

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление 18.03.01 Химическая технология Машина и аппараты химических производств
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчёт кожухотрубного теплообменника участка подготовки нефти

УДК 665.62.021.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Сайдалиев Дилмуроджон Шавкатжон угли		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые математические и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности. собственности.	Требования ФГОС (ОК1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Активно ладеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)

	профессиональной деятельности.	
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

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

В форме:

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

Группа	ФИО
4Г6Б	Сайдалиеву Дилмуроджону Шакатжон угли.

Расчет кожухотрубного теплообменника участка подготовки нефти

27.02.2020., № 58-47/c

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

(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, влияющая на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Кожухотрубчатый теплообменник.
Производительность по теплоносителю в
отопительной системе: 15,4 т/сутки;
Поверхность теплообмена: 6,7 м²;
Теплоносители:
Холодный – вода: tн=54 °С, tк=70 °С;
Горячий - подтоварная вода: tн.гр.воды=77 °С;
Давление в трубном пространстве: 0,1 МПа;
Давление в межтрубном пространстве: 0,1 МПа;
Исполнение по материалу 12X18H10T.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат; Введение; Обзор литературы; Объект и метод исследования; Расчет кожухотрубного теплообменника; Подбор теплообменной установка; Технологический расчет; Гидравлический расчет; Конструктивный расчет теплообменника; Механический расчет теплообменника; Определение толщины тепловой изоляции; Подбор опор аппарата; Результаты исследования; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность; Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1-Технологическая схема А1 Лист 2-Сборочный чертеж А1 Лист 3-Чертеж опор А1</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Механический расчёт оборудования</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Реферат</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ Н.М. Кижнера</p>	<p>Тихонов Виктор Владимирович</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4Г6Б</p>	<p>Сайдалиев Дилмуроджон Шавкатжон угли</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Сайдалиев Дилмуроджон Шавкатжон угли

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Сайдалиев Дилмуроджон Шавкатжон угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Сайдалиеву Дилмуроджону Шавкатжон угли

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

Тема ВКР:

Расчет кожухотрубного теплообменника участка подготовки нефти	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования – является кожухотрубчатый теплообменник для нагрева воды.</i></p> <p><i>Область является применения – химическая промышленность участка подготовки нефти</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i></p> <p><i>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</i></p>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <p><i>Повышения уровень вибрации</i></p> <p><i>Повышенный уровень шума</i></p> <p><i>Опасные факторы:</i></p> <p><i>Электрический ток</i></p> <p><i>Повышенная температура поверхности оборудования</i></p>
3. Экологическая безопасность:	<p><i>Вредные вещества используемые в исследовании воздействуют на атмосферу, загрязняя её выбросами газов</i></p> <p><i>Загрязнённый насыщенный пар конденсируясь загрязняет водные стоки, что в свою очередь приводит к загрязнению гидросферы</i></p> <p><i>Так как в научном исследовании</i></p>

	<i>отсутствуют твёрдые отходы производства, загрязнение литосферы отсутствует.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>В качестве возможных чрезвычайных ситуаций для производства определены: пожар, взрыв, химическая авария. В качестве наиболее типичной ЧС выбран пожар</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Сайдалиев Д.Ш.		

Реферат

Дипломный проект состоит из графической части, представленной на 3 листах формата А1 и пояснительной записки. Пояснительная записка содержит 137 листов формата А4, 13 рисунков и 18 таблицы. Пояснительная записка выполнена в среде Microsoft office Word, с использованием РТС Mathcad 15.0. Графический материал выполнен с использованием программного обеспечения КОМПАС 3D V15.

Ключевые слова: установка предварительного сброса воды, кожухотрубчатый теплообменник, пластовая вода, электроэнергия, водонефтяная эмульсия.

Цель работы: сокращение затрат на электроэнергию путем внедрения кожухотрубчатого теплообменника пластовая вода-вода.

В дипломном проекте рассмотрены основные проблемы УПСВ-8, связанные с электропотреблением, и предложены пути их решения.

В разделе «Анализ технических и технологических проблем УПСВ-8» выявлена и охарактеризована основная проблема энергосбережения.

В разделе «Расчет кожухотрубчатого теплообменника» содержится технологический, конструктивный и механический расчеты теплообменника.

В разделе «социальная ответственность» рассмотрены вопросы обеспечения безопасной работы персонала, производственной санитарии и охраны окружающей среды.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведен анализ эффективности внедрения теплообменной установки.

Abstract

The graduation project consists of a graphic part, presented on 3 sheets of A1 format and an explanatory note. The explanatory note contains 137 sheets of A4 format, 13 figures and 18 tables. Explanatory note completed in Microsoft office Word using PTC Mathcad 15.0. The graphic material is made using the KOMPAS 3D V15 software.

Key words: installation of preliminary water discharge, shell-and-tube heat exchanger, formation water, electricity, oil-water emulsion.

Purpose of work: reduction of energy costs by introducing a shell-and-tube heat exchanger of formation water-water.

In the graduation project, the main problems of UPSV-8 related to power consumption are considered, and ways to solve them are proposed.

In the section "Analysis of technical and technological problems of UPSV-8" the main problem of energy saving is identified and characterized.

In the section "Calculation of shell-and-tube heat exchanger" contains technological, structural and mechanical calculations of the heat exchanger.

The section "Social Responsibility" discusses the issues of ensuring the safe work of personnel, industrial sanitation and environmental protection.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving", an analysis of the effectiveness of the introduction of a heat exchange installation is carried out.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применимы следующие термины с соответствующими определениями:

Пластовая вода: вода, которая находится в нефтяном пласте

Теплообмен: процесс передачи теплоты от менее нагретых тел к более нагретым.

Ресурсоэффективность: способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом экономить возможности или ресурсы.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	16
2 Объект и методы исследования	22
3 Расчетная часть.....	23
3.1 Расчет кожухотрубного теплообменника	23
3.1.1 Расчет тепловых потерь.....	23
3.2 Подбор теплообменной установки	25
3.3 Технологический расчет.....	26
3.3.1 Определение толщины тепловой изоляции	35
3.4 Гидравлический расчет.....	36
3.4.1 Расчет диаметров патрубков	36
3.4.2 Расчет мощности для перекачки пластовой воды.....	37
3.4.3 Расчет мощности для перекачки циркуляционной воды.....	41
3.5 Конструктивный расчет теплообменника.....	43
3.5.1 Расчет толщины стенки корпуса аппарата.....	45
3.5.2 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)	48
3.5.3 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлениях	50
3.6 Механический расчет теплообменника.....	72
3.6.1 Определение температурных деформаций	73
3.6.2 Расчет толщины трубной решетки	76
3.6.3 Расчет развальцовочного соединения	78
3.6.4 Расчет фланцевого соединения	80
3.7 Подбор опор аппарата.....	90
4 Результаты исследования	93
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	101
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований...101	
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования. Сегментация рынка	102
5.1.2 Оценка перспективности разработки	103
5.1.3 SWOT-анализ разработки.....	105
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	108
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	108
5.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ.....	109
5.3 Бюджет научно-технического исследования.....	115
5.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ	115

5.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	117
5.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	119
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	119
5.4 Накладные расходы и формирование бюджета	121
5.4.1 Оценка научно-технического эффекта разработки.....	121
6. Социальная ответственность.....	124
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	124
6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	124
6.1.2 Эргонометрические требования к правильному расположению и компоновки рабочей зоны.	125
6.2 Производственная безопасность.....	126
6.2.1 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника	126
6.2.1.1 Повышенный уровень вибрации.....	127
6.2.1.2 Повышенный уровень шума	127
6.2.1.3 Электрический ток	127
6.2.1.4 Повышенная температура поверхности оборудования	128
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия вредных и опасных факторов.	128
6.3 Экологическая безопасность	130
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	132
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	132
6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению типовой ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	133
Заключение	135
Список использованной литературы.....	136

Введение

В современном мире статья расходов за отопление занимает одну из наибольших, а если отопление помещения происходит за счет электроэнергии, то всплывает проблема энергосбережения. Вследствие этого стоит отметить, что проблема, связанная с экономией ресурсов, будь то проблема энергосбережения, либо ресурсосбережения, существует и является актуальной. Ведь все мы знаем, чтобы отапливать помещения, нужно затрачивать определенные ресурсы, такие как уголь, газ, древесина. А все эти перечисленные ресурсы являются исчерпаемыми.

В настоящее время существует ряд альтернативных источников энергии, а также установок, позволяющих извлекать из этих источников энергию. Но, к сожалению, не везде такие установки могут быть применимы. Например, монтаж тепловых насосов в северных широтах Российской Федерации будет экономически нецелесообразным, хотя в Европе это достаточно популярный способ отопления помещений. Также существуют такие альтернативные источники энергии как энергия ветра, энергия солнца, энергия приливов и отливов, геотермальная энергия и энергия биомасс.

Мною был рассчитан теплообменник на установке подготовки нефти нагревающий воду с температурой 54°С до 70°С. Но, к сожалению, тепло от этой нефти впустую уходит в атмосферу и нигде не используется.

В данной работе предлагается решение имеющейся проблемы путем внедрения теплообменной установки, которая известна человеку достаточно давно. Такая установка позволит использовать тепловую энергию недр Земли: тепловую энергию добываемой нефти, в целях отопления помещений на объектах УПНиГ. Применение такого альтернативного способа обеспечит не только экономию природных ресурсов, в данном случае электричество, вырабатываемое из этих самых ресурсов, но и существенно сократит расходы по данной статье, что говорит о несомненной практической значимости работы, а также об её экономической целесообразности.

Целью данной бакалаврской работы является, уменьшение расходов на электропотребление путем внедрения теплообменной установки «пластовая вода-вода».

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- расчет тепловых потерь помещений, нуждающихся в отоплении;
- подбор и расчет теплообменной установки для передачи тепла от пластовой воды к циркуляционной воде.
- Расчет экономического эффекта до и после внедрения теплообменной установки.

Поставленные задачи будут решаться с помощью теоретического исследования, а также при помощи компьютерной программы MathCad.

1 Обзор литературы

Энергия это важнейшая составляющая всего, что нас окружает. Без энергии не было бы ничего. Для зарождения планеты нужна была энергия, для появления жизни на Земле также нужна была энергия, для появления всего живого и неживого на Земле нужна энергия, для поддержания жизни на планете нужна энергия. Повторюсь, энергия это важнейшая составляющая окружающего нас мира. И сегодня человек должен искать источники энергии и использовать их так, чтобы поддерживать жизнь на Земле.

Еще издревле человек нашел примитивные источники энергии – древесина. Сжигая древесный материал, человек, не зная того, получал тепловую энергию для того, чтобы согреться и приготовить пищу. С эволюцией человек находил новые источники энергии, научил конвертировать их в разные виды энергии, научился изготавливать из них различные предметы для жизнедеятельности.

И сегодня в XXI веке человек использует такие основные источники энергии как: древесина, уголь, газ, нефть, вода[1]. Но, к сожалению, все эти источники в своем роде являются невозобновляемыми. Точнее, возобновляемыми, но на их возобновление понадобится не один миллион лет. Поэтому человечеству уже пора задумываться о том, какие альтернативные источники энергии могут впоследствии, а возможно, уже и сегодня заменить все вышеперечисленное сырье.

Вследствие описанной выше проблемы в данной работе предлагается частично заменить использование электроэнергии на установке предварительного сброса воды (УПСВ) альтернативным источником: за счет тепла добываемой на объекте нефти отапливать производственные и непроизводственные помещения. На сегодняшний день тепло от добываемой нефти просто уходит в атмосферу, хотя могло применяться по назначению. За счет этого возможна экономия как источников энергии, так и средств, затрачиваемых на электроэнергию.

Но также существуют и другие альтернативные источники энергии, которые также можно применить на объекте: энергия солнца, энергия ветра, энергия биомасс, геотермальная энергия, энергия приливов и отливов [2].

Рассмотрим энергию солнца. Сегодня становится достаточно популярным использовать энергию солнца для выработки электроэнергии. Уже достаточно давно изобретены солнечные батареи, которые за счет генерации солнечного света в электрический ток могут обеспечить нас электроэнергией. При чем, не имеет значения температура окружающего воздуха, важно, чтобы светило солнце. Чем менее облачно на улице, тем больше будет сгенерировано электроэнергии. Учитывая тот фактор, что УПСВ располагается в северных широтах, то эффективность солнечных батарей будет выше, так как температура окружающего воздуха достаточно низкая, вследствие чего происходит естественное охлаждение батарей, что необходимо для их работы. Но также стоит учесть тот фактор, что время пребывания солнца в данных широтах также меньше. Что касается осадков, то они не оказывают негативного влияния на эффективность работы солнечных батарей. Обслуживание таких батарей также не представляет особых навыков и знаний. Необходимо регулировать угол наклона батарей, а также следить за чистотой поверхности фотоэлементов. Учитывая все плюсы и минусы данного способа получения энергии, следует отметить, что данный способ имеет место быть [3].

Далее рассмотрим способ получения энергии от ветра. В примере, описанном ранее, использовались специальные батареи. В данном случае используют ветрогенераторы. Принцип его действия заключается в следующем: сила ветра приводит в действие лопасти, которые в свою очередь заставляют вращаться ротор через специальный привод. А благодаря наличию статорной обмотки, механическая энергия превращается в электрический ток. Аэродинамические особенности винтов позволяют быстро крутить турбину генератора. Итак, рассмотрим положительные и отрицательные стороны данного способ получения энергии. Начнем с того,

что ветрогенераторы абсолютно безопасны и экологичны. Ветрогенератор мощностью в 20кВт может обеспечить электроэнергией небольшой посёлок, базу отдыха или даже завод. Его устройство достаточно просто, потребность в заправке топливом отсутствует, никакого накопления отходов не происходит, а срок эксплуатации достаточно большой. Но, к сожалению, у таких установок также есть и минусы: мы пока не можем контролировать природу и ветер, вследствие чего мы не сможем обеспечить постоянный воздушный поток. Данный фактор определяющий и может сказаться на продуктивности ветрогенератора. Учитывая тот момент, что объект, нуждающийся в электроэнергии, располагается в нежилой местности и в тех широтах, где ветра преобладают довольно большую часть времени, то такая установка вполне удовлетворит объект в потребности электроэнергии [4].

Следующий способ получения электроэнергии – энергия биомасс. Суть данного способа заключается в том, что в специальных печах сжигаются бытовые отходы и за счет выделения тепловой энергии происходит генерация этой энергии в электрическую. Сразу отмечу, что данный способ нам не подходит, так как количество образующихся отходов не сможет обеспечить необходимое получение электроэнергии, а сам способ является экологически небезопасным [5].

Способ получения электроэнергии за счет энергии приливов и отливов также не подходит для нашей местности, так как объект располагается в северных широтах, а также поблизости не имеется морей. Но сам способ как альтернативный источник энергии имеет место быть и в других, более приспособленных местностях, может существенно сэкономить средства на расходы за электроэнергию [2].

И еще один источник альтернативного источника энергии – геотермальная энергия или простыми словами тепловая энергия земли. Данный источник энергии является неисчерпаемым и восстанавливаемым. Тепловая энергия находится во внешней среде, что является практически неограниченным резервуаром для передачи тепла. Данный вид энергии

передают при помощи тепловых насосов. Существует множество теорий о том, насколько эффективны и выгодны тепловые насосы. Но рассмотрим этот момент с точки зрения возобновляемости ресурсов и экологичности. Как уже было сказано, тепловая энергия Земли – неограниченный источник энергии и перенос такой энергии до человека является безопасным и экологичным. Но что касается экономической выгоды и целесообразности использования такого рода источника, то сразу отметим, что применение таких насосов в северных широтах Земли нецелесообразно. Монтаж теплового насоса со всеми его составляющими обойдется в 10-12 раз дороже привычной системы отопления с применением классического котла. Окупаемость же тепловых насосов в данной местности составит не менее 12-15 лет. Стоит отметить, что если все же тепловой насос установлен в районах крайнего севера, то максимальная температура, до которой он сможет нагреть помещение, составит 10-12°C, что недостаточно. Следовательно, придется применять комбинированный способ отапливания помещений, что также будет приносить дополнительные расходы. В связи с вышеизложенным сделаем вывод о том, что применение тепловых насосов нерационально, а также неприемлемо для нашей местности [6].

В результате анализа альтернативных способов получения энергии пришли к выводу, что выбранный нами способ отапливания помещений будет более эффективным, рациональным и экономически выгодным.

Далее рассмотрим теплообменные установки, наиболее приемлемые для таких условий работы.

Есть ряд основных теплообменников, которые применяются в современной промышленности: кожухотрубчатые, труба в трубе, змеевиковые, пластинчатые. Далее рассмотрим их преимущества и недостатки [7].

Рассмотрим змеевиковые теплообменники. Теплообменники данного типа используют в основном в химической промышленности для теплообмена между средами, одна из которых находится под давлением.

Змеевики могут быть изготовлены из полутруб и уголков. Сам же змеевик погружен в сосуд с жидкой рабочей средой. Другая жидкость или газообразная среда под давлением пропускается по трубам. Теплообменники данного типа характеризуются хорошей способностью к самокомпенсации температурных напряжений и низким гидравлическим сопротивлениям. Основной их недостаток это сложность изготовления и монтажа [7].

