,7	416515,7	

Исходя из данных таблицы 12, можно сделать вывод, что основные затраты НИИ приходится на специальное оборудование для проведения эксперимента, основную зарплату исполнителей и различные отчисления.

7.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

Где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта.

$$I_{фин.исп,1} = \frac{348741,2}{416515,7} = 0,837,$$

$$I_{фин.исп,2} = \frac{385812,7}{416515,7} = 0,926$$

$$I_{фин.исп,2} = \frac{416515,7}{416515,7} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения работы;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5	5
2. Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5	4

5. Надежность	0,25	4	4	4
Продолжение таблицы 21				
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
Итого	1	4,65	3,85	3,95

Интегральный показатель ресурсоэффективности для каждого исполнения:

$$I_{p.исп1} = 0,1 * 4 + 0,15 * 5 + 0,15 * 5 + 0,20 * 5 + 0,25 * 4 + 0,15 * 5 = 4,65$$

$$I_{p.исп2} = 0,1 * 5 + 0,15 * 3 + 0,15 * 3 + 0,20 * 5 + 0,25 * 4 + 0,15 * 3 = 3,85$$

$$I_{p.исп3} = 0,1 * 5 + 0,15 * 4 + 0,15 * 4 + 0,20 * 4 + 0,25 * 4 + 0,15 * 3 = 3,95$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта (таблица 13) и выбрать наиболее эффективный вариант их представленных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

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

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется исходя из интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп,1} = \frac{I_{p.исп1}}{I_{фин,исп1}} = \frac{4,65}{0,907} = 5,13$$

$$I_{исп,2} = \frac{I_{p.исп2}}{I_{фин,исп2}} = \frac{3,85}{0,956} = 4,03$$

$$I_{исп,3} = \frac{I_{p.исп3}}{I_{фин,исп3}} = \frac{3,95}{1} = 3,95$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп,i}}{I_{исп,1}}$$

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,837	0,926	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,65	3,85	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	5,13	4,03	3,95
4	Сравнительная эффективность разновидностей	1	0,756	0,770

Исходя из расчетов, представленных в данном разделе, следует заметить, что наилучшем исполнением считается 1 исполнение. В данном варианте решения поставленной задачи в работе сравнительная эффективность более высокая, чем в последних двух исполнениях. Это свидетельствует тому, что в данном варианте наблюдается оптимальное обеспечение материалами и специальным оборудованием, необходимым для решения и оформления данной работы. Следовательно, достигается наилучшая эффективность проделанного проекта. Данный проект конкурентоспособный в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

7.7 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах.

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 23 - Расчёт годовой потребности в сырье и материалах Q=315366 т.

Наименование затрат	Ед. изм.	Цена, руб.	Расход		Затраты	
			На 1 т	На 315366 т	На 1 т	На 315366 т
Переменные издержки						
1.Газоиль	руб.	3990	0,45	141914,7	1795,50	566239653,00
2. Энергия	руб.	1362	1,456		1983,07	625392853,62
Итог условно-переменных издержек (сырье+энергия)					3778,57	1191632507,00
Постоянные издержки						
3. Ремонт и содержание оборудования						

3.1 Амортизация	руб.				230,21	72600000,00
3.2 Ремонт	руб.				19,18	6050000,00

Продолжение таблицы 23

Всего РСЭО	руб.				249,39	78650000,00
4. ЗП основных рабочих	руб.				64,94	20460000,00
4.1 Отчисления на соц. нужды основных рабочих	руб.				19,48	6144000,00
5. ЗП ИТР и служащих	руб.				62,78	19800000,00
5.1 Отчисления на соц. нужды ЗП ИТР и служащих	руб.				18,84	5940000,00
6. ЗП дежурного и ремонтного персонала	руб.				36,75	11590000,00
6.1 Отчисления на соц. нужды дежурного и ремонтного персонала	руб.				11,03	3477000,00
7. ЗП МОП	руб.				45,82	14450000,00
7.1 Отчисления на соц. нужды МОП	руб.				13,75	4335000,00
Всего ФОТ	руб.				273,39	86196000,00
Итого условно-постоянных издержек (РСЭО+ФОТ)	руб.				522,71	164846000,00
Цеховая себестоимость (переменные+постоянные издержки),руб.					4301,28	1356477468,48
Управленческие расходы, руб.					129,04	40694,828,64
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость +управ.					4430,32	1397172297,12