Следующий тип теплообменника труба в трубе. Такие теплообменники могут быть как разборными, так и неразборными, одно- и многопоточные. Очень хорошо подходят для теплообмена между такими средами, как жидкость-жидкость. Конструкция разборного многопоточного теплообменника «труба в трубе» напоминает кожухотрубчатый теплообменник типа У. Многопоточные теплообменники имеют два хода по внутренним трубам и два – по наружным. Аппараты изготавливают на условное давление 2,5 и 4 МПа [7].

Пластинчатые теплообменники отличаются высоким коэффициентом теплопередачи. Однако они весьма прихотливы в обслуживании и далеко не со всеми средами могут эксплуатироваться. Теплоносители должны быть без механических примесей, так как расстояние между пластинами достаточно мало, что может приводить к скорому засорению каналов. Также резиновые уплотнения между пластинами достаточно быстро могут терять свои свойства, что приводит к частым остановкам аппарата для замены резиновых уплотнений. Также при пуске пластинчатого теплообменника в работу следует обращать внимание на давление, так как при резком пуске возможна деформация пластин, что приведет к поломке агрегата. В целом, пластинчатые теплообменники просты в эксплуатации и обслуживании [7].

Кожухотрубчатые теплообменники наиболее часто применяются в современной промышленности, так как они наиболее просты по конструкции, неприхотливы к теплоносителям, а также легко ремонтируются и обслуживаются. Кожухотрубчатые теплообменники в свою очередь также подразделяются на несколько подвидов: с неподвижной

трубной решеткой (ТН), с температурным компенсатором (ТК), с плавающей головкой (ТП), с у-образными трубками (ТУ). Теплообменники типа ТК и ТП применяются в тех случаях, когда теплоносители имеют высокую температуру, вследствие чего возможно температурное расширение металла корпуса аппарата и трубного пучка. Преимущество агрегатов типа ТУ заключается в том, что возможен демонтаж корпуса агрегата для очистки трубного пучка от загрязнений. Наиболее простую конструкцию имеет теплообменник типа ТК. Он применяется в основном тогда, когда теплоносители не имеют высоких температур, а также превышенных механических примесей [7].

2 Объект и методы исследования

Необходимо оптимизировать энергосбережение на установке предварительного сброса воды. Решением данной проблемы является внедрение теплообменной установки, необходимой для теплообмена между горячим теплоносителем (пластовая вода) и холодным теплоносителем (циркуляционная вода).

Для определения типа и размеров установки, а также ее рабочих параметров будут произведены расчеты в программе MathCad, а также графический редактор КОМПАС 3D.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет кожухотрубного теплообменника

3.1.1 Расчет тепловых потерь

Примем средний показатель потерь на 1 м² 100 Вт, при условии, что наше помещение располагается в северных широтах Сибири, то увеличиваем этот показатель на 30%.

$$q_{\text{пот}} := 130 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Учитывая площадь помещения, вычислим условное количество теплотерь для всего дома:

$$S_1 = 0.000012 \text{ м}^2 - \text{площадь}$$

$$Q_{\text{пот}} := q_{\text{пот}} \cdot S_1 = 1.56 \times 10^4 \text{ Вт} \quad (1)$$

Далее, для подбора теплообменной установки необходимо определить расход теплоносителя в системе отопления. Примем следующие значения:

$$c_{\text{воды}} := 4182 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} - \text{удельная теплоемкость воды}$$

Принимаем температуру обратки (начальную) 54°C и температуру подачи (конечную) 70°C.

$$t_{\text{обр}} := 54 ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{под}} := 70 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t := t_{\text{под}} - t_{\text{обр}} = 21 ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Исходя из имеющихся данных, можно рассчитать необходимый расход теплоносителя в системе отопления:

$$G_{\text{воды}} := \frac{Q_{\text{пот}}}{c_{\text{воды}} \cdot \Delta t} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (3)$$

С учетом прочих издержек, можно сделать вывод о том, что установка теплообменного оборудования экономически целесообразна.

3.2 Подбор теплообменной установки

Для подбора соответствующего теплообменного оборудования необходимо осуществить технологический расчет теплообменника, а затем по соответствующим ГОСТам подобрать стандартизированные размеры теплообменного оборудования. Расчет будет произведен для кожухотрубчатого теплообменника, исходя из следующих его преимуществ:

- Простота изготовления
- Простота обслуживания и чистки
- Возможность использования теплоносителей с механическими примесями
- Относительно высокий коэффициент теплоотдачи
- Большая поверхность теплообмена
- Относительно высокий срок службы

3.3 Технологический расчет

Исходя из темы работы, теплоносителями теплообменной установки должны служить подтоварная вода (вода, отделенная от нефти) и сама нефть. Но учитывая тот факт, что нефть все-таки пожароопасное вещество, то в системе отопления будет циркулировать чистая водопроводная вода, подогретая как раз подтоварной водой.

Исходные данные:

Хладагент - вода:

$G_{\text{воды}} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ - расход теплоносителя в отопительной системе;

$t_{\text{н.воды}} := 54^\circ\text{C}$ - температуры воды на обратке;

$t_{\text{к.воды}} := 70^\circ\text{C}$ - температура воды на выходе;

$P_{\text{воды}} := 0.1 \text{ МПа}$ - давление воды в системе;

$c_{\text{воды}} = 4.182 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ - теплоемкость воды;

$t_{\text{н.гр.воды}} := 77^\circ\text{C}$ - температура подтоварной воды на входе;

$G_{\text{гр.воды}} := 1 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ - расход подтоварной воды;

$c_{\text{гр.воды}} := 4056 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ - теплоемкость воды

Определим тепловую нагрузку в соответствии с заданными технологическими условиями. Так как агрегатное состояние теплоносителя не изменяется, то:

$$Q_{\text{воды}} := G_{\text{воды}} \cdot c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{н.воды}} - t_{\text{к.воды}}) = -1.189 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (4)$$

Также при передачи тепла возможны его потери в пределах 3-5%:

$$Q_{\text{п}} := 0.05 \cdot Q_{\text{воды}} = -594.286 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (5)$$

Суммарная тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_{\text{воды}} + Q_{\text{п}} = -1.248 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (6)$$

Найдем конечную температуру подтоварной воды:

$$|G_{\text{воды}} \cdot c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{н.воды}} - t_{\text{к.воды}})| = |G_{\text{гр.воды}} \cdot c_{\text{гр.воды}} \cdot (t_{\text{н.гр.воды}} - t_{\text{к.гр.воды}})| \quad (7)$$

$$t_{\text{к.гр.воды}} := t_{\text{н.гр.воды}} - \left| \frac{[G_{\text{воды}} \cdot c_{\text{воды}} \cdot (t_{\text{н.воды}} - t_{\text{к.воды}})]}{(G_{\text{гр.воды}} \cdot c_{\text{гр.воды}})} \right| = 74.07 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

Определение средней разности температур:

$$\Delta t_{\text{б}} := t_{\text{к.гр.воды}} - t_{\text{н.воды}} = 20.07 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{\text{н.гр.воды}} - t_{\text{к.воды}} = 7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = 12.408 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

Средняя температура воды:

$$\Delta t_{\text{ср.воды}} := 0.5 \cdot (t_{\text{н.воды}} + t_{\text{к.воды}}) = 62 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

Средняя температура подтоварной воды:

$$\Delta t_{\text{ср.гр.воды}} := \Delta t_{\text{ср.воды}} + \Delta t_{\text{ср}} = 74.408 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (13)$$

Далее на основании ориентировочной оценки коэффициента теплопередачи приближенно определяем поверхность теплообмена, выбираем конкретный вариант конструкции, а затем проводим уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и требуемой поверхности.

Теплофизические свойства подтоварной воды [8]:

Трубное пространство с индексом "Т"

$$\rho_{\text{Т}} := 965 \text{ кг/м}^3 \text{ - плотность}$$

$$\lambda_{\text{Т}} := 0.58 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \text{ - теплопроводность}$$

$$c_{\text{Т}} := 4056 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \text{ - теплоемкость}$$

$$\mu_T := 0.712 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} - \text{динамическая вязкость}$$

Теплофизические свойства хладагента, табл. XXXIX [9].

Межтрубное пространство с индексом "MT"

$$\rho_{MT} := 983 \text{ кг/м}^3 - \text{плотность}$$

$$\lambda_{MT} := 0.65 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} - \text{теплопроводность}$$

$$c_{MT} := 4182 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - \text{теплоемкость}$$

$$\mu_{MT} := 0.469 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} - \text{динамическая вязкость}$$

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи принимаем по табл.4.8 [9]. При вынужденном движении при теплопередачи от жидкости к жидкости (воде) рекомендуется принимать ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 140-340 Вт/(м²*К).

$$K_{op.min} := 140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{op.max} := 340 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Ориентировочная поверхность теплопередачи:

$$F_{op.max} := \frac{|Q|}{K_{op.min} \Delta t_{cp}} = 7.184 \text{ м}^2 \quad (14)$$

$$F_{op.min} := \frac{|Q|}{K_{op.max} \Delta t_{cp}} = 2.958 \text{ м}^2 \quad (15)$$

Подбираем стандартный кожухотрубчатый теплообменник согласно ТУ [10].

$D := 273 \text{ мм}$ -наружный диаметр теплообменника

$d := 20 \text{ мм}$ - наружный диаметр трубок

$S_{TO} := 6.7 \text{ м}^2$ - поверхность теплообмена аппарата

$L_{\text{раб}} := 1500 \text{ мм}$ - длина трубного пучка

$S_{1\text{хода}} := 0.0136 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения одного хода

$S_{\text{пер}} := 0.0067 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения в вырезе перегородки

$S_{\text{меж.пер}} := 0.0124 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения между перегородками

$N := 69$ - количество труб в трубной решетке

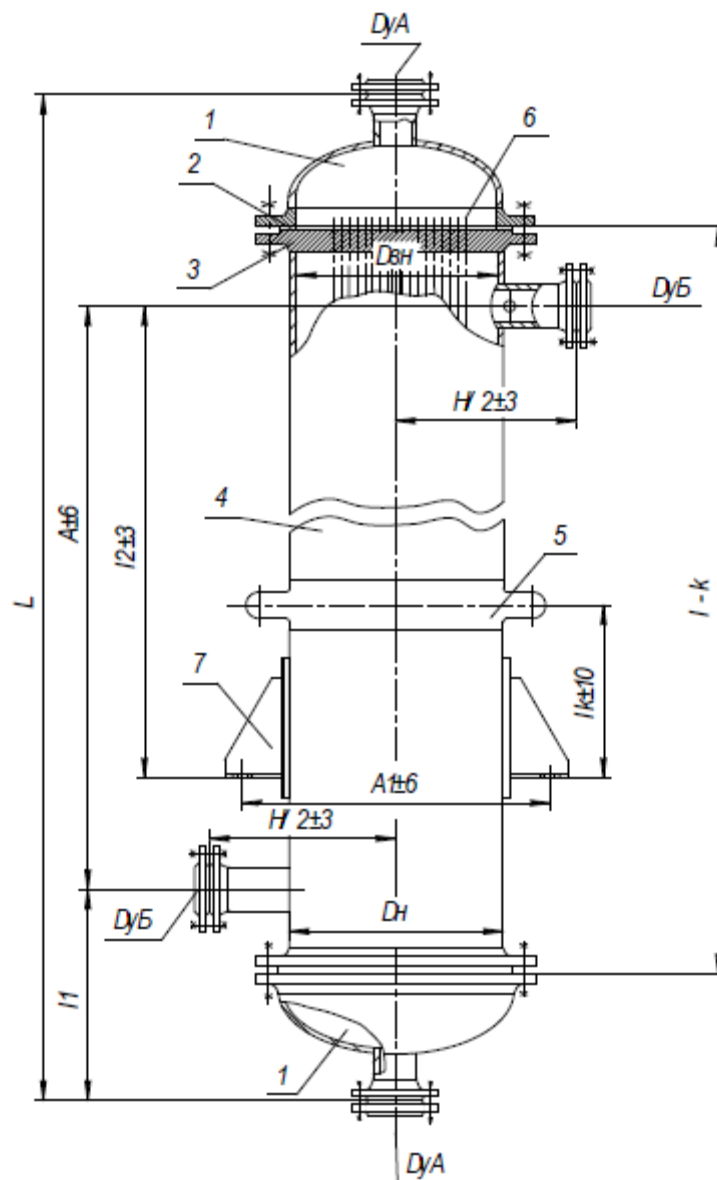


Рисунок 1 – Аппарат типов ТНВ, ТКВ, ХКВ одноходовые по трубам.

Объемные расходы теплоносителей:

$$V_T := \frac{G_{\text{гр.воды}}}{\rho_T} = 1.036 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (16)$$

$$V_{\text{MT}} := \frac{G_{\text{воды}}}{\rho_{\text{MT}}} = 1.807 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (17)$$

Определим скорость и критерий Рейнольдса для трубного пространства (подтоварной воды):

$$\omega_T := \frac{V_T}{S_{\text{хода}}} = 0.076 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (18)$$

$$\text{Re}_T := \frac{\omega_T \cdot \left(\frac{d-4}{1000} \right) \cdot \rho_T}{\mu_T} = 1.652 \times 10^3 \quad (19)$$

Скорость и критерий Рейнольдса для межтрубного пространства (циркуляционной воды):

$$\omega_{\text{MT}} := \frac{V_{\text{MT}}}{S_{\text{меж.пер}}} = 0.015 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (20)$$

$$\text{Re}_{\text{MT}} := \frac{\omega_{\text{MT}} \cdot 0.02 \cdot \rho_{\text{MT}}}{\mu_{\text{MT}}} = 610.881 \quad (21)$$

Для потока в трубах при $\text{Re} < 10000$ значение $t_{\text{CT}2}$ влияет на выбор вида расчетной формулы через посредство произведения GrPr . Зададимся значениями $t_{\text{CT}1}$ и $t_{\text{CT}2}$, исходя из условия $t_2 < t_{\text{CT}2} < t_{\text{CT}1} < t_1$.

$$t_{\text{CT}1} := 76^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{CT}2} := 75^\circ\text{C}$$

а) Коэффициент теплоотдачи для воды ($Re_{MT}=611$)

При смывании потоком трубного пучка, шахматном расположении труб, $Re < 1000$ применяется следующее соотношение [9]:

$$Nu = 0.56 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot Re^{0.5} Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0.25} \quad (22)$$

Применительно к кожухотрубчатым теплообменникам с поперечными перегородками в вышеупомянутой формуле применяют коэффициент $\varepsilon_{\phi} = 0.6$, учитывая, что теплоноситель в межтрубном пространстве лишь часть пути движется поперек труб и под углом атаки, меньшем 90° , кроме того, он может протекать через щели между перегородками и кожухом или трубами[9].

$$\varepsilon_{\phi} := 0.6$$

$$Pr := 9.3$$

Критерий Прандтля для воды при температуре 20°C [9].

Критерий Прандтля для подтоварной воды при температуре t_{CT1} :

$$Pr_{CT.1} := \frac{c_T \cdot \mu_T}{\lambda_T} = 4.979 \quad (23)$$

Тогда

$$Nu_{1.} := 0.56 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot Re_{MT}^{0.5} Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{CT.1}} \right)^{0.25} = 21.667 \quad (24)$$

$$\alpha_1 := \frac{Nu_{1.} \cdot \lambda_{MT}}{0.016} = 880,221 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (25)$$

б) Коэффициент теплоотдачи для подтоварной воды ($Re_T=1652$)

Для выбора расчетной формулы определим произведение ($GrPr$) при средней температуре пограничного слоя [9]:

$$t_2 := 0.5(t_{cT.2} + t_{к.гр.воды}) = 74.535 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (26)$$

$$x := (0 \ 20)^T$$

$$y := (0.36 \ 0.41)^T$$

$$\beta_2 := (\text{interp}(x, y, t_2)) = 0.546 \text{ } K^{-1} \text{ по табл. XXXIII [9].} \quad (27)$$

Критерий Прандтля:

$$Pr_2 := \frac{\mu_T \cdot c_T}{\lambda_T} = 4.979 \quad (28)$$

$$g := 9.8 \frac{M}{c^2}$$

$$Gr_2 := \frac{g \cdot 0.016^3 \cdot \rho_T^2 \cdot \beta_2 \cdot (t_{cT.2} - 15)}{\mu_T} = 2.417 \times 10^9 \quad (29)$$

$$Pr_2 \cdot Gr_2 = 1.203 \times 10^{10} \quad (30)$$

По таблице 4.4 [9] определяем расчетную формулу нахождения критерия Nu .

Так как у нас протекает процесс нагревания, то принимаем [9]:

$$n := 0.14$$

$$Nu_2 := 0.022 \cdot Re_T^{0.8} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu_T}{\mu_T} \right)^n = 15.695 \quad (31)$$

$$\alpha_2 := \frac{Nu_2 \cdot \lambda_T}{0.016} = 568.947 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (32)$$

Принимаем:

$r_1 := 1860$ - тепловая проводимость загрязнений со стороны подтоварной воды по табл. XXXI [9].

$r_2 := 2900$ - тепловая проводимость загрязнений со стороны воды среднего качества по табл. XXXI [9].

Толщина труб 2 мм, материал - нержавеющая сталь; $\gamma_{\text{ст}}=17,5$ Вт/(м²*К). Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений (термическим сопротивлением со стороны подтоварной воды можно пренебречь):

$$l_{\text{ст}} := 0.002 \text{ м}$$

Найдем общее термическое сопротивление:

$$R_{\text{шт}} := \frac{1}{r_1} + \frac{l_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_2} = 9.967 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (33)$$

Коэффициент теплопередачи:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + R_{\text{шт}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (34)$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{\text{шт}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 235.546 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (35)$$

Расчетная поверхность теплопередачи:

$$F_p := \frac{|Q|}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 4.27 \text{ м}^2 \quad (36)$$

Рассчитаем запас поверхности теплообмена, согласно принятому нами теплообменнику:

$$\Delta F := \frac{S_{\text{То}} - F_p}{S_{\text{То}}} \cdot 100 = 36.269 \% \quad (37)$$

Запас поверхности теплообмена нам вполне удовлетворяет.

Оставляем принятый нами теплообменник:

$D = 273 \text{ мм}$ - наружный диаметр теплообменника

$d = 20 \text{ мм}$ - наружный диаметр трубок

$S_{\text{То}} = 6.7 \text{ м}^2$ - поверхность теплообмена аппарата

$L_{\text{раб}} = 1.5 \times 10^3 \text{ мм}$ - длина трубного пучка

$N = 69 \text{ шт}$ - количество труб в трубной решетке

3.3.1 Определение толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду[12].

$t_{сТ2} := 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -температура изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в помещении выбирают в интервале 35-45 градусов

$t_{сТ1} := 62 = 62\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура изоляции со стороны аппарата.

$t_{в} := 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура окружающей среды

$\lambda_{н} := 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, в качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит.

$\alpha_{в} := 9.3 + 0.058 \cdot t_{сТ2} = 11.62 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплопередачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду. (38)

$$\delta_{н} := \frac{\lambda_{н} \cdot (t_{сТ1} - t_{сТ2})}{\alpha_{в} \cdot (t_{сТ2} - t_{в})} = 9.277 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (39)$$

Примем толщину тепловой изоляции 15 мм.

3.4 Гидравлический расчет

3.4.1 Расчет диаметров патрубков

Скорость движения жидкости в патрубках лежит в пределах 0.5-2 м/с.

Посчитаем диаметр патрубка :

$$\omega_1 := 0.5 \text{ м/с}$$

$$d_T := \sqrt{\frac{4 \cdot V_T}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.051 \text{ м} \quad (40)$$

Диаметр патрубка воды

$$\omega_2 := 0.5 \text{ м/с}$$

$$d_{MT} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{MT}}{\pi \cdot \omega_2}} = 0.021 \text{ м} \quad (41)$$

Примем патрубки теплообменника [11]:

Примем патрубки для подтоварной воды :

$$D_{CM} := 0.076 \text{ м, наружный диаметр}$$

$$s_{CM} := 0.0045 \text{ м, толщина стенки}$$

$$d_{CM} := 0.065 \text{ м, внутренний диаметр}$$

$$l_{CM} := 0.25 \text{ м, длина патрубка}$$

$$m := \pi \cdot (D_{CM} - s_{CM}) \cdot s_{CM} \cdot l_{CM} \cdot 7800 = 1.971 \text{ кг} \quad (42)$$

Примем патрубки для воды :

$$D_K := 0.032 \text{ м, наружный диаметр}$$

$$s_K := 0.003 \text{ м, толщина стенки}$$

$$d_K := 0.026 \text{ м, внутренний диаметр}$$

$$l_K := 0.2 \text{ м, длина патрубка}$$

$$m_K := 0.43 \text{ кг, масса патрубка}$$

3.4.2 Расчет мощности для перекачки пластовой воды

$P_{\text{см}} := 0.1$ МПа, давление жидкости

$R_0 := 0.160$ м, радиус изгиба трубопровода

$h_{\text{под}} := 10$ м, высота подъема

$\eta := 0.55$ кпд насоса

$L := 80$ м, длина трубопровода

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.24 [9].

Площадь поперечного сечения:

$$S := \pi \cdot \frac{D_{\text{см}}^2}{4} = 4.536 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (43)$$

Скорость подтоварной воды:

$$\omega_{\text{см}} := \omega_{\text{T}} = 0.076 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{\text{T}} = 965 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{см}} \cdot D_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{T}}}{\mu_{\text{T}}} = 7.849 \times 10^3 \quad (44)$$

Определяем коэффициент трения. По табл. XII [9] шероховатость стальных труб с коррозией $e=0.2$ мм. По рисунку 1.5 [9] находим λ .

$$e := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.031$$

$$\frac{D_{\text{см}}}{e} = 380 \quad (45)$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [9]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_3 := 2 \cdot 0.55 = 1.1 \quad (46)$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105 \quad (47)$$

$$A_\zeta := 1, \text{ т.к. } 90^\circ$$

$$x := (1 \ 2)^T$$

$$y := (0.21 \ 0.15)^T$$

$$B_\zeta := \left(\text{linterp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.144 \quad (48)$$

$$\zeta_4 := A_\zeta \cdot B_\zeta = 0.144$$

$$\text{отвод при } 90^\circ \text{ и } \frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105$$

$$\zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.744 \quad (49)$$

$$g := 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p_{\text{тр}} := 1.8 \left[\rho_T \cdot \left[\omega_{\text{см}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{см}}} \right) \right] + \rho_T \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g \right] = 1.741 \times 10^5 \text{ Па} \quad (50)$$

Далее определим разность давлений на концах трубопровода (удельную потерю механической энергии):

Решение:

Скорость движения подтоварной воды по трубам:

$$N = 69 \text{ шт}$$

$$\omega_{\text{пв}} := \frac{\frac{\omega_{\text{см}}}{\rho_T}}{N \cdot 0.785 \cdot 0.016^2} = 5.694 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (51)$$

N - количество труб в трубной решетке

0.016 - внутренний диаметр труб, м

Значение критерия Рейнольдса:

$$Re_{\text{кр}} := \omega_{\text{ПВ}} \cdot 0.016 \cdot \frac{\rho_T}{\mu_T} = 123.485 \quad (52)$$

Для стальных труб с незначительной коррозией шероховатость $e=0,2$ мм по табл. VIII [9], при этом:

$$d := 16 \text{ мм}$$

$$e := 0.2 \text{ мм}$$

$$\frac{d}{e} = 80$$

По рисунку 1.4 [9] определяем коэффициент трения:

$$\lambda_{\text{трения}} := 0.035$$

Скорость подтоварной воды в штуцерах:

$$\omega_{\text{шт}} := \frac{\frac{G_{\text{гр.воды}}}{\rho_T}}{0.785 \cdot 0.056^2} = 0.421 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (53)$$

Значения коэффициентов местных сопротивлений для кожухотрубчатых теплообменников в трубном пространстве:

Вход в первую камеру и выход из второй камеры $\zeta=1,5$, при одинаковой скорости теплоносителя во входном и выходном штуцерах. Вход в теплообменные трубки и выход из них (для каждого хода $\zeta=1$ при скорости в теплообменных трубках) [9].

$$\zeta_i := 1.5 \cdot \frac{\rho_T \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} + 1.5 \cdot \frac{\rho_T \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} + 1 \cdot \frac{\rho_T \cdot \omega_{\text{шт}}}{2} + 1 \cdot \frac{\rho_T \cdot \omega_{\text{шт}}}{2} = 414.456 \quad (54)$$

$$n_k := 1 \text{ - число ходов в теплообменнике}$$

Потери давления на работу против сил трения в трубах находятся по первому слагаемому формулы:

$$\Delta p_{\text{трубн}} := \lambda_{\text{трения}} \cdot \frac{L}{0.016} \cdot \frac{\rho_T \cdot \omega_{\text{ПВ}}}{2} \cdot n_k + \zeta_i = 895.277 \text{ Па} \quad (55)$$

Потребляемая насосом мощность по уравнению:

$$\Delta p_t := \Delta p_{тр} + \Delta p_{трубн} = 1.75 \times 10^5 \text{ Па} \quad (56)$$

$$N_{см} := \frac{V_T \cdot \Delta p_t}{1000 \eta} = 0.33 \text{ кВт} \quad (57)$$

По табл.3 приложения 1.1 [12] подбираем наиболее подходящий двигатель.

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки X2/25, для которого при оптимальных условиях работы $Q=4.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta_n=0.76$, номинальной мощностью $N_n=1.1 \text{ кВт}$.

3.4.3 Расчет мощности для перекачки циркуляционной воды

Далее производим гидравлический расчет по примеру 1.23 [9].

Площадь поперечного сечения:

$$S := \pi \cdot \frac{(D_K)^2}{4} = 8.042 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (58)$$

Расход циркуляционной воды:

$$G_{\text{воды}} = 0.178 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Объемный расход циркуляционной воды:

$$\rho_{\text{MT}} = 983 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{MT}} = 1.807 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{MT}} = 0.015 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{MT}} \cdot D_K \cdot \rho_{\text{MT}}}{\mu_{\text{MT}}} = 977.41 \quad (59)$$

Определяем коэффициент трения. По табл. XII [9] шероховатость стальных труб с коррозией $e=0.2$ мм. По рисунку 1.5 [9] находим λ .

$$e := 0.0002 \text{ м}$$

$$\lambda := 0.031$$

$$\frac{D_K}{e} = 160$$

Коэффициенты местных сопротивлений из табл. XIII [9]:

$$\zeta_1 := 0.5$$

$$\zeta_2 := 2 \cdot 0.55 = 1.1$$

$$\frac{R_0}{D_{\text{см}}} = 2.105$$

$$\begin{aligned}
A_{\zeta} &:= 1_{\text{т.к. } 90^0} \\
x &:= (1 \ 2)^T \\
y &:= (0.21 \ 0.15)^T \\
B_{\zeta} &:= \left(\text{linterp} \left(x, y, \frac{R_0}{D_{\text{см}}} \right) \right) = 0.144
\end{aligned} \tag{60}$$

$$\begin{aligned}
\zeta_4 &:= A_{\zeta} \cdot B_{\zeta} = 0.144 \\
\text{отвод при } 90^0 \text{ и } \frac{R_0}{D_{\text{см}}} &= 2.105 \\
\zeta &:= \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 1.744
\end{aligned} \tag{61}$$

$$g := 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Общее сопротивление трубы (сети):

$$\Delta p_{\text{тр}} := 1.8 \left[\rho_{\text{т}} \cdot \left[\omega_{\text{см}}^2 \left(1 + \zeta + \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{см}}} \right) \right] + \rho_{\text{т}} \cdot g \cdot h_{\text{под}} + P_{\text{см}} \cdot g \right] = 1.741 \times 10^5 \text{ Па} \tag{62}$$

$$N_{\text{мт}} := \frac{V_{\text{т}} \cdot \Delta p_{\text{тр}}}{1000 \eta} = 0.328 \text{ кВт} \tag{63}$$

По табл.3 приложения 1.1 [12] подбираем наиболее подходящий двигатель.

Центробежный многоступенчатый секционный насос марки Х2/25, для которого при оптимальных условиях работы $Q=4.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta_n=0.76$, номинальной мощностью $N_n=1.1 \text{ кВт}$.

3.5 Конструктивный расчет теплообменника

Определим площадь проходного сечения трубок одного хода, приняв скорость движения жидкости из гидравлического расчета [7]:

$$\omega_T = 0.076 \text{ м/с}$$

$$f := \frac{G_{\text{гр.воды}}}{\rho_T \cdot \omega_T} = 0.014 \text{ м}^2 \quad (64)$$

Диаметр трубок в трубном пучке:

$$d_B := 0.016 \text{ м}$$

$$d_H := 0.02 \text{ м}$$

$$n_1 := \frac{f}{0.785 \cdot d_B^2} = 67.675 \quad (65)$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$F := S_{TO} = 6.7 \text{ м}^2$$

$$\alpha_1 = 670.654$$

$$\alpha_2 = 568.947$$

$$d_p := \begin{cases} d_B & \text{if } \alpha_2 > \alpha_1 \\ d_H & \text{if } \alpha_2 < \alpha_1 \\ 0.5 \cdot (d_B + d_H) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 0.02 \text{ м}$$

$$L_{\text{раб}} = 1.5 \times 10^3 \text{ мм, рабочая длина труб}$$

Число ходов в теплообменнике:

$$Z := \frac{L_{\text{тр}}}{L_{\text{раб}}} = 1.05 \quad (66)$$

Принимаем число ходов 1.

$$Z := 1$$

Общее число трубок:

$$n_{\text{общ}} := Z \cdot n_1 = 67.675 \quad (67)$$

Принимаем количество трубок, как и было, принято ранее 69 шт.

Определим число труб, расположенных на диагонали:

$$3a \cdot (a - 1) = n - 1 \quad (68)$$

$$3a^2 - 3a - 71 = 0 \quad (69)$$

$$D := (-3)^2 - 4 \cdot 3 \cdot (-71) = 861 \quad (70)$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} \quad (71)$$

$$a_1 := \frac{-3 + \sqrt{D}}{2 \cdot 3} = 4.39 \quad (72)$$

$$a_2 := \frac{-3 - \sqrt{D}}{2 \cdot 3} = -5.39 \quad (73)$$

$$b := \text{cei}(2a_1 - 1) = 8 \quad (74)$$

Шаг труб:

$$t := 1.2 \cdot d_H + 0.002 = 0.026 \text{ м} \quad (75)$$

Диаметр теплообменника находим из соотношения:

$$D_{BH} := t \cdot (b - 1) + d_H = 0.202 \quad D = 273 \quad (76)$$

Подобранный нами стандартный теплообменник удовлетворяет всем параметрам согласно конструктивному расчету.

3.5.1 Расчет толщины стенки корпуса аппарата

Расчет толщин стенок аппарата выполняем согласно [13].

$$L_{об} := L_{раб} = 1.5 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D = 273 \text{ мм}$$

$$t := \Delta t_{ср.воды} = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ температура воды}$$

$$P_{свм} := 0.1 \text{ МПа, давление в трубном пространстве}$$

$$p_{г.п.} := 0.1 \text{ МПа, давление в межтрубном пространстве}$$

Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре (12х18н10т) [14]:

$$\sigma_{t1к} := 0.83 \cdot 127 = 105.41 \text{ МПа} \quad (77)$$

$$\sigma_{t20} := 0.83 \cdot 184 = 152.72 \text{ МПа, допускаемое напряжение материала при нормальных условиях} \quad (78)$$

$$n := 1, \text{ коэффициент запаса прочности [14].}$$

$$R_{02} := 276 \text{ МПа, предел текучести при 20 градусах [14].}$$

$$\eta_y := 2.4, \text{ коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [14].}$$

$$\eta_t := 1.2, \text{ коэффициент запаса по пределу текучести для пневматических условий [14].}$$

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле [14]:

$$\sigma_{и} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 230 \text{ МПа} \quad (79)$$

Пробное давление при испытании при рабочем давлении $p=0.1$ МПа в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03) для сварных аппаратов [15]:

$$p_{\text{и}} := 1.25(p_{\text{г.п.}}) \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t1к}} = 0.181 \text{ МПа} \quad (80)$$

Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление.

Расчетное давление будет равным:

$$\rho := \rho_{\text{MT}} = 983 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность циркуляционной воды}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{ускорение свободного падения}$$

$$H := \frac{L_{\text{раб}}}{1000} = 1.5 \text{ м, высота трубного пучка} \quad (81)$$

$$P_{\text{рас}} := p_{\text{и}} + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^6} = 0.196 \text{ МПа} \quad (82)$$

Прибавку к расчетным толщинам согласно:

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П: = 0.1 \text{ мм/год.}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$T: = 10 \text{ лет.}$$

Прибавка для компенсации коррозии:

$$c_1 := П \cdot T = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 1 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 1 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 3 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки при рабочем давлении и в условиях испытания:

$$s \geq s_p + c$$

ϕ - коэффициент прочности продольного сварного шва

Так как сварной шов стыковой и выполняется вручную с одной стороны, а длина контролируемого шва составляет 100% от общей длины, то

$$\phi_p := 0.9 \text{ [с.22,8]}$$

$$s_{p1} := \max \left[\frac{P_{\text{рас}} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{рас}}}, \frac{(p_{\text{Г.п.}}) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{т1к}} \cdot \phi_p - (p_{\text{Г.п.}})} \right] = 0.144 \text{ мм} \quad (83)$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 1 \text{ мм, расчетная толщина стенки}$$

$$c := 3 \text{ мм, прибавка на коррозию и эрозию}$$

$$s := s_p + c = 4 \text{ мм} \quad (84)$$

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s-c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_d := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{т1к}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (85)$$

$$p_d = 0.692 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (p_{\text{Г.п.}}) \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

3.5.2 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки (днища)

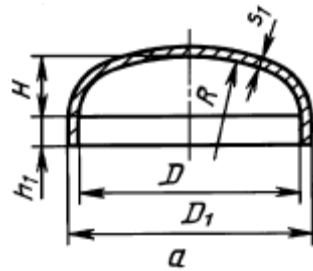


Рисунок 2 - Эллиптическая крышка

$$H := 0.25D \quad (86)$$

$H = 68.25$ мм - высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us1 = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

ϕ - коэффициент прочности сварных швов

$\phi := 1$ - для крышек изготовленных из одной заготовки

$$R := \frac{D^2}{4H} \quad (87)$$

$R = 273$ - радиус кривизны в вершине крышки по внутренней поверхности

$$R := \text{cei}(R)$$

$R = 273$ мм

$$s_{1p} := \max \left[\frac{P_{\text{рас}} \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{и}} - 0.5 P_{\text{рас}}}, \frac{(p_{\text{Г.п.}}) \cdot R}{2 \cdot \sigma_{\text{тлк}} \cdot \phi_p - 0.5 (p_{\text{Г.п.}})} \right] = 0.144 \text{ мм - расчетная}$$

толщина стенки крышки (88)

$$s_2 := \text{cei}(s_{1p} + c) = 4 \text{ мм - исполнительная толщина стенки крышки} \quad (89)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{t1k} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R + 0.5(s_2 - c)} \quad (90)$$

$$p_{d1} = 0.771 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{cm} \leq p_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (s_2 - c)} = 13.218 \quad (91)$$

3.5.3 Расчет укрепления отверстий при внутреннем и внешнем давлении

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

Расчет производим согласно стандарту [16].