расходы), руб.		
Коммерческие расходы, руб.	44,30	13971722,97

Продолжение таблицы 23

Полная себестоимость (заводская себестоимость +коммерческие расходы), руб.	4474,62	1411143010,92
Итог условно-переменных издержек,руб.	3778,57	1191632506,62
Итог условно-постоянных издержек, руб.	696,05	219510504,30

Таблица 24 – Техничко-экономические показатели эффективности производства нефти

№	Наименование показателя	Ед. изм.	С0
1	Объем производства	тонн	315366
2	Объем продаж	тонн	315366
3	Цена 1 тонны	руб.	5 459,04
4	Выручка от продажи	руб.	721 595 608,64
5	Суммарные издержки	руб.	1411143010,92
5,1	Издержки условно-переменные	руб.	1191632506,62
5,2	Издержки условно-постоянные	руб.	219510504,30
6	Операционная прибыль (4–5)	руб.	310 452 597,72
7	Налог на прибыль (6*20%)	руб.	62 090 519,54
8	Чистая прибыль (6–7)	руб.	248 362 078,18
9	Себестоимость 1 тонны	руб.	4474,62
10	Стоимость основных средств	руб.	605000000
11	Численность основных рабочих	чел.	42
12	Фондовооружённость (10/11)	руб./чел	14 404 761,90
13	Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	2,846
14	Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,351
15	Производительность труда (4/11)	руб./чел	40 990 371,63
16	Рентабельность производства (8*100%/5)	%	17,60
17	Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	14,43
18	Критический объем продаж (Qкр.)	тонн	130 624,47
19	Критический объем продаж (Qкр.)	руб.	713 084 206,71



Рисунок 19 – Структура себестоимости на 1 т. готовой продукции при исходных данных, руб.

Расчет цены готовой продукции:

$$C_0 = C_o * \left(1 + \frac{P}{100}\right) = 4474,62 * \left(1 + \frac{22}{100}\right) = 5459,04 \text{ руб.}$$

где C_o – базовая себестоимость готовой продукции, руб.;

P – рентабельность продукции, %.

7.7.1 Анализ безубыточности производства

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пос}}{C_{ен} - Изд_{пер.зн}} = \frac{219510504,30}{5459,04 - 3778,57} = 130\ 624,47 \text{ тонн}$$

$$Q_{кр} = 5459,04 * 130624,47 = 713\ 084\ 206,71 \text{ руб.}$$

где $C_{ен}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{пер.зн}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

Определение точки безубыточности графическим способом:

В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{пр} = C_{ен} * Q = 5459,04 * 315366 = 1\ 721\ 595\ 608,64 \text{ руб}$$