Марка стали 12X18Н10Т

Расчетная температура:

$$t = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии при $t = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_d := 10^6 \sigma_{t1k} = 1.054 \times 10^8 \text{ Па} \quad (92)$$

Внутреннее расчетное давление:

$$P_B := 10^6 P_{cm} = 1 \times 10^5 \text{ Па}$$

Внешнее расчетное давление:

$$P_H := 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

Внутренний диаметр оболочки (максимальный):

$$D := 273 \text{ мм}$$

Длина неукрепленной части оболочки:

$$l := 200 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки:

$$r := 100 \text{ мм}$$

Исполнительная ширина накладного кольца:

$$l_3 := 20 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки:

$$s := 4 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина накладного кольца:

$$s_2 := 4 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия:

$$d := 76 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера:

$$l_1 := 140 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера:

$$l_2 := 3 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c := 1 \text{ мм}$$

Вид сварного шва и способ сварки: Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковой доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварке металлическую подкладку со стороны корня шва, прилагающую по всей длине шва к основному металлу, длина контролируемых швов от общей длины 100% по таблице Д.1 ГОСТ Р 52857.1- 2007 .

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 1$$

Высота стандартного эллиптического днища:

$$H := 0.25 \cdot D = 68.25 \text{ мм} \quad (93)$$

Толщину стенки штуцера принимаем:

$$s_1 := s$$

Половина угла раствора при вершине конической обечайки:

$$\alpha := \frac{3.14 \cdot 35}{180} \quad (94)$$

$$\alpha = 0.611$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R := 273 \text{ мм}$$

Угол между осью накладного штуцера и нормалью к поверхности конической оболочки:

$$\gamma := \frac{60 \cdot 3.14}{180} \quad (95)$$

$$\gamma = 1.047$$

Нормальный модуль упругости:

$$E_1 := 1.91 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Коэффициент Пуассона:

$$\mu_1 := 0.3$$

Коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y := 2.4$$

Диаметр основания эллиптической оболочки:

$$D_1 := 273 \text{ мм}$$

Средний диаметр оболочки у отверстия:

$$D_c := 273 \text{ мм}$$

Средний радиус оболочки у штуцера:

$$d_c := 38 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера

$$R_c := \frac{D_c}{2} = 136.5 \text{ мм} \quad (96)$$

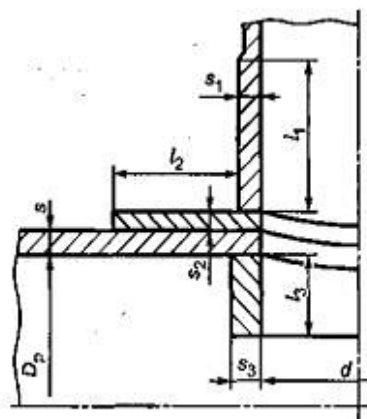


Рисунок 3 - Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда

$n = 2$ Эллиптическая оболочка

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Длина переходной части в эллиптической обечайки:

$$a1 := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha)}} \cdot (s - c) \quad (97)$$

Диаметр гладкой эллиптической обечайки без тороидального перехода:

$$D_k := D - 1.4 \cdot a1 \cdot \sin(\alpha) \quad (98)$$

Диаметры укрепляемых элементов:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \left[\frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} \right) \cdot r^2} \right] & \text{if } n = 2 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ D_p \leftarrow 2 \cdot R & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 422.038 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p} \right)^2}} & \text{if } n = 2 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\cos(\cos(\gamma))} & \text{if } n = 3 \\ d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 88.578 \text{ мм}$$

$$\text{Прим} := \left| \begin{array}{l} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} \quad \text{if} \quad \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \right) \quad \text{if } n = 1 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \quad \text{if } n = 2 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_k} > 1 \right) \quad \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \quad \text{otherwise} \\ \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \quad \text{if} \quad \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \quad \text{if } n = 1 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \quad \text{if } n = 2 \\ \frac{s - c}{D_k} > \frac{0.1}{\cos(\alpha)} \quad \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \quad \text{otherwise} \\ \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Прим = "Условия применения формул выполняются"

Расчет при внутреннем давлении.

Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов:

$$sp := \left| \begin{array}{l} \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \quad \text{if } n = 1 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \quad \text{if } n = 2 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad \text{if } n = 3 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_D = 1.054 \times 10^8$$

$$sp = 0.1 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_B \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_B} \quad (99)$$

$$s_{p1} = 0.037 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (100)$$

$$l_{1p} = 15.297 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[12, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] \quad (101)$$

$$l_{2p} = 3 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[13, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right] \quad (102)$$

$$l_{3p} = 20 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (103)$$

$$l_p = 35.582 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (104)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) \quad (105)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_d}{\sigma_d}\right) \quad (106)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (107)$$

$$d_{0p} = 14.233 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2.075 \times 10^3 \text{ мм} \quad (108)$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Коэффициент K_Σ для эллиптической и сферической оболочек:

$$x := 10 \cdot \frac{(s - c)}{D} \cdot \left(\frac{D_p}{2 \cdot H} - 2 \cdot \frac{H}{D_p} \right) \quad (110)$$

$$x = 0.304$$

$$K_\Sigma := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3 + 10 \cdot x) \cdot x} \quad (111)$$

$$K_\Sigma = 0.87$$

Определение эквивалентного диаметра конического днища:

$$D_e := \max \left[\left[\frac{D_p + D_1}{2 \cdot \cos(\alpha)} - \frac{D_p}{\cos(\alpha)} - 0.31 \cdot (D_p + D_1) \cdot \sqrt{\frac{D_p + D_1}{(s - c)} \cdot \tan(\alpha)} \right] \right] = 424.15 \quad (112)$$

$$D_e = 424.15 \text{ мм}$$

Определение длины конического днища

$$Le := \frac{D_p - D1}{2 \cdot \sin(\alpha)} \quad (113)$$

$$Le = 129.977 \text{ мм}$$

Определение коэффициента B2 для конической оболочки:

$$B_2 := \min \left[1.0 \frac{9.45 \cdot D_e}{Le} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s - c)}} \right] = 1 \quad (114)$$

$$B_2 = 1$$

Расчетная толщины стенок укрепляемых элементов:

$$sp := \begin{cases} \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_p}{B_1} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{1}{D_p} \right)^{0.4}, \frac{P_H \cdot D_p \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_d - P_H} \right] & \text{if } n = 1 \\ \max \left(\frac{K_3 \cdot D_p}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{if } n = 2 \\ \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_e}{B_2} \cdot \left(\frac{P_H}{10^{-5} \cdot E_1} \cdot \frac{Le}{D_e} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_H} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \right] & \text{if } n = 3 \\ \max \left(\frac{K_3 \cdot \frac{D_p}{2}}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_H}{10^{-5} \cdot E_1}}, \frac{1.2 \cdot P_H \cdot \frac{D_p}{2}}{2 \cdot \sigma_d} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$sp = 0.809 \text{ мм}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_H \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi - P_H} \quad (115)$$

$$s_{p1} = 0.037 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] \quad (116)$$

$$l_{1p} = 15.297 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min[12, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)}] \quad (117)$$

$$l_{2p} = 3 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min[13, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)}] \quad (118)$$

$$l_{3p} = 20 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (119)$$

$$l_p = 35.582 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad (120)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad (121)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_d}{\sigma_d}\right) \quad (122)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (123)$$

$$d_{0p} = 14.233 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s-c}{sp} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} \quad (124)$$

$$d_0 = 207.017 \text{ мм}$$

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Допускаемое наружное давление:

$$B_3 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_p}{l} \cdot \sqrt{\frac{D_p}{100 \cdot (s-c)}} \right] = 1$$

$$B_4 := \min \left[1.0, 9.45 \frac{D_e}{Le} \cdot \sqrt{\frac{D_e}{100 \cdot (s-c)}} \right] = 1$$

Определим допускаемое давление от устойчивости в пределах упругости:

$$P_{дЕ} := \begin{cases} \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E_1 \cdot D_p}{n_y \cdot B_3} \cdot \frac{1}{l} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D_p} \right]^{2.5} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{K_э \cdot D_p} \right]^2 & \text{if } n = 2 \\ \frac{20.8 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1 \cdot D_e}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{Le} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D_e} \right]^{2.5} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2.6 \cdot 10^{(-6)} \cdot E_1}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{K_э \cdot \frac{D_p}{2}} \right]^2 & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$P_{дЕ} = 1.38 \times 10^5 \text{ Па}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$P_{дП} := \begin{cases} \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{D_p + (s - c)} & \text{if } n = 1 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{D_p + 0.5(s - c)} & \text{if } n = 2 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{\left(\frac{D_p}{\cos(\alpha)} \right) + (s - c)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot (s - c)}{\frac{D_p}{2} + 0.5(s - c)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{дП} = 1.493 \times 10^6 \text{ Па}$$

.Допускаемое наружное давление:

$$P_{дн} := \frac{P_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дП}}{P_{дЕ}} \right)^2}} \quad (125)$$

$$P_{дн} = 1.374 \times 10^5 \text{ Па}$$

Расчет на прочность оболочек при внешних статических нагрузках на штуцер.

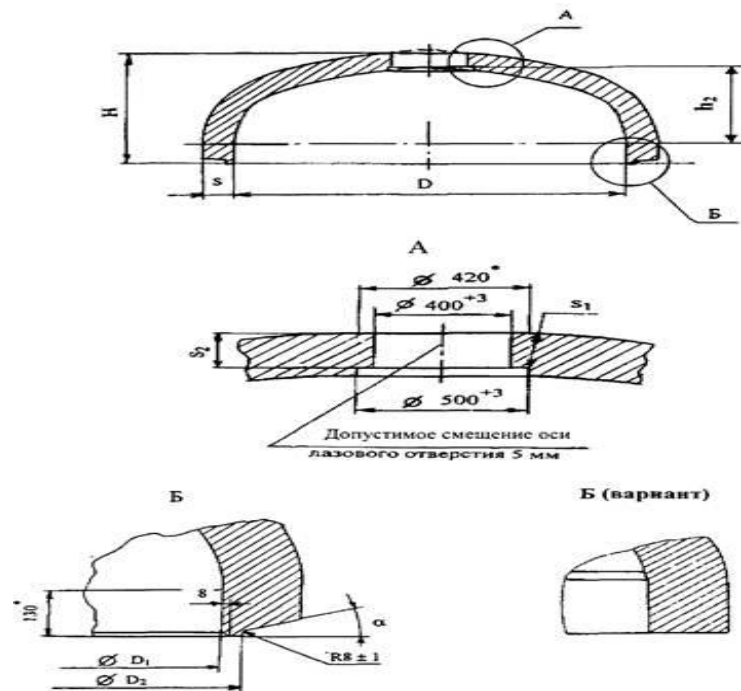


Рисунок 4 – Схема нагрузок на штуцер

$n = 2$ Эллиптическая оболочка

Тип := $\begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Определение эквивалентной толщины стенки обечайки около штуцера:

$$s_{\text{э}} := \begin{cases} s & \text{if } d_0 \geq d_p \\ s + s_2 \cdot \chi_3 & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 \geq \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \\ \left[s + \min \left[s_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{D_c \cdot (s + s_2)}}, s_2 \right] \cdot \chi_3 \right] & \text{if } \begin{cases} d_0 < d_p \\ l_3 < \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)} \end{cases} \end{cases}$$

$s_{\text{э}} = 6$ мм

Тип = "эллиптическая оболочка"

Условия применения расчетных формул:

Расчетные формулы применимы

$$\lambda_c := \frac{dc}{\sqrt{Dc \cdot s\alpha}} = 0.939 \quad (126)$$

$$\lambda_{c1} := \frac{dc}{\sqrt{Rc \cdot s\alpha}} = 1.328 \quad (127)$$

Прим :=	Прим ← "Расчетные формулы применимы "	if	0.001 ≤ $\frac{s}{Dc}$ ≤ 0.1
			$\lambda_c \leq 10$
			n = 1
			Прим ← "Расчетные формулы применимы "
		if	0.001 ≤ $\frac{s}{Rc}$ ≤ 0.1
			$\lambda_{c1} \leq 10$
			n = 2
			Прим ← "Расчетные формулы применимы "
		if	0.001 ≤ $\frac{s}{Dc}$ ≤ 0.1
			$\lambda_c \leq 10$
			n = 3
			Прим ← "Расчетные формулы применимы "
		if	0.001 ≤ $\frac{s}{Rc}$ ≤ 0.1
			$\lambda_{c1} \leq 10$
			n = 4
			Прим ← "Расчетные формулы применимы "
"Условия применения формул НЕ выполняются" otherwise			

Тип = "эллиптическая оболочка"

Прим = "Расчетные формулы применимы "

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

Вспомогательные параметры:

$$a_0 := 0.60072181$$

$$a_3 := -0.001406381$$

$$a_1 := 0.95196257$$

$$a_4 := 0$$

$$a_2 := 0.0051957881$$

$$s_{\text{э1}} := s - c$$

$$\lambda_{\text{с1}} := \frac{dc}{\sqrt{Dc \cdot s_{\text{э1}}}} = 1.328 \quad (128)$$

$$C1 := a_0 + a_1 \cdot \lambda_{\text{с1}} + a_2 \cdot \lambda_{\text{с1}}^2 + a_3 \cdot \lambda_{\text{с1}}^3 + a_4 \cdot \lambda_{\text{с1}}^4 \quad (129)$$

$$C1 = 1.871$$

Для днищ:

$$K_4 := \min \left[\frac{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot (s_1 - c)}{\sigma_{\text{д}} \cdot s_{\text{э1}}} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c}{dc}}, 1 \right] \quad (130)$$

$$K_4 = 0.562$$

$$\lambda_{\text{с2}} := \frac{dc}{\sqrt{Rc \cdot s_{\text{э1}}}} = 1.878 \quad (131)$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

$$F_{\text{z1}} := \begin{cases} \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{\text{с2}} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{\text{с2}}^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{\text{с2}} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{\text{с2}}^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$F_{\text{z1}} = 2.439 \times 10^{10} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при:

$$\frac{s_1}{s_{\text{э}}} \geq 0.5$$

$$F_{\text{z2}} := \begin{cases} \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 1 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{\text{с2}} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{\text{с2}}^2 \right) & \text{if } n = 2 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } n = 3 \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_{\text{с2}} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda_{\text{с2}}^2 \right) & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$Fz2 = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

Допустимое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$Fz := \begin{cases} \min(Fz1, Fz2) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 1 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 2 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \max(C1, 1.81) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 3 \end{cases} \\ \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(1.82 + 2.4 \cdot \sqrt{1 + K_4 \cdot \lambda c^2} + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c^2 \right) & \text{if } \begin{cases} d_0 \geq d_p \\ n = 4 \end{cases} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

$$Fz = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$a01 := 4.52631$$

$$a31 := -0.021419298$$

$$a11 := 0.064021889$$

$$a41 := 0.0010350407$$

$$a21 := 0.15887638$$

$$C2 := a01 + a11 \cdot \lambda c1 + a21 \cdot \lambda c1^2 + a31 \cdot \lambda c1^3 + a41 \cdot \lambda c1^4 \quad (132)$$

$$C2 = 4.845$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой: (для обечаек)

$$Mx1 := \left[\sigma_D \cdot \left(s + \chi_3 \cdot s2 - c \right)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, \sqrt{4.9}) \right] \quad (133)$$

$$M_{x1} = 1.213 \times 10^{11} \text{ Н·мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_3} \geq 0.5$$

$$M_{x2} := \left[\sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) \right] \quad (134)$$

$$M_{x2} = 4.416 \times 10^{10} \text{ Н·мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости перпендикулярной к оси сосуда:

$$M_x := \begin{cases} \min(M_{x1}, M_{x2}) & \text{if } d_0 < d_p \\ \sigma_{\text{д}} \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C2, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \end{cases}$$

$$M_x = 4.416 \times 10^{10} \text{ Н·мм}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости совпадающий с осью сосуда:

$$a_{02} := 6.3178075$$

$$a_{32} := -0.83094839$$

$$a_{12} := -3.6618209$$

$$a_{42} := 0.050698494$$

$$a_{22} := 4.5145391$$

$$C3 := a_{02} + a_{12} \cdot \lambda c1 + a_{22} \cdot \lambda c1^2 + a_{32} \cdot \lambda c1^3 + a_{42} \cdot \lambda c1^4 \quad (135)$$

$$C3 = 7.627$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой:

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{y1} := \sigma_{\text{д}} \cdot \left(s + \chi_3 \cdot s_2 - c \right)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 1.91 \times 10^{11} \text{ Н·мм} \quad (136)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца при :

$$\frac{s_1}{s_3} \geq 0.5$$

$$M_{y2} := \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) = 6.874 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (137)$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, совпадающий с осью сосуда:

$$M_y := \begin{cases} \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \max(C3, 4.9) & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \min(M_{y1}, M_{y2}) & \text{if } d_0 < d_p \end{cases}$$

$$M_y = 6.874 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{bH} := \sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c_2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c_2^2 \right) \quad (138)$$

$$M_{bH} = 2.853 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

С наличием кольца жесткости:

$$M_{b1} := \sigma_D \cdot (s + \chi_3 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{dc}{4} \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c_2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c_2^2 \right) \quad (139)$$

$$M_{b1} = 2.853 \times 10^{11} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{b2} := \sigma_D \cdot (s - c)^2 \cdot \left(4.9 + 2 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda c_2 + 0.91 \cdot K_4 \cdot \lambda c_2^2 \right) \quad (140)$$

$$M_{b2} = 1.081 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_b := \min(M_{b1}, M_{b2}) \quad (141)$$

$$M_b = 1.081 \times 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Совместное действие нагрузок:

Проверка выполнение условий прочности для каждой нагрузки в отдельности:

$$P_H = 1 \times 10^5 \text{ Па} - \text{наружное давление}$$

$$F_Z := 8000 - \text{осевая сила, действующая на штуцер, Н}$$

$M_x := 1000000$ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$M_y := 1600000$ - крутящий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$M_b := 1200000$ - изгибающий момент, действующий на штуцер, Н•мм;

$$\Phi_p := \left| \frac{P_H}{P_{дП}} \right| \quad (142)$$

$$\Phi_z := \left| \frac{F_z}{F_z} \right| \quad (143)$$

$$\Phi_b := \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 1 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 2 \\ \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_x}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_y}\right)^2} & \text{if } n = 3 \\ \sqrt{\left(\frac{M_b}{M_b}\right)^2} & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

$$\text{Усл1} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} \Phi_p \leq 1 \\ \Phi_z \leq 1 \\ \Phi_b \leq 1 \end{cases} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл1 = "Условия выполняются"

Проверка выполнение условий прочности при совместном действии нагрузок:

Усл2 = 1 Нагрузка с учетом стесненности температурных деформаций

$$C4 := \begin{cases} 1.1 & \text{if } \text{Усл2} = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$C4 = 1.1$

Усл3 = 1 Осевая нагрузка направлена наружу от стенки

$$\Phi_{Z1} := \begin{cases} \Phi_Z & \text{if } \text{Усл3} = 1 \\ \Phi_Z \cdot -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Phi_{Z1} = 9.111 \times 10^{-7}$$

$$\text{Усл4} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 1 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{Z1} \right|, |\Phi_{Z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{Z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \leq 1 \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 2 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_Z|, |\Phi_Z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_Z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 3 \\ & \sqrt{\left(\max\left(\left| \frac{\Phi_p}{C4} + \Phi_{Z1} \right|, |\Phi_{Z1}|, \frac{\Phi_p}{C4} - 0.2 \cdot \Phi_{Z1} \right) \right)^2 + \Phi_b^2} \leq 1 \\ \text{"Условия выполняются"} & \text{if } n = 4 \\ & \max(|\Phi_p + \Phi_Z|, |\Phi_Z|, |\Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_Z|, |\Phi_b|) \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл4} = \text{"Условия выполняются"}$$

Проверка прочности штуцера:

Осевая сила, действующая на штуцер, создает растягивающее напряжение

$$\underline{F_Z} := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{Усл5} = 1 \\ F_Z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_Z = 8.781 \times 10^9 \text{ Н}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Услб} := & \left| \begin{array}{l} \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 1 \\ \frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 2 \\ \frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 3 \\ \frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \text{ if } n = 4 \\ \frac{P_H \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c)} \leq \sigma_{д1} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right|
 \end{aligned}$$

Услб = "Условия применения формул выполняются"

Расчет на устойчивость:

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле:

$$F_{\Pi} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{д} \quad (144)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости вычисляют по формуле:

$$n_{\text{уст}} := 2.4$$

$$F_{e1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (145)$$

$$F_{e1} = 2.328 \times 10^{12} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{\text{доп}} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_{e1}}\right)^2}} \quad (146)$$

$$F_{\text{доп}} = 2.723 \times 10^{11} \text{ Н}$$

Расчет допускаемого изгибающего момента:

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности вычисляют по формуле:

$$M_{\Pi} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \quad (147)$$

$$M_{\Pi} = 1.871 \times 10^{13} \text{ Н·мм}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия местной устойчивости:

$$M_{\text{е}} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E_1}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (148)$$

$$M_{\text{е}} = 1.824 \times 10^{14} \text{ Н·мм}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{\text{доп}} := \frac{M_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{е}}}\right)^2}} \quad (149)$$

$$M_{\text{доп}} = 1.862 \times 10^{13} \text{ Н·мм}$$

Вид условий:

Усл7 = 2 Если Fz сжимающее усилие

$$F_Z := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{Усл7} = 1 \\ F_Z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{\text{н}} := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{Усл7} = 1 \\ P_{\text{н}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_Z = 8 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{\text{н}} = 1 \times 10^5 \text{ Па}$$

Усл8 :=	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> "Условия применения формул выполняются" if </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> $\frac{P_H}{P_{дП}} + \frac{F_z}{F_{доп}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{доп}} \leq 1$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> "Условия применения формул выполняются" if </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> $\frac{F_z}{F_{доп}} + \frac{M_b}{M_{доп}} \leq 1$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> "Условия применения формул выполняются" if </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> $\frac{P_H}{P_{дП}} + \frac{F_z}{F_{доп}} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_{доп}} \leq 1$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> "Условия применения формул выполняются" if </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> $\frac{F_z}{F_{доп}} + \frac{M_b}{M_{доп}} \leq 1$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> "Условия применения формул НЕ выполняются" otherwise </div> <div style="width: 35%;"></div> </div>
---------	---

Усл8 = "Условия применения формул выполняются"

3.6 Механический расчет теплообменника

В данном разделе произведем расчет на проверку выполнения критериев надежности, исходя из нагрузок на рассчитываемый аппарат. Для отдельных узлов теплообменного аппарата критерии надежности будут следующие:

- Прочность
- Жесткость (устойчивость)

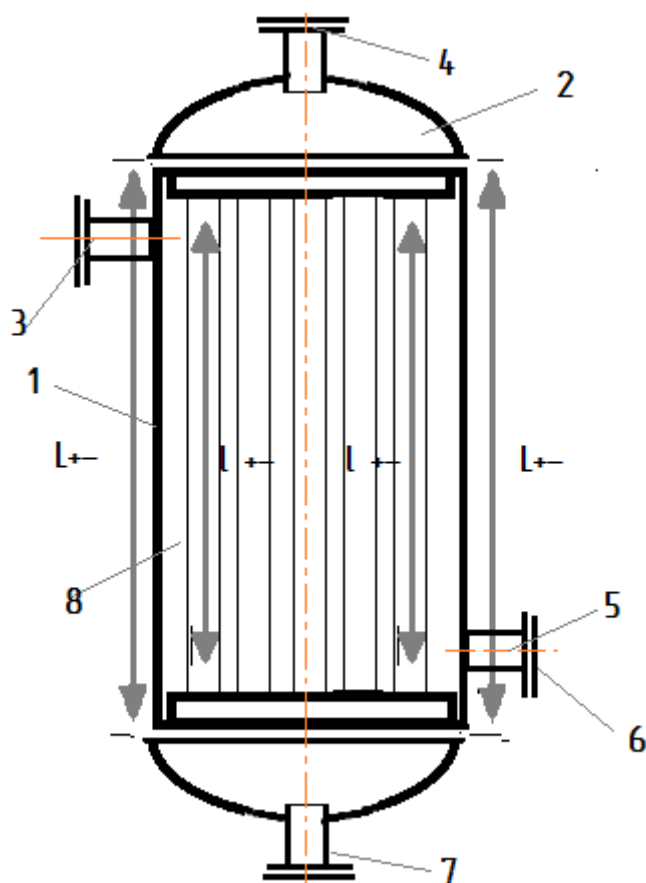


Рисунок 5. Расчетная схема действия температурных напряжений.

1 – корпус теплообменника; 2 – Эллиптическая крышка (днище); 3 – входной патрубок межтрубного пространства; 4 – входной патрубок трубного пространства; 5 – выходной патрубок межтрубного пространства; 6 – фланцевая пара; 7 – выходной патрубок трубного пространства; 8 – трубной пучок в соединении с трубными решетками;

3.6.1 Определение температурных деформаций

В данном разделе произведем расчет температурных расширений корпуса аппарата (см. рисунок 5, поз.№1), а также трубного пучка (см. рисунок 5, поз.№8). Цель расчета состоит в том, чтобы определить тип конструкции теплообменника. При удлинении элементов аппарата выше допустимого требуется изготовление сосуда с наличием компенсатора либо плавающей головки.

Определение температурных деформаций [7].

$\sigma_{t1k} = 105.41$ МПа, допускаемое напряжение материала корпуса

$\sigma_{td} := 110$ МПа, допускаемое напряжение для материала трубок

$L_{tr} := L = 80$ мм, длина труб в межтрубном пространстве

$$t_t := \frac{(77 + 74)}{2} \quad (150)$$

$t_t = 75.5$ °C, температура стенки труб

$t_k := 62$ °C, температура стенки корпуса

$E_t := 1.52 \cdot 10^5$ МПа, модуль продольной упругости материала трубок[14].

$$x := (50 \ 100)^T$$

$$y := (1.52 \cdot 10^5 \ 1.43 \cdot 10^5)^T$$

$E_k := \text{linterp}(x, y, t_k) = 1.498 \times 10^5$ МПа, модуль продольной упругости материала корпуса. (151)

$\alpha_t := 18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок.

$\alpha_k := 14.85 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, коэффициент линейного расширения для материала трубок.

$F_t := 0.8704 \text{ м}^2$, площадь поперечного сечения всех труб.

$F_k := \pi \left(\frac{D}{2 \cdot 1000} - \frac{s}{1000} \right)^2 = 0.055 \text{ м}^2$, площадь поперечного сечения корпуса.

Найдем температурное усилие в конструкции:

$$Q_t := \frac{(\alpha_t \cdot t_t - \alpha_k \cdot t_k) \cdot E_t \cdot F_t \cdot E_k \cdot F_k}{E_t \cdot F_t + E_k \cdot F_k} = 3.409 \text{ МН} \quad (153)$$

Далее определим температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_t := \frac{Q_t}{F_t} = 3.917 \text{ МПа} \quad (154)$$

$$\sigma_k := \frac{Q_t}{F_k} = 61.814 \text{ МПа} \quad (155)$$

Удлинение материала:

$$\delta_t := \frac{Q_t \cdot L}{1000 E_t \cdot F_t} = 2.062 \times 10^{-6} \text{ м} \quad (156)$$

$$\delta_k := \frac{(Q_t \cdot L)}{(1000 E_k \cdot F_k)} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ м} \quad (157)$$

$$\delta_{\text{св}} := 1000(\delta_t + \delta_k) = 0.035 \text{ мм} \quad (158)$$

$$\sigma_{t1k} = 105.41 \text{ МПа}$$

$$\text{Us1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_k \leq \sigma_{t1k} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Us1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\text{Us1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_t \leq \sigma_{t1k} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Us1} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: По результатам расчетов следует, что удлинение материала трубного пучка и обечайки корпуса будут незначительными (0,035 мм),

вследствие чего, компенсация удлинения не требуется. Температурные напряжения в трубках (3,917 МПа) и корпусе (61,814 МПа) меньше допускаемого напряжения материала (105,41 МПа). Все условия прочности выполняются.

3.6.2 Расчет толщины трубной решетки

В данном разделе произведем расчет требуемой и исполнительной толщины трубной решетки (см. рисунок 5, поз.№8). Цель расчета заключается в том, чтобы определить минимальную толщину трубной решетки при рабочих нагрузках.

Расчет трубной решетки будем производить по методике главы 25[17].

$$N_{\text{общ}} := n = 2$$

$$F := S = 8.042 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$L_t := \frac{L}{1000} = 0.08 \text{ м} \quad (159)$$

$$D_t := \frac{D}{1000} = 0.273 \text{ м} \quad (160)$$

Согласно параметрам выбранного теплообменника, подбираем параметры трубной решетки. Выбираем трубную решетку ТИПА II.

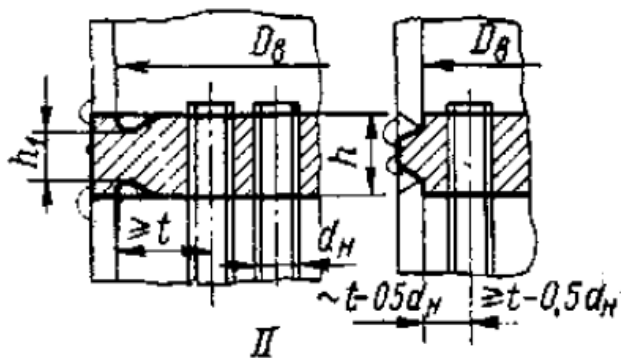


Рисунок 6 – Тип трубной решетки

$$z_d := 10, \text{ число труб на диаметре}$$

$$c := 0.001 \text{ м, прибавка на коррозию}$$

Материал трубной решетки 12x18н10т. Допускаемое напряжение при изгибе при статической нагрузке:

$$\sigma_{\text{ид}} := 140 \text{ МПа}$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки снаружи, подобрав значения из табл.25.3 [17]:

$$K := 0.28 \text{ м}$$

$$D_B := D_t = 0.273 \text{ м} \quad (161)$$

$$p := 0.02 \text{ МПа}$$

$$h_{1p} := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{ИД}}}} = 9.136 \times 10^{-4} \text{ м} \quad (162)$$

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$$\phi_0 := \frac{D_B - z_d \cdot 0.02}{D_B} = 0.267$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки посередине, выбрав значения величин из табл.25.3[17].

$$K := 0.67$$

$$D_B := D_t = 0.273 \text{ м}$$

$$p := 0.1 \text{ МПа}$$

$$h_p := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi_0 \cdot \sigma_{\text{ИД}}}} = 9.454 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (163)$$

С целью снижения дополнительных напряжений, вызванных действием краевых моментов, выполним утолщение трубной решетки, а также учтем прибавку на коррозию:

$$h_{\text{сн}} := 1.4 \cdot h_{1p} + c = 2.279 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (164)$$

$$h_{\text{сер}} := 1.4 \cdot h_p + c = 0.014 \text{ м} \quad (165)$$

Вследствие того, что трубы к трубной решетке крепятся развальцовкой, то увеличиваем высоту трубной решетки до 25 мм.

Вывод: в результате расчета пришли к выводу о том, что минимальная толщина трубной решетки составит 14 мм, но вследствие того, что трубный пучок будет крепиться к ней развальцовкой, то толщина была увеличена до 25 мм.

3.6.3 Расчет развальцовочного соединения

В данном разделе произведем расчет на прочность развальцовочного соединения (см. рисунок 5, поз.№8). Целью данного расчета является выполнение прочностного расчета на вырывание труб из трубной решетки.

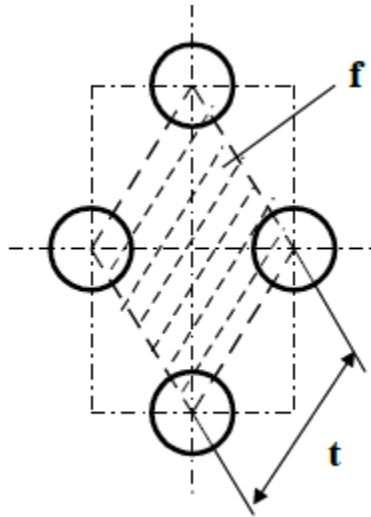


Рисунок 7 – Расположение труб в трубной решетке

При расположении труб по вершинам правильных треугольников [7]:

$$f_p = 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \quad (166)$$

Шаг определяется:

$$t := 1.2 \cdot d_H \cdot 1000 + 2 = 26 \text{ мм} [13] \quad (167)$$

$$f_p := 0.866 \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = 2.713 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (168)$$

Так как трубы нагреты больше, чем корпус, то в них возникают сжимающие напряжения, и они подвергаются продольному изгибу, поэтому развальцовка работает на вырывание труб из решетки.