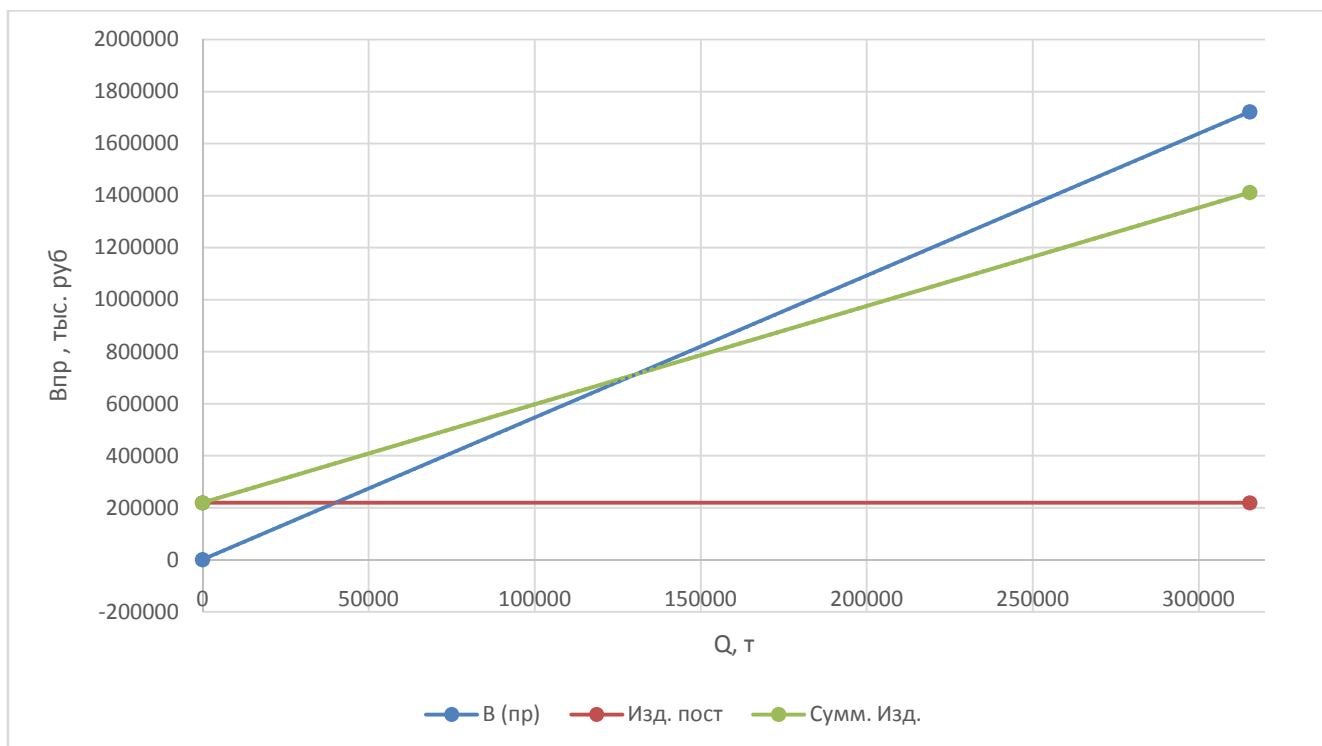


Рисунок 20 – График безубыточности для исходных данных

Расчет точки безубыточности показал, что объем производства, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль, которая составляет 5459,04 т/год. Таким образом, при текущем объеме производства в 315366 т/год можно говорить о высокой доходности производства. Это подтверждают и показатели экономической эффективности, представленные в таблице 16. Чистая прибыль предприятия составляет за год порядка 1 721 595 608,64 руб.

Вывод по разделу

В данном разделе подробно разобран экономический потенциал данной научно-исследовательской работы и перспективы на рынке. Проведена оценка ресурсоэффективности и ресурсосбережения проделанной работы.

Описав и проанализировав потенциальных потребителей результатов данного исследования, проведен SWOT- анализ.

Было произведено планирование научно-исследовательской работы.

С позиции финансовой и ресурсной эффективности, все рассчитанные показатели позволяют сделать вывод, о том, что выбранный вариант исполнения более предпочтительный, так как данный вариант исполнения более экономичен и ресурсоэффективен.

8 Социальная ответственность

Под социальной ответственностью понимают комплекс законодательных и соответствующих им социально-экономических мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранения здоровья и работоспособности в процессе труда. Нефтехимическая промышленность характеризуется большим разнообразием производственных отраслей. В связи с этим большое внимание уделяется охране труда.

В данной дипломной работе производится расчет теплообменника с плавающей головкой для получения легкого газойля. Обеспечение безопасности условий работы достигается путем поддержания оборудования и технических средств в исправном состоянии, своевременным ремонтом, герметизацией аппаратов, поддержанием режима, утвержденного в технологическом регламенте для установки.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня.

Основная цель производственной безопасности - предотвращение и минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах, выявление вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данных аппаратов.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Деятельность завода ведется в соответствии с законодательством Республики Казахстан, внутренними нормативными документами, политиками и процедурами ТОО «ПНХЗ».