Определим площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$f_t := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 1.131 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (169)$$

$\sigma_t = 3.917 \text{ МН}$, температурное напряжение в трубках

$p_{Г.П.} := 0.1 \text{ МПа}$, давление в межтрубном пространстве

$P_{cm} := 0.1$ МПа, давление в трубном пространстве

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$q_t := \sigma_t \cdot f_t = 4.43 \times 10^{-4} \text{ МПа} \quad (170)$$

Определение осевого усилия:

$$D_{BH} := \frac{(D - 2s)}{1000} = 0.265 \text{ м} \quad (171)$$

$$Q_k := p_{г.п.} \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (D_{BH}^2 - n \cdot d_H^2) + P_{cm} \cdot n \cdot \frac{3.14}{4} \cdot d_B^2 = 5.49 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (172)$$

Усилие, действующее на 1 трубку от давления:

$$q := \frac{Q_k}{n} = 2.745 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (173)$$

Суммарное усилие:

$$q_c := |q - q_t| = 2.302 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (174)$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 0.044 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad (175)$$

$$\sigma_{0Д} := 0.07 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Условие выполнения прочности развальцовки удельной нагрузки от давления:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0Д} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: в результате расчета вычислили удельную нагрузку от давления на единицу длины окружности развальцовки (0,044 МН/м). Данная величина по условия прочности меньше допускаемой нагрузки (0,07 МН/м), следовательно, условие прочности выполняется.

3.6.4 Расчет фланцевого соединения

В данном разделе произведем механический расчет фланцевого соединения (см. рисунок 5 поз.№6), который сводится к определению следующих критериев надежности: обеспечению герметичности, обеспечению прочности втулки фланца, обеспечению прочности болтов, что и является целью данного расчета.

В качестве примера произведем расчет фланца для патрубка выхода конденсата:

Диаметр штуцера:

$$d_p := D_k = 0.032 \text{ м}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 12X18H10T:

$$\sigma_b := 110 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов фланцевого соединения:

$$d_b := 0.01 \text{ м}$$

Модуль упругости фланца:

$$E := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

нормативный зазор между втулкой и гайкой в соответствии с рекомендациями:

$$u := 0.005$$

Решение:

Толщина втулки плоских приварных фланцев:

$$c := 0.001 \text{ м}$$

$$s_0 \geq s$$

Примем

$$s_0 := 0.003 \text{ м}$$

Высота втулки:

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)} = 4 \times 10^{-3} \quad (176)$$

Примем значение высоты втулки:

$$h_b := 0.05 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности плоских приварных фланцев:

$$D_b := d_p + 2(2 \cdot s_0 + d_b + u) = 0.074 \text{ м} \quad (177)$$

Примем:

$$D_b := 0.075 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

Конструктивную добавку для размещения шестигранных гаек (обычных) по диаметру фланца примем по табл.1.41 [18]:

$$a := 0.025 \text{ м}$$

Диаметр отверстия под болт:

$$d := 0.014 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_n := D_b + a = 0.1 \text{ м} \quad (178)$$

Примем

$$D_n := 0.10 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки при нормативном параметре, зависящем от типа прокладки:

$$e := 0.02 \text{ м, так как выбираем плоскую прокладку по табл. 1.41 [18].}$$

$$D_{np} := D_b - e = 0.055 \text{ м} \quad (179)$$

Средний диаметр прокладки:

ширина прокладки плоской, неметаллической по табл.1.42 [18].

$$b := 0.012 \text{ м}$$

$$D_{sn} := D_{np} - b = 0.043 \text{ м} \quad (180)$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

Шаг расположения болтов

$$t_{sh} := 4 \cdot d_b = 0.04 \text{ м} \quad (181)$$

$$n_b := \frac{\pi \cdot D_b}{t_{sh}} = 5.89 \quad (182)$$

Применяем

$$n_b := 8 \text{ шт}$$

Высота(толщина) фланца ориентировочно:

По рисунку 1.40 [18] определяем коэффициент:

$$\lambda_f := 0.21$$

Эквивалентная толщина втулки:

$$\frac{d_p}{s_0} = 10.667 \quad (183)$$

$$\beta_1 := 1.5$$

по рисунку 1.39 [18]

$$s_{ek} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{d_p \cdot s_0}} \right] = 4.336 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (184)$$

$$h_f \geq \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}}$$

$$\lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} = 2.474 \times 10^{-3} \quad (185)$$

Примем

$$h_f := 0.01 \text{ м}$$

Болтовая нагрузка, необходимая для обеспечения герметичности.

Расчет сводится к определению нагрузок для двух различных состояний: при монтаже и в рабочих условиях.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа.

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d := P_{cm} \cdot \pi \cdot \frac{D_{sn}^2}{4} = 1.452 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (186)$$

Выберем прокладку из паронита толщиной 1 мм, для нее:

$$k_{pr} := 2.5$$

Толщина прокладки:

$$h_{pr} := 0.001 \text{ м}$$

$$p_{pr} := 20 \text{ МПа}$$

Минимальное давление обжатия:

Допускаемое давление обжатия прокладки:

$$p_{dpr} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости паронита:

$$E_{pr} := 2000 \text{ МПа}$$

Эффективная ширина прокладки:

$$b_0 := b = 0.012 \text{ м}$$

Реакция прокладки:

$$R_p := \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot k_{pr} \cdot P_{cm} = 4.053 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (187)$$

Расчетная площадь поперечного сечения болта принимается:

$$f_b := 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Линейная податливость прокладки, при:

$$k_p := 1 \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

$$y_p := \frac{k_p \cdot h_{pr}}{E_{pr} \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 3.084 \times 10^{-4} \quad (188)$$

Угловая податливость фланца:

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа, модуль продольной упругости материала фланца}$$

безразмерные параметры

$$\lambda_{\text{ф}} := \frac{h_f}{\sqrt{d_p \cdot s_{ek}}} = 0.849 \quad (189)$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log \left(\frac{D_n}{d_p} \right) = 0.633 \quad (190)$$

$$\psi_2 := \frac{D_n + d_p}{D_n - d_p} = 1.941 \quad (191)$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_f \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_f^2}{s_{ek}^2} \right)} = 0.231 \quad (192)$$

$$y_f := \frac{\left[1 - v \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f) \right] \cdot \psi_2}{h_f^3 \cdot E} = 5.357 \frac{\text{м}}{\text{МН}} \quad (193)$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

примем конструктивно

$$l_{ob} := 0.042 \text{ м}$$

Расчетная длина болта:

$$l_b := l_{ob} + 0.28 \cdot d = 0.046 \text{ м} \quad (194)$$

Линейная податливость болтов:

$$y_b := \frac{l_b}{E \cdot f_b \cdot n_b} = 1.978 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}} \quad (195)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{zh} := \frac{y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - d_p - s_{ek}) \cdot (D_b - D_{sn})}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 1.081 \quad (196)$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$\sigma_{b20} := 130 \text{ МПа}$$

Осевое растягивающее усилие:

$$F_1 := 0.25 \cdot \pi \cdot \left(d_p + 2 \cdot s \cdot 10^{-6} \right) \cdot P_{cm} = 2.514 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (197)$$

$$F_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} k_{zh} \cdot (F_d - F_1) + R_p \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot p_{pr} \\ 0.4 \cdot \sigma_{b20} \cdot n_b \cdot f_b \end{array} \right] = 0.056 \text{ МН} \quad (198)$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала болтов и фланцев 12X18H10T:

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$t_r := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_{t_r} := \frac{y_b \cdot n_b \cdot f_b \cdot E \cdot (\alpha \cdot t_r - \alpha \cdot 0.97 \cdot t_r)}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 5.631 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (199)$$

$$F_{b2} := F_{b1} + (1 - k_{zh}) \cdot (F_d - F_1) + F_t = 0.057 \text{ МН} \quad (200)$$

Условия прочности болтов

$$\frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} = 52 \text{ МПа} \quad (201)$$

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_{b20} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{b20} = 130 \text{ МПа}$$

$$Usl_1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_b \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} = 52.699 \text{ МПа} \quad (202)$$

$$\sigma_b = 110 \text{ МПа}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$\frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 34.644 \text{ МПа} \quad (203)$$

$$Us_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} \leq p_{dpr} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p_{dpr} = 130 \text{ МПа}$$

$$Us_3 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером S0:

безразмерный параметр

$$T_f := \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log \left(\frac{D_n}{d_p} \right) \right) - d_p^2}{\left(1.05 \cdot d_p^2 + 1.945 \cdot D_n^2 \right) \cdot \left(\frac{D_n}{d_p} - 1 \right)} = 1.176 \quad (204)$$

Безразмерный параметр по рисунку 1.42 [10].

$$\chi_1 := \frac{h_b}{\sqrt{d_p \cdot s_0}} = 5.103 \quad (205)$$

$$f_f := 1$$

Приведенный изгибающий момент: (206)

$$M_0 := \max \left[0.1 \cdot (D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}, 0.1 \cdot \left[(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2} + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d \right] \right] = 1.822 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_1 := T_f \cdot M_0 \cdot \frac{v}{d_p \cdot \left(\frac{s}{1000} - c \right)^2} = 171.517 \text{ МПа} \quad (207)$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S0:

$$\sigma_0 := f_f \cdot \sigma_1 = 171.517 \text{ МПа} \quad (208)$$

Тангенциальное и меридиональное напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_t := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 160 \text{ МПа} \quad (209)$$

$$\sigma_m := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 80 \text{ МПа} \quad (210)$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S0, принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_r < 4 \text{ МПа}$:

$$\sigma_{d0} := 0.003 \cdot E = 600 \text{ МПа} \quad (211)$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$Usl_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 220.495 \quad (212)$$

Условие герметичности фланцевого соединения определяется углом поворота фланца. Максимальное напряжение в кольце аппарата:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \frac{\psi_2}{d_p \cdot h_f^2} = 65.586 \text{ МПа} \quad (213)$$

Допускаемый угол поворота фланца для плоских приварных:

$$\Theta_d := 0.013$$

$$\Theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \left(\frac{d_p}{h_f} \right) = 1.049 \times 10^{-3} \quad (214)$$

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"Условие герметичности выполняется"} & \text{if } \Theta < \Theta_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_5 = \text{"Условие герметичности выполняется"}$$

Вывод: таким образом, подобранный фланец отвечает всем требованиям прочности. Условия прочности болтов выполняются как в условиях монтажа (действующее напряжение меньше допустимого: $52 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$), так и в рабочих условиях (действующее напряжение меньше допустимого: $52,7 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$). Также условие прочности болтов выполняется и для неметаллических прокладок (действующее напряжение

меньше допустимого: $36,6 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$). Было выполнено условие прочности втулки фланца (действующая нагрузка меньше допустимой: $220,5 \text{ МПа} < 600 \text{ МПа}$). Также фланцевое соединение было посчитано на герметичность, которая определялась углом поворота фланца (угол поворота фланца в рабочих условиях меньше допустимого угла поворота фланца $0,001049 \text{ рад} < 0,013 \text{ рад}$). Подобным образом рассчитываются все фланцевые соединения.

Подберем фланцы для патрубков газа и конденсата:

Подбираем фланцы к штуцерам из стали по табл.21.9 [17].

Фланцы на патрубки для подтоварной воды, 1 исполнение при давлении 1 МПа:

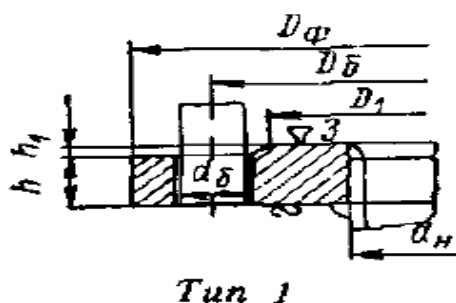


Рисунок 8 – Тип фланца

$$D_{\text{н.к}} := 0.065 \text{ м}$$

$$D_{\text{ф.к}} := 0.160 \text{ м}$$

$$D_{\text{б.к}} := 0.130 \text{ м}$$

$$D_{1.\text{к}} := 0.110 \text{ м}$$

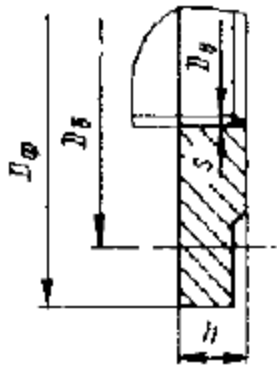
$$d_\phi - \text{M12}$$

$$n_\text{к} := 4 \text{ шт}$$

$$m_{\text{ф.к}} := 1.63 \text{ кг}$$

$$h_{\text{г.к}} := 0.013 \text{ м}$$

Подбираем фланцы к патрубкам воды табл.21.12, тип 1.[17]:



Тун 1

Рисунок 9 – Тип фланца

$$D_{\phi} := 0.1 \text{ м}$$

$$D_6 := 0.75 \text{ м}$$

$$D_1 := 0.06 \text{ м}$$

$$d_6 - \text{M10}$$

$$n := 4 \text{ шт}$$

$$m_{\phi.} := 0.055 \text{ кг}$$

$$h_T := 0.01 \text{ м}$$

3.7 Подбор опор аппарата

В данном разделе произведем подбор опор из каталога, после чего произведем поверочный расчет на минимальную толщину ребра жесткости, которая обеспечит прочность опоры.

По табл. 29.2 [17] подбираем опоры аппарата, исходя из веса аппарата, заполненного водой, можно взять опоры с выдерживаемой нагрузкой 0.01 МН, выбираем опоры 2 типа, так как аппарат с теплоизоляцией, а также исполнения Б, то есть сварные опоры:

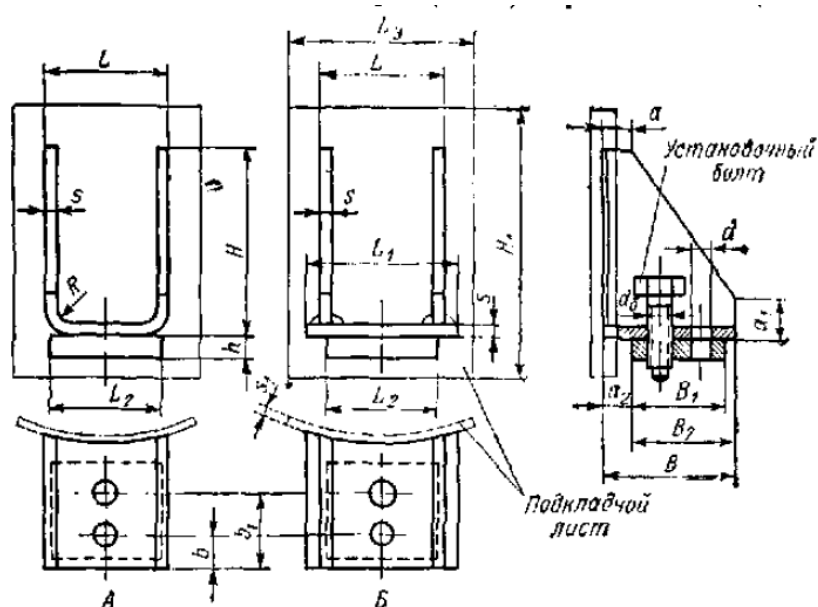


Рисунок 10 – Сварные опоры вертикального аппарата

$$G_{оп} := 0.0016 \text{ МН}$$

$$L := 0.05 \text{ м}$$

$$L_1 := 0.06 \text{ м}$$

$$L_2 := 0.04 \text{ м}$$

$$B := 0.1 \text{ м}$$

$$B_1 := 0.055 \text{ м}$$

$$B_2 := 0.06 \text{ м}$$

$$b := 0.015 \text{ м}$$

$$b_1 := 0.045 \text{ м}$$

$$H := 0.12 \text{ м}$$

$$h := 0.006 \text{ м}$$

$$s := 0.004 \text{ м}$$

$$a := 0.015 \text{ м}$$

$$a_1 := 0.025 \text{ м}$$

$$a_2 := 0.04 \text{ м}$$

$$R := 0.008 \text{ м}$$

$$d := 0.012 \text{ м}$$

M1C

$$m := 0.73 \text{ - масса, кг - исполнение Б}$$

Подкладной лист:

$$s_1 := 0.006 \text{ м}$$

$$L_s := 0.075 \text{ м}$$

$$H_1 := 0.155 \text{ м}$$

$$n := 2 \text{ - число лап}$$

$$l := B = 0.1 \text{ - вылет опоры}$$

$$z := 2 \text{ - число ребер}$$

$$\sigma := 100 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2} \text{ - допускаемое напряжение на сжатие}$$

$$c_1 := 0.001 \text{ м, прибавка}$$

$$G_{\text{ап}} := 100 \cdot g = 1 \times 10^3 \text{ Н} \quad (217)$$

$$G := \frac{G_{\text{ап}}}{10^6} = 1 \times 10^{-3} \text{ Н, нагрузка аппарата} \quad (218)$$

Толщину ребра определяем по формуле:

$$\delta := \left(\frac{2.24 \cdot G}{n \cdot 0.6 \cdot l \cdot z \cdot \sigma} \right) + c + c_1 = 2.093 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (219)$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \delta \leq s \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Вывод: Подобранные нами опоры полностью соответствуют критериям прочности. Минимальная расчетная толщина ребра жесткости опоры (2,1 мм) меньше выбранной нами из каталога (4 мм), что обеспечивает прочность опор

4 Результаты исследования

Одним из самых значимых расходов коммунальных платежей на сегодняшний день являются расходы по статье отопления. Поэтому стоит отметить, что возникает необходимость экономии расходов по данной статье. Такая необходимость возникает не только у частных лиц, вынужденных отапливать свои жилые помещения, используя уголь, газ, дрова, электричество, либо врезаться в систему центрального отопления, но и практически у всех предприятий любой отрасли. Все эти способы отапливания помещений являются очень затратными и ощутимо сказываются на бюджете. Кроме того, применяемые для получения энергии земные ресурсы являются невозобновимыми, что в свою очередь может привести к полному их исчерпанию. Исходя из всего этого, можно сделать вывод о том, что проблема отопления в настоящее время является актуальной как с финансовой точки зрения, так и с экологической.

В данном проекте предлагается решение имеющейся проблемы путем внедрения теплообменной установки, которая позволит использовать тепловую энергию недр Земли для отопления помещений объектов УПНиГ. Применение такого альтернативного способа позволит не только существенно сократить расходы по данной статье, а так же сократить объем потребления природных ресурсов.

В связи с этим, в данном проекте предлагается использовать тепловую энергию земли, а именно, за счет тепла добываемой нами нефти отапливать помещения на объектах УПНиГ. Согласно данным по термометрам, на многих объектах УПНиГ температура нефти достигает порядка 70 °С, а температура подтоварной воды – 60-65 °С. Если на объекте установить теплообменную установку, а в самих помещениях провести водяную систему отопления, и циркуляционную воду нагревать как раз через теплообменную установку подтоварной водой, то можно решить проблему большого энергопотребления на многих объектах УПНиГ. Согласно санитарно-

эпидемиологическим правилам и нормам СанПиН 2.1.4.2496-09, температура горячей воды в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°C и не выше 75°C [23]. Ну а что касается температуры циркуляционной воды в системе отопления, то этот момент никак не регламентируется. Максимальная температура теплоносителя согласно СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" для жилых, общественных и административных зданий должна быть не более 95 градусов для двухтрубных систем, и не более 105 °C для одноконтурных систем [24]. Но как показывает практика, температуры батарей в пределах 60 °C будет вполне достаточно, чтобы температура воздуха в помещении соответствовала всем нормам. Тем более, если учесть тот фактор, что расстояние трубопровода от теплообменной установки к системе отопления будет незначительным (в пределах 100 метров), то потери тепла будут несущественными, что также позволит практически все полученное от подтоварной воды тепло перенести в помещение.

Далее приведем расчет на примере Крапивинского месторождения, где предлагаемый способ отапливания помещений уже внедряется.

В операторной для обогрева применяются масляные обогреватели типа Delonghi TRD 0615 и мощностью 1,5 кВт в количестве 9 штук, также имеется кондиционер на входе в помещение мощностью 2 кВт. В маш.зале имеются 8 электронагревательных приборов с мощностью 2 кВт.

$$N_1 := 9 \text{ шт}$$

$$N_{1k} := 1 \text{ шт}$$

$$N_2 := 8 \text{ шт}$$

$$P_1 := 1.5 \text{ кВт}$$

$$P_{1k} := 2 \text{ кВт}$$

$$P_2 := 2 \text{ кВт}$$

Тариф на электроэнергию в рублях за кВт*ч примем (среднее значение согласно данным за 2018 год):

$$c := 3.3223 \text{ руб}$$

Произведем расчет затрат на электроэнергию за 30 календарных дней.

$$\Pi_1 := c \cdot N_1 \cdot P_1 \cdot 24 \cdot 30 + c \cdot N_{1k} \cdot P_{1k} \cdot 24 \cdot 30 = 3.708 \times 10^4 \text{ руб} \quad (220)$$

$$\Pi_2 := c \cdot N_2 \cdot P_2 \cdot 24 \cdot 30 = 3.827 \times 10^4 \text{ руб} \quad (221)$$

$$\Pi := \Pi_1 + \Pi_2 = 7.535 \times 10^4 \text{ руб} \quad (222)$$

В году помещения отапливаются примерно 6-8 месяцев. Примем 8 месяцев, поскольку местоположение объекта находится в северных широтах России.

$$\Pi_{\text{год}} := 8 \cdot \Pi = 6.028 \times 10^5 \text{ руб} \quad (223)$$

Как видно по расчетам, затраты за год, связанные с электрообогревом помещений составляют порядка 600 тыс. рублей.

Согласно мониторингу рынка теплообменников, можно определить, что средняя стоимость данного вида оборудования с перечисленными выше параметрами будет варьироваться в пределах 450 тыс. рублей с учетом доставки (без НДС). Также определенную долю затрат будет составлять монтаж оборудования и линии трубопровода, обустройство места для монтажа. Стоимость строительно-монтажных работ определена из стоимости монтажа одной тонны оборудования (9000 руб.) множенной на вес оборудования и составляет 10000 рублей. Стоимость данных видов работ включена в общую стоимость теплообменника, которая с учетом доставки составляет 450000 рублей.

Периметр помещений буден равен порядка 65 метров. Для эффективности теплообмена в помещении будет применяться не секционные батареи, а обычные трубы 60x3 мм. В операторной они будут монтироваться в 2 уровня, а в маш.зале в один, так как там нет необходимости поддерживать более высокую температуру. Согласно предложений на рынке труб было установлено, что средняя стоимость 1 тонны такого рода труб будет стоить в пределах 46 тыс. рублей (без НДС) с учетом доставки (13000

руб.). С учетом прокладки труб в помещении, а также прокладки трубопровода от теплообменной установки к помещению, суммарная длина труб составит порядка 250 метров

Средняя стоимость укладки труб системы отопления составляет 140 р/м. Итого общая стоимость укладки труб будет составлять 35000 рублей.

Следует также учесть помещение, где будет монтироваться теплообменник с насосным оборудованием. Рассмотрим затраты на его строительство согласно таблице (без НДС):

Таблица 3 – Расходы на монтаж бокса под теплообменник.

Параметр	Значение	Ед.измерения
Основные параметры		
Длина здания	6	м.
Ширина здания	5	м.
Высота здания	6	м.
Нагрузка на пол	2	т/м ²
Площадь здания	30	м ²
Периметр здания	22	м.
Земляные работы и фундамент		
Выборка грунта	8520	Руб.
Устройство стаканов под стойки каркаса	17250	Руб.

Продолжение таблицы 4

Основание под плиту (песок)	4230	Руб.
Основание под плиту (щебень)	9240	Руб.
Устройство бетонного пола	72000	Руб.
Итого по разделу	111240	Руб.
Конструкции здания (изготовление и монтаж)		
Металлокаркас	64200	Руб.
Проф.лист (стены)	99000	Руб.
Проф. Лист (кровля)	30600	Руб.
Роллетные ворота	80000	Руб.
Итого по разделу	273800	Руб.

Насосное оборудование, необходимое для перекачки циркуляционной воды, имеется в наличии. Следовательно, расходы на его приобретение не учитываются.

Посчитаем итоговую сумму затрат и сравним ее с годовой суммой затрат на электроэнергию, необходимую для обогрева помещений.

$$З := 450000 + 40000 + 14000 + 385000 + 40000 = 9.29 \times 10^5 \text{ руб.} \quad (224)$$

$$Ц_{\text{год}} = 6.028 \times 10^5 \text{ руб.}$$

Также стоит предусмотреть текущие расходы на электроэнергию, необходимую для работы насоса. Для работы насоса потребуется 3-5 кВт, так здание одноэтажное, а расстояние прохода теплоносителя по отопительной системе небольшое.

Итак, количество электроэнергии, необходимое на весь отопительный период в году:

$$P := 4 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 8 = 2.304 \times 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (225)$$

$$C_{\text{год}} := P \cdot c = 7.655 \times 10^4 \text{ руб} \quad (226)$$

$$ЗТ := C_{\text{год}} + 500 + 10000 = 8.705 \times 10^4 \text{ руб} \quad (227)$$

$$З + ЗТ = 1.016 \times 10^6 \text{ руб} \quad (228)$$

Далее сравним, во сколько раз уменьшаются текущие расходы на электроэнергию при внедрении теплообменной установки:

$$\frac{Ц_{\text{год}}}{ЗТ} = 6.925 \quad (229)$$

Конечно, для того чтобы выйти на положительный финансовый результат, необходимо некоторое время. То есть срок окупаемости будет равным:

Первый год:

$$CO_1 := Ц_{\text{год}} - З - ЗТ = -4.132 \times 10^5 \text{ руб} \quad (230)$$

Второй год:

$$CO_2 := C_{\text{год}} - |CO_1| - 3T = 1.025 \times 10^5 \text{ руб} \quad (231)$$

Как мы видим из расчетов, уже во второй год эксплуатации теплообменной установки, экономия средств составляет порядка 100 тысяч в год. Стоит отметить, что расчеты проводились только по одному объекту, а их, как известно, в компании насчитывается около 10 (имеется в виду по аналогии проблем).

$$Э_2 := CO_2 \cdot 10 = 1.025 \times 10^6 \text{ руб} \quad (232)$$

Уже по второму году эксплуатации теплообменного оборудования, примерная годовая экономия составит порядка 1 млн. рублей

Третий год:

$$CO_3 := C_{\text{год}} - 3T = 5.158 \times 10^5 \text{ руб} \quad (233)$$

Если учесть, что в компании имеется 10 объектов с такими же проблемами, и их можно решить предложенным выше способом, то на третий год эксплуатации годовая экономия средств составит:

$$Э_3 := CO_3 \cdot 10 = 5.158 \times 10^6 \text{ руб} \quad (234)$$

Далее, ежегодная экономия по одному объекту составит порядка полумиллиона рублей, по 10 объектам пять с лишним миллионов рублей.

Далее, в таблице 4 представлены данные, по которым можно увидеть разницу расходов на электроэнергию до внедрения теплообменной установки, а также после ее внедрения.

Таблица 4 – Сводка потребления электроэнергии до и после внедрения теплообменной установки.

Статья	Потребление до оптимизации	Потребление после оптимизации	Отношение потребления э/э до и после внедрения
Электроэнергия, кВт*ч	169900	23040	7,875
Тариф, руб/(кВт*ч)	3,3223	3,3223	
Итоговая стоимость, руб	602800	76550	

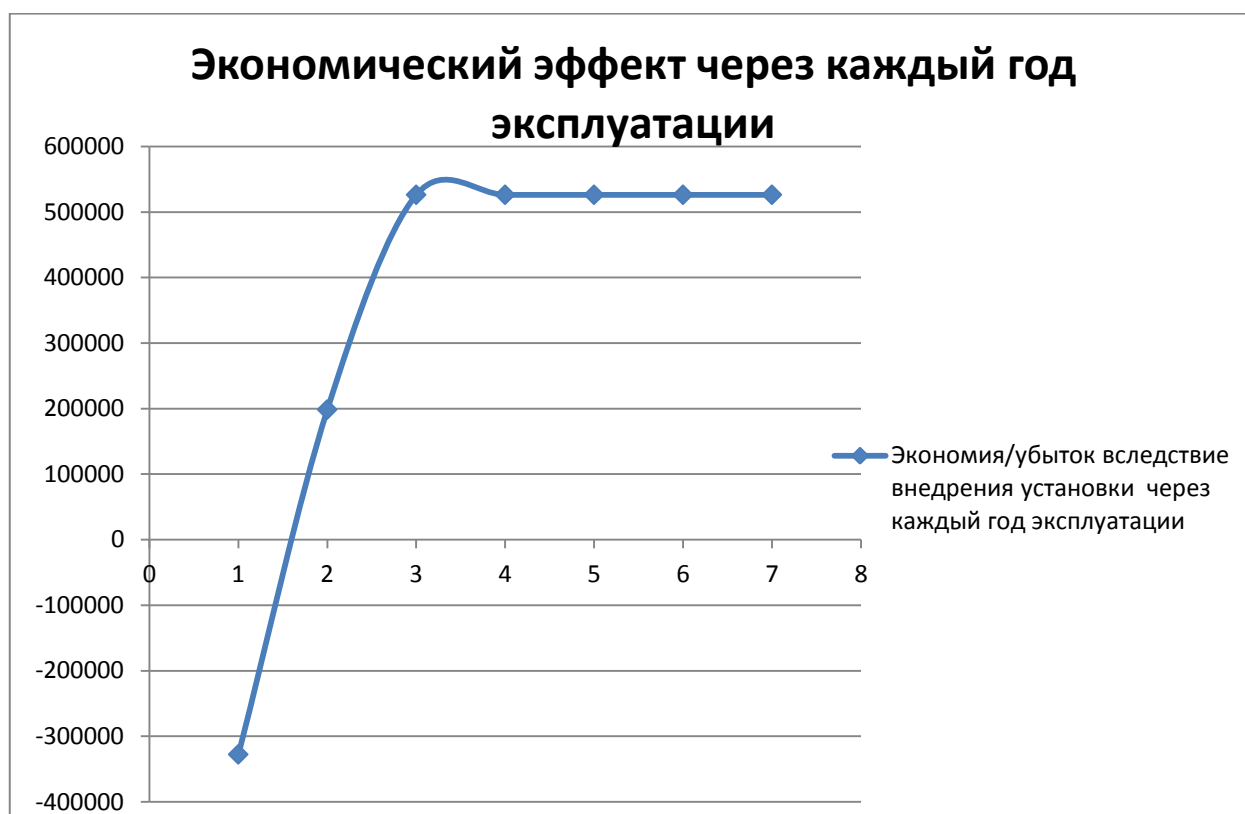


Рисунок 11- Экономический эффект

Как видно из расчетов по данным таблицы, экономия средств после внедрения установки начинается уже со второго года эксплуатации, и она составляет порядка 200 тысяч рублей. С третьего года эксплуатации теплообменной установки начинается максимально возможная экономия средств, которая превышает 500 тысяч рублей в год. Как было ранее

замечено, расчеты производились только по одному объекту одной компании, а таких объектов, по известным данным, с аналогичными проблемами можно насчитать около одного десятка. Даже при том, что температура добываемой нефти будет невысока (40-50 С°), то можно будет применить комбинированный способ отапливания помещений, то есть нехватку тепла компенсировать электронагревательным ТЭНом. Данный способ будет менее опасным и более дешевым, нежели отопление только электронагревательными приборами. Если учитывать данный фактор, то годовая экономия средств компании увеличивается в 10 раз и составит более 5 миллионов рублей. Стоит также упомянуть об упущенной экономии за все время, которое работает имеющийся объект в компании. Поэтому следует максимально эффективно и рационально использовать имеющиеся запасы энергии планеты, а не впустую их растрачивать, поскольку речь идет не только об экономии средств, а также об экономии природных источников энергии, которые в своем роде являются невозобновимыми.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы является разработка кожухотрубного теплообменника с целью оптимизации энергосбережения на установках подготовки нефти

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

В данном подразделе проект химического теплообменника для подготовки нефти рассмотрен с точки зрения его коммерческой значимости. Необходимые для данного рассмотрения расчёты произведены в соответствии с пособием

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

Конечным результатом реализации проекта является удовлетворение двух потребностей:

- предоставление на рынок более эффективного химического оборудования для подготовки нефти;

- упрощение процесса проектирования реакторов различного назначения за счёт создания программы их расчёта на базе MathCAD.

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования. Сегментация рынка

В качестве двух основных критериев сегментирования рынка предполагается выделить:

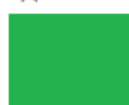
- географическое положение (территория России, ближнее и дальнее зарубежье);
- тип потребителя (крупные химические компании, мелкие частные фирмы, частные лица).

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

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

Рисунок 12- Карта сегментирования рынка химического оборудования

где:



– Экотех НН
Химтехпропром



– ОАО
НИИПТхиммаш



– ТПК
«Стелла»

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

- основные сегменты рынка химического оборудования в данной работы было целесообразно разделить по признакам географического положения и типам потребителей;

- наиболее благоприятными для продаж химических реакторов на первых этапах развития предприятия, в соответствии с картой, являются сегменты, отображающие частные компании и частных лиц, базирующихся в Российской Федерации;

- привлекательными для предприятия в будущем, в соответствии с картой, представляются сегменты государственных компаний Российской Федерации и частных компаний ближнего зарубежья, однако в данном сегменте предстоит столкнуться с высокой конкуренцией.

5.1.2 Оценка перспективности разработки

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

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

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

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

- простота эксплуатации – 96;
- унифицированность – 95;
- надёжность – 94;

- безопасность – 93;
- энергоэффективность – 92.