Завод является предприятием с вредными условиями труда и с учетом непрерывного цикла работы предприятия:

- для уменьшения воздействия на здоровье работников вредных (опасных) производственных факторов для отдельных категорий работников установлена сокращенная продолжительность рабочего времени – 36 часов в неделю;
- за работу с особо вредными, вредными и тяжелыми условиями труда работникам установлены доплаты к тарифным ставкам и окладам в размере от 4% до 16%;
- производится повышенная оплата за работу в ночное время, в праздничные и выходные дни;
- предоставляется дополнительный отпуск (до 12 календарных дней), продолжительность которого определена в соответствии с фактической занятостью работника на работах, дающих право на дополнительный отпуск;

- производятся дополнительные выплаты за совмещение профессий и выполнение обязанностей временно отсутствующих работников.

На заводе разработаны и утверждены локальные нормативные акты, регламентирующие порядок оплаты труда и отдыха персонала, предоставление социальных льгот: Правила оплаты труда, Правила оказания социальной поддержки, Положение об отпусках. [19]

8.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

В представленной ниже таблице показаны вредные и опасные факторы, которые могут повлиять на работников. [20]

Таблица 25 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации теплообменника с плавающей головкой

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенная температура поверхности оборудования		+	+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.
2. Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
3. Статическое электричество		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

Анализ выявленных вредных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации теплообменника с плавающей головкой.

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации, как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией. [21]

1. Повышенная температура поверхности оборудования:

На теплообменник необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник.

Теплообменник, температура наружных поверхностей которого в процессе эксплуатации может превышать 45°C, должен быть теплоизолирован. Рекомендуется дополнительная установка ограждающих конструкций теплообменника.

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

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

2. Повышенный уровень шума:

Шум – это совокупность звуков разной интенсивности и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени, возникающих в производственных условиях и вызывающих у работников неприятные ощущения и объективные изменения органов и систем. [22]

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [23]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА и не более 60 дБА в лабораториях.

К средствам защиты от шума относятся оградительные устройства, звукоизолирующие кабины.

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства: оградительные, виброизолирующие, виброгасящие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления.

3. Статическое электричество:

Для предотвращения возникновения зарядов статического электричества, защиты от вторичных проявлений молний, выполнены следующие мероприятия:

- все технологические аппараты, содержащие взрывоопасные смеси, нефтепродукты, выступающие электропроводные металлические части технологического оборудования, вводы в здание всех коммуникаций и трубопроводов, присоединяются к заземляющему контуру. Для заземления технологического оборудования и электрооборудования высокого и низкого напряжения применяется общее заземляющее устройство;

- все аппараты и трубопроводы герметизированы: диаметры всех трубопроводов рассчитаны и приняты с учетом допустимых скоростей движения жидкости по трубопроводам;

- для предотвращения возникновения опасных искровых разрядов при движении газов и паров в трубопроводах и аппаратах, исключено присутствие в газовых и паровых потоках твердых частиц;

- в проекте приняты буйковые уровнемеры, которые устанавливаются непосредственно на фланцах, выносные уровнемерные колонки на технологических аппаратах, имеющие заземление;

- предусматривается продувка электродвигателей компрессоров при запуске.

Для обеспечения непрерывного отвода зарядов статического электричества с тела человека во взрывоопасном помещении (компрессорные), полы изготовлены из материалов, удельное объемное сопротивление которых в условиях эксплуатации составляет не более 10^{-6} Ом/м³. [24]

К средствам защиты от статического электричества относятся: заземляющие устройства, а от высоких и низких температур окружающей среды - оградительные устройства, автоматический контроль и сигнализация, термоизоляция, дистанционное управление.

8.3 Экологическая безопасность

Природоохранная деятельность ТОО "Павлодарский нефтехимический завод" направлена на снижение техногенного воздействия предприятия на окружающую среду. Основными задачами природоохранной деятельности предприятия являются: соблюдение экологического законодательства, сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу, минимизация отходов производства, охрана почв и грунтовых вод от загрязнения.

Мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду, условно подразделяются на профилактические и технологические. [25]

Профилактические обеспечивают безаварийную работу оборудования. Технологические способствуют сокращению объемов выбросов и снижению их приземных концентраций.

Технологические мероприятия по защите водных объектов направлены на сокращение водопотребления; уменьшение количества сточных вод, сбрасываемых в водоемы; снижение их загрязнения. Снижение водопотребления достигается за счет:

- использования оборотного водоснабжения для аппаратов, в которых охлаждаются или конденсируются определенные продукты (водооборот как одно из наиболее эффективных мероприятий по экономии расхода воды составляет в среднем по НПЗ 90 %);
- повторного использования сточных вод после очистки (в результате оборотного водоснабжения и вторичного использования сточных вод забор воды из водных объектов снижается в 15-25 раз по сравнению с прямоточным водоснабжением, при этом значительно сокращается сброс загрязненных сточных вод в водоемы);
- совершенствования технологических процессов (замена используемых в производстве реагентов, внедрение аппаратов воздушного охлаждения, замена барометрических конденсаторов смешения на поверхностные, герметизация оборудования и трубопроводов и др.).

Общие профилактические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду:

- устройство и озеленение площадки;
- планово-предупредительные ремонты технологического оборудования, выполняемые по утвержденным планам-графикам специализированными бригадами предприятия;
- контроль сварных стыков физическими методами;

- гидравлическое испытание трубопроводов, резервуаров и оборудования на прочность и герметичность;
- контролируемый и планируемый слив воды после гидроиспытаний;
- высокие требования к качеству металла труб;
- необходимый запас надежности по толщине стенки труб;

Общие технологические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду:

- покрытие оборудования и трубопроводов антикоррозионной изоляцией;
- защита оборудования от атмосферной коррозии;
- система постоянного контроля регламентированных значений технологических параметров, автоматическое регулирование и система ПАЗ при отклонении от заданных параметров для предупреждения аварийных ситуаций.

2. Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха:

Для того, чтобы снизить выбросы вредных веществ в атмосферу разработки следующие мероприятия:

- применение герметичных аппаратов и трубопроводов под давлением;
- герметичность трубопроводов за счет максимального соединения элементов трубопроводов сваркой;
- применение технологического оборудования и запорно-регулирующей арматуры в соответствии с рабочими параметрами процесса и коррозионной активностью среды;
- установка оборудования для рециркуляции отработанных и дымовых газов в промышленности и отдельных частных случаях;
- внедрение современных технологий в процесс переработки отходов и более эффективной добычи, обработки и использования добытых ресурсов и материалов;
- разработка очистительных систем для выхлопных газов;
- использование топлива, сырья и материалов с минимальным выбросом вредных веществ;
- сброс реагента и продукта от предохранительных клапанов направляется в резервуары;
- оборудование резервуаров надежными и эффективными не примерзающими предохранительными клапанами;
- хранение нефти в резервуарах предусмотрено под «азотной подушкой»;
- предусмотрены насосы с двойными торцевыми уплотнениями;

- сбор утечек от насосов технологического оборудования предусмотрен в емкости закрытой дренажной системы опасных стоков;
- непрерывный контроль загазованности в местах максимально возможных выделений углеводородов.

Нормативной основой управления охраной атмосферного воздуха является показатель его качества. Для определения этой величины и сравнения ее с установленными стандартами, определяют предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ — допустимое значение загрязняющего химического соединения, содержащегося в воздухе, которое не влияет негативно на живые организмы. Необходимо проводить периодический контроль максимально разовой ПДК не реже 1 раза в квартал (для веществ III, IV классов опасности), не реже 1 раза в месяц (для веществ II класса опасности).

3. Основные мероприятия по охране почв:

С целью защиты почв при эксплуатации месторождения предусмотрены следующие мероприятия:

- выполнение строительных работ исключительно в пределах монтажной площадки;
- организация площадок для сбора и хранения отходов производства и потребления;
- сдача отходов производства и потребления осуществляется в специализированную организацию.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных чрезвычайных ситуаций на объекте:

1. Пожарная и взрывная опасность:

ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» - предприятие пожаровзрывогазопасное, поэтому вопросы обеспечения пожарной и газовой безопасности на объекте находятся на особом контроле. [26]

Чтобы свести к минимуму риски возникновения нештатных ситуаций, связанных с возникновением пожаров, предприятие системно осуществляет меры по улучшению противопожарной защиты и проводит следующие мероприятия:

- принимает участие в работе комиссии структурных подразделении и постоянно действующей и пожарно-технической комиссии;
- проверяет наличие и состояние первичных средств пожаротушения;

- проверяет наличие и состояние стационарных средств пожаротушения на закреплённых объектах с пуском воды;
- проводит инструктажи, беседы на противопожарные темы, ПТМ с рабочими и служащими обслуживаемых объектов и подрядных организаций.

Способы и средства пожаротушения

- Установка и компрессорная станция обеспечена следующими средствами пожаротушения: водой, водяным паром, огнетушителями, пожарными ящиками с песком, лопатами.
- В целях пожаротушения предусмотрены паровые пожарные стояки на этажерках колонн, паровой стояк имеет присоединительный штуцер для подключения шланга, из расчета обслуживания каждым стояком площади радиусом не менее 15 метров.
- С целью снижения температуры и предохранения конструкций и аппаратов от разрушения при пожаре на Р-201, К-201, К-202/1 предусмотрены кольца орошения водой и лафетные стволы по всей территории установки.
- Первичные средства пожаротушения: ящики с песком и лопаты, противопожарное полотно, огнетушители, паровые шланги. [27]

2. Безопасность при чрезвычайных ситуациях:

В основе мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций и уменьшению возможных потерь и ущерба от них лежат конкретные мероприятия научного, инженерно-технического и технологического характера, осуществляемые по видам природных и техногенных опасностей и угроз. [28]

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты.

На производстве основными мероприятиями по предупреждению чрезвычайных ситуаций и уменьшению их масштабов в случае возникновения являются:

- планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте;
- заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами или с профессиональными аварийно-спасательными формированиями договоры на обслуживание, а в предусмотренных законом случаях, создавать собственные профессиональные аварийно-спасательные службы или профессиональные аварийно-

спасательные формирования, а также нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников;

- подготовка к проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ, восстановлению нарушенного производства и систем жизнеобеспечения.

3. Индивидуальные средства защиты работающих

Работники установки в качестве защитной одежды от воздействия нефтепродуктов, химических реагентов, тепла оборудования должны применять индивидуальную спецодежду: хлопчатобумажные костюмы, рукавицы, защитные приспособления, защитные очки, каску, резиновые технические перчатки, специальная обувь, не дающую искру. [29]

Весь обслуживающий персонал установки обязан иметь на рабочем месте фильтрующий противогаз с комбинированным фильтром, защищающий органы дыхания от паров углеводородов и газов, указанных на корпусе фильтрующего элемента.

Через каждые три месяца противогазы проверяются в лаборатории газоспасательной службы. Индивидуальные фильтрующие противогазы должны храниться в специальных шкафах с ячейками. Передача противогаза одним лицом другому – запрещается.

На установке должны находиться шланговые противогазы марок ПШ-1, ПШ-2, изолирующие воздушно-дыхательные аппараты «ИВА-24М», «AirGo pro» и ШССВ (шланговая система сжатого воздуха), которые применяются при содержании кислорода в воздухе менее 17% объемных, и содержании вредных паров и газов более 0,5% объемных, а также при работе внутри емкостей, аппаратов, в колодцах, лотках, прямках и аналогичных местах.

При проведении периодически повторяющихся газоопасных работ применять необходимые средства индивидуальной защиты органов дыхания (фильтрующий, изолирующий противогазы) в соответствии с цеховым перечнем газоопасных работ.

Кроме индивидуальных противогазов на установке в специальном опломбированном шкафу должен храниться аварийный комплект СИЗОД:

- фильтрующих противогазов - в количестве, обеспечивающем наибольшую по численности работающую смену (бригаду), но не менее трёх с комбинированным фильтром и набором шлем-масок всех размеров;
- шланговых противогазов ПШ-1 - не менее двух комплектов с набором шлем-масок всех размеров к каждому комплекту;
- воздушно-дыхательных аппаратов – не менее 2-х комплектов.

Вывод по разделу

В данном разделе были подробно разобраны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности сотрудников для проектирования оптимально комфортной рабочей зоны, проведен анализ опасных производственных факторов. Также были рассмотрены основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса в соответствии с нормативными документами.

Улучшение условий труда, повышение его безопасности влияет на результаты производства - на производительность труда, количество и себестоимость выпускаемой продукции. Улучшение условий труда приводит к социальным результатам - улучшению здоровья трудящихся, повышению степени удовлетворенности трудом, укреплению трудовой дисциплины, повышению престижа ряда профессий, росту производственной и общественной активности и улучшению ряда других показателей, характеризующих более высокую степень социального развития трудящихся.

Заключение

В ходе проделанного проекта был рассчитан теплообменник с линзовым компенсатором для осуществления теплообмена между легким газойлем и вакуумным дистиллятом. Была обоснована технологическая схема.

В технологическом расчете был составлен тепловой баланс теплообменника. Рассчитаны коэффициенты теплоотдачи, коэффициенты теплопередачи. После чего была рассчитана требуемая поверхность теплообмена. На основании поверхности был выбран нормализованный теплообменник со всеми его конструктивными параметрами.

Исходя из свойства сред, которые протекают в аппарате, и параметров теплообмена было подобрано оптимальное исполнение по материалам теплообменника.

Исходя из выбора данных материалов и геометрических данных теплообменника, был произведен расчет механической прочности, жесткости и устойчивости, как в целом аппарата, так и отдельных элементов, узлов фланцевого соединения с распределительной камерой, днищем и крышкой. Было выяснено, что рассчитанная позже выбранная толщина стенок сосуда, толщина штуцеров обеспечивает укрепление отверстий. В результате расчета трубной решетки, кожуха, труб на прочность и жесткость, была выбрана толщина трубной решетки 44 мм.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены все возможные опасные и вредные факторы, которые возникают при разработке, изготовлении и эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника. Были рассмотрены мероприятия по обеспечению минимального воздействия производственных факторов на рабочего, а также на окружающую среду.

Список использованной литературы

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1987 г. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.
2. ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.
3. Лещинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
4. Сталь 09Г2С. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/stal-09g2s.html>
5. АТК 24.218.06-90. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.
6. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2017. – 26 с.
7. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры
8. 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.: Изд-во стандартов, 2017. — 44 с.
9. ГОСТ 34233.4-2017. Расчет фланцевых соединений. - Введ. 2009- 15.12. – М.: Стандартиформ, 2017. –40с.
10. ГОСТ Р 54432-2011. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление от PN1 до PN200. Конструкция, размеры и общие технические требования.
11. ГОСТ 34233.3-2017. Укрепление отверстий. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2017. -29 с
12. ГОСТ 34233.7-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. М.: Изд-во стандартов, 2017. — 50 с.
13. ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартиформ, 2017-38с.
14. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов.

15. 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. Криницина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

16. "Трудовой кодекс Республики Казахстан" от 23.11.2015 № 414 - V (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2019 г.). Статья 179. Государственное регулирование в области безопасности и охраны труда // Официальный сайт компании «Онлайн.закон» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=38910832&doc_id2, дата обращения – 19.04.19.

17. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

18. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. 2018.

19. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1). - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

20. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ПБ 03-576-03.

21. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

22. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

23. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

24. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.

25. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.// Портал нормативных документов. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.lenprom.spb.ru/files/documentation/83.pdf>, дата обращения - 19.04.19.

26. Социальная политика ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.pnhz.kz/social_policy/, дата обращения - 19.04.19.

27. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации URL: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2107/ , дата обращения - 19.04.19.

28. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

29. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.