В соответствии с пособием список критериев, их веса, а также необходимые расчётные величины заносятся в таблицу 6

Таблица 6– Оценочная карта для анализа по технологии QuaD

терии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1.Энергоэффективность	0,12	82	100	0,82	0,984
2.Помехоустойчивость	0,05	81	100	0,81	0,0405
3. Надёжность	0,12	84	100	0,84	0,1008
4.Унифицированность	0,05	85	100	0,85	0,0425
5.Уровень материалоемкости разработк	0,08	65	100	0,65	0,05
6. Уровень шума	0,01	72	100	0,72	0,0072
7. Безопасность	0,1	83	100	0,83	0,083
8. Потребность в ресурсах памяти	0,005	75	100	0,75	0,00375
9. Функциональная мощность	0,02	87	100	0,87	0,0174
10.Простота эксплуатации	0,1	86	100	0,86	0,086
11.Качество интеллектуального интерфейса	0,005	73	100	0,73	0,00365
12.Ремонтопригодность	0,1	90	100	0,9	0,09
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13.Конкурентоспособность продукта	0,04	79	100	0,79	0,316
14.Уровень проникновения на рынок	0,01	65	100	0,65	0,0065

15.Перспектив-ность рынка	0,01	78	100	0,78	0,0078
16. Цена	0,1	72	100	0,72	0,072
17.Послепро-дажное обслу-живание	0,03	81	100	0,81	0,0243
18.Финансовая эффективность научной разра-ботки	0,03	74	100	0,74	0,0222
19. Срок выхода на рынок	0,01	69	100	0,69	0,0069
20. Наличие сертификации разра- ботки	0,01	68	100	0,68	0,0068
Итого	1				2,0186

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

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя

В соответствии с предложенной в классификацией можно говорить о перспективности научной разработки, поскольку значение средневзвешенного показателя качества и перспективности составило 2,01 или 201 баллов. Однако, в результате анализа было выяснено, что слабостью разработки могут оказаться уровень проникновения и сроки выхода на рынок. Эти слабые места необходимо учесть в последующих частях данного раздела работы, а именно – в SWOT-анализе.

5.1.3 SWOT-анализ разработки

В данного подраздела был произведён анализ сильных и слабых сторон разработки, рассмотрены перспективы возникновения благоприятных возможностей и угроз, а также дан анализ их корреляции. Матрица SWOT-анализа представлена в данной работе в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны 1. Возможность by-pass теплоносители между теплообменниками; 2. Гибкий по отношению изменения производительности ресурса; 3. Простота конструкции и обслуживания; 4. Большая эффективность процесса подогрева при любых производительностей (в диапазоне от 126 540 кг/ч до 759 220 кг/ч);	Слабые стороны 1. Занимает большое местоположение; 2. Большая металлоемкость при изготовлении; 3. Ограничения на типы ресурс (по свойствам сырой нефти); 4. Необходимость больше времени и персонал при ремонте и монтаже.
Возможности 1. Снижение подвода энергии в последующих теплообменника х и печи для дальнейшего процесса подогрева; 2. Попеременная работа между собой теплообменника ми; 3. Снижение себестоимости продукта. 4. Высокое качество продукта	Стратегия (SO) • Осуществление попеременного режима работы при производительности ниже максимального. • Проведение очистки /осмотра теплообменника при попеременном режиме работы	Стратегия (WO) • Интенсификация процесса теплообмена для снижения подвода энергии в последующих процессах нагревания. • Повышение качества продукта при интенсификации процесса теплообмена
Угрозы 1. Необходимость постоянной покупки и инъекции antifoulant для снижения загрязнения.	Стратегия (ST) • Осуществление режим by-pass теплоносителей между теплообменниками для снижения загрязнений при	Стратегия (WT). • Повышение эффективность процесса теплообмена. • Повышение качества

2. Открытие или создание нового аппарата с меньшим затратом при изготовлении.	производительности ниже максимального.	продукта при интенсификации процесса теплообмена.
3. Использование других типов сырой нефти в нефтеперерабатывающих отраслях.	• Повышение качества продукта при интенсификации процесса теплообмена.	
4. Открытие новых топлив.		

Результаты SWOT-анализа показывают, что универсальность программы, по которой рассчитывается химический реактор, позволяет решить большую часть внешних проблем, с которыми предстоит столкнуться разработчикам, в частности – падение спроса на продукт производства и ужесточение норм в области стандартизации.

В свою очередь, контакты в ТПУ и привлечение специалистов различного профиля в проект позволят развить его изнутри и повысить общий профессионализм команды.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе изложены аспекты планирования научно-исследовательской работы, перечислены этапы, необходимые для проектирования аппарата, подсчитано время, которое должно быть затрачено на выполнение каждого этапа и построена диаграмма, позволяющая рационально распределить временной ресурс между руководителем проекта и инженером.

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование структуры работ включает в себя составление перечня этапов, необходимых для исполнения проекта химического реактора для аммиачной селитры. Такой перечень дан в таблице 3. Подпунктам основных этапов разработки в данной таблицы присвоена сквозная нумерация, которая и далее будет использоваться в данной работе. Кроме того, было произведено распределение ответственности за выполнение той или иной работы между руководителем проекта и инженером, исполняющим данный проект таблицы 8.

Таблица 8– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления работы	2	Выбор направления исследований	Руководитель, Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Проведение работы	4	Проведение тепловых и материальных расчетов	Инженер
	5	Проведение ориентировочного расчета	Инженер

		поверхности теплообменна	
	6	Проведение конструктивного и гидравлического расчета	Инженер
	7	Проведение механического расчета	Инженер
	8	Согласование конструкции аппарата	Инженер
	9	Построение чертежей	Инженер
	10	Согласование чертежей, исправление ошибок	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	Определение целесообразности проведение НИР	Руководитель, инженер
	13	Оформление документации	Инженер
Презентация проделанной работы	14	Защита работы	Инженер

5.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Рассмотрим в качестве примера расчёта трудоёмкости этап работы, заключающийся в составлении и утверждении технического задания.

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

$$t_{\text{ож.1}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min.1}} + 2 \cdot t_{\text{max.1}}}{5} = 2.8 \text{ чел-дн}$$

где $t_{\text{ож.1}}$ – ожидаемая трудоёмкость 1 работы; $t_{\text{min.1}}$ – минимальная трудоёмкость 1 работы, чел-дн; $t_{\text{max.1}}$ – максимальная трудоёмкость 1 работы, чел-дн .

Поскольку руководитель выполняет данную работу один, в соответствии с формулой из пособия продолжительность работы составит:

$$T_{\text{р.1}} = \frac{t_{\text{ож.1}}}{\text{Ч}_1} = 2.8$$

где $T_{\text{р.1}}$ – продолжительность 1 работы, раб. дн.; Ч_1 – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Подобные рассуждения и расчёты осуществляются для всех подпунктов основных этапов научно-исследовательской работы.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данного подпункта осуществлено построение диаграммы Ганта и проведены необходимые расчёты для её построения.

При построении графика необходимо перевести рабочие дни в календарные, для чего используется следующая формула:

$$T_{\text{к.і}} = T_{\text{р.і}} \cdot k_{\text{кал}}$$

где $T_{\text{к.і}}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности .

Данный коэффициент рассчитывается по формуле:

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

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

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

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

Примем коэффициент календарности равным 1,5. Все рассчитанные значения заносятся в таблицу 9 .

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоёмкость работ			Число исполнителей	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	T_{\min} , чел-дн	T_{\max} , чел-дн	$T_{\text{ож}}$, чел-дн			
1	2	4	2,8	1	3	4
2	5	8	6,2	1	6	9
3	4	5	4,4	1	4	7
4	1	2	1,4	2	1	1
5	1	2	1,4	2	1	1
6	2	4	2,8	1	3	4
7	7	12	7,8	1	8	12

8	16	28	20,8	1	21	31
9	3	10	5,8	1	6	9
Номер работы	Трудоёмкость работ			Число исполнителей	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	T _{min} , чел- дн	T _{max} , чел- дн	T _{ож} , чел- дн			
10	3	10	5,8	1	6	9
11	1	2	1,4	2	1	1
12	8	10	8,8	1	9	13
13	8	10	8,8	1	9	13
14	1	1	1	1	1	1

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

Диаграмма Ганта для научно-исследовательской работы в целях проектирования химического реактора для аммиачной селитры представлена на рисунке 13

№ Раб от	Вид работа	Исполнители	Т _{к.і} , Кал.дн.															
				Фев		Март			Апрел ь			Май			Июнь			
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4															
2	Выбор направления исследований	Инженер	9															

3	Календарное планирование работ по теме	Инженер	7																
4	Проведение тепловых и материальных расчетов	Руководитель, инженер	1																
5	Проведение ориентировочного расчета поверхности теплообменника	Руководитель, инженер	1																
6	Проведение конструктивного и гидравлического расчета	Инженер	4																
7	Проведение механического расчета	Инженер	12																
8	Согласование конструкции аппарата	Инженер	31																
9	Построение чертежей	Инженер	9																
10	Согласование чертежей, исправление ошибок	Инженер	9																
11	Оценка эффективности и полученных результатов	Руководитель, инженер	1																
12	Определение целесообразности проведения НИР	Инженер	13																
13	Оформление документации	Инженер	13																
14	Защита работы	Инженер	1																

Рисунок 13 – Календарный план график проведения НИР по теме

Таблица 10 – Сводная таблица по календарным дням

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

5.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

5.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расхи}} ,$$

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

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

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

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

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица -11.

Таблица 11 - Результаты расчётов по затратам на материалы

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество, ед.	Суммарная стоимость, руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	600	4	2400
Картридж для лазерного принтера MLT-D111S/SEE	4000	1	4000
CD-диск VS CD-RW 500 Mb	100	2	200
Всего за материалы, руб.			6600
Транспортно-заготовительные расходы, руб.			1500
Итого по статье, руб.			8100

ЗАТРАТЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ноутбук Lenovo. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 4 года.

Таблица 12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	4	30	30
Итого		30 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

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

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0.25$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0.25 \cdot 30000}{12} \cdot 4 = 2062$$

5.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_M = Z_{OK} \cdot k_p$$

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

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

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

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

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}}$$

где $З_{\text{д}}$ – среднедневная заработная плата, руб; $М$ – количество месяцев работы без отпусков в течение года; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчёт действительного годового фонда рабочего времени сводится в таблицу 13. Учтём, что руководитель работает по шестидневной рабочей неделе, а инженер – по пятидневной.

Таблица 13– Баланс рабочего времени

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

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

$$З_{\text{дн}} = \frac{43763,2 \cdot 10,4}{251} = 1813,3 \text{ руб}$$

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}$$

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

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

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

Как и было сказано выше, результаты расчёта основной заработной платы инженера сведены в таблицу 14.

Таблица 14– Расчёт основной заработной платы

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

5.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В соответствии с пособием дополнительная заработная плата исполнителей темы равна:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

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

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

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

Для инженера:

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

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

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

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

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

Также по рекомендации пособия расчёт отчислений во внебюджетные фонды оформлен в виде таблицы 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

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

5.4 Накладные расходы и формирование бюджета

В соответствии с пособием накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \Sigma \text{ст} \cdot k_{\text{нр}}$$

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

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

5.4.1 Оценка научно-технического эффекта разработки

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

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

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

Признаки научно-технического эффекта разработки систематизируются в соответствующую таблицу 17, в которой также проставляются баллы по каждому признаку.

Таблица 17 – Оценка научно-технического эффекта разработки

Признак НТУ	Весовой коэфф.	Балл	Характеристика разработки	Выбранный балл
Уровень новизны	0,6	от 8 до 10 от 5 до 7 от 2 до 4 0	Принципиально новая Новая Относительно новая Не обладает новизной	5
Теоретиче-ский уровень результатов	0,4	10 8 6 2 0,5	Установление закона Глубокая разработка проблемы Разработка способа (программы, устройства) Элементарный анализ Изложение опыта	6
Возможность реализации	0,2	Время реализации		10
		10 4 2	В течение первых лет От 5 до 10 лет Свыше 10 лет	
Возможность реализации	0,2	Масштаб реализации		4
		10 4 2	Народное хозяйство Отрасль Одно или несколько предприятий	

Таким образом, по формуле:

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

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

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

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

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

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

6. Социальная ответственность

Данная бакалаврская работа является разработкой кожухотрубного теплообменника с целью оптимизации энергосбережения на установках подготовки нефти.

Областью применения данного вида оборудования являются нефтяная промышленность.

Рабочей зоной для выполнения научного исследования является научная химическая лаборатория кафедры машин и аппаратов химических производств 2 корпуса ТПУ.

В текущем разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в лаборатории, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников лаборатории опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации антропогенного характера и меры для их предупреждения и устранения

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.

Согласно трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя.

В соответствии с нормами правового регулирования и техникой безопасности, каждый работник лаборатории должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты и смывающими веществами, такими как слабый раствор уксусной кислоты, щёлочи и пищевой соды.

6.1.2 Эргонометрические требования к правильному расположению и компоновки рабочей зоны.

Оптимальная поза человека в процессе трудовой деятельности обеспечивает высокую работоспособность и производительность труда. Нормальной рабочей позой следует считать такую, при которой работнику не требуется наклоняться вперед больше чем на $10-15^{\circ}$; наклоны назад и в стороны нежелательны; основное требование к рабочей позе – прямая осанка.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя, работа в позе сидя более рациональна и менее утомительна, так как уменьшается высота центра тяжести над площадью опоры, повышается устойчивость тела, снижается напряжение мышц, уменьшается нагрузка на сердечно-сосудистую систему. В положении сидя обеспечивается возможность выполнять работу, требующую точности движений.

Существенное влияние на работоспособность оператора оказывает правильный выбор типа и размещения органов и пультов управления машинами и механизмами. При компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет 120° , с поворотом – 225° ; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы – $30-40$ (допустимый 60°), с поворотом 130° .

Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет 130° , оптимальный – 30° вверх и 40° вниз. Приборные панели следует располагать так, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линиям взора оператора, а необходимые органы управления находились в пределах досягаемости.

6.2 Производственная безопасность

Анализ факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-15 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Выявленные факторы перечислены в таблице 18.

Таблица 18. Опасные и вредные факторы кожухотрубчатого теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото вление	Эксплу атация	
1.Повышенный уровень вибрации	-	+	+	ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.[37]
2.Повышенный уровень шума	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [31]
3.Электрический ток	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [40]
4.Повышенная температура поверхности оборудования	-	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.[42] ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.[44]

6.2.1 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

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.

6.2.1.1 Повышенный уровень вибрации

Длительное воздействие производственной вибрации на человека вызывает ряд функциональных и физиологических последствий, наиболее опасные из которых могут привести к нарушениям в сердечно сосудистой системе, в опорно-двигательном аппарате, а также развитию нервных заболеваний.

Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе.

При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения.

6.2.1.2 Повышенный уровень шума

Причиной повешения уровня шума является износ трущихся деталей, подшипников, неточная сборка машина при ремонтах.

Повышение уровня шума оказывает вредное воздействие на организм человека, производственное оборудование, коммуникации и сооружения. Все это предусматривает необходимость разработки и осуществления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий для снижения шума до величины установленных санитарными нормами и ГОСТ 12.1.003-2014.

Основным методом снижения шума на производственных объектах является его ослабление в источниках шума.

6.2.1.3 Электрический ток

При сборке, наладке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током. Особенно опасно прикосновение рабочего к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При непосредственном прикосновении работника к таким частям, возникают местные поражения (ожоги). Возникают так же механические повреждения – разрыв тканей и некоторых внутренних органов.

Для понижения вероятности удара разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам, установленный. Также, следует соблюдать

технику безопасности при работе с электроприборами. Основные способы и средства электрозащиты:

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

6.2.1.4 Повышенная температура поверхности оборудования

Теплообменник, температура наружных поверхностей которого в процессе эксплуатации повышается, приводит к термическим ожогам кожных покровов.

При необходимости и во избежание термических ожогов нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите:

- на элементах тепло, изоляции устанавливают оцинкованные листы;
- покрывают теплообменник стекловолокном;
- во избежание сильного расхода тепла, теплообменник помещают в кожух.

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия вредных и опасных факторов.

Общие требования безопасности к оборудованию:

- материалы, конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации;
- конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы,

- способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих;
- движущиеся части производственного оборудования, являющиеся источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосновения к ним работающего или использованы другие средства (например, двухручное управление), предотвращающие травмирование;
 - производственное оборудование должно быть пожаро-взрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации;
 - конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, если такой контакт может явиться причиной пожара или взрыва, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими или переохлажденными частями, или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев или переохлаждение работающего.

6.3 Экологическая безопасность

При подготовки и компримирование газа для эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника газ подвергается сепарации, осушке и компримированию.

Подготовка газа не является безотходным процессом. При подготовке газа так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки газа включает в себя проблемы загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.

- Защита атмосферы.

Основные источники загрязнения это выбросы вредных веществ в атмосферу с факела. При сжигании попутного нефтяного газа на факелах в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ :

- Диоксид азота;
- Углерод черный (сажа);
- Оксид углерода;
- Метан;
- Бензапирен.

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных расширителей на факельном газопроводе с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;
- Перед подачей газа на факела, использовать очистку газа от токсичных веществ.

-Защита гидросферы.

Загрязненные стоки образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при разгерметизации трубопроводов и оборудования.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- Обвалование площадок, где возможен разлив продукта;
- Дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведении их в систему поддержания пластового давления для совместного использования в технологическом процессе.

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.

-Защита литосферы.

Так как в научном исследовании отсутствуют твёрдые материалы вредные воздействия на литосферу отсутствуют.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

На производственных предприятиях могут возникнуть чрезвычайные ситуации разного характера: техногенного и природного.

Производство находится в городе Томске, в качестве природных катаклизмов здесь бывают сильные морозы и наводнения. В качестве техногенных чрезвычайных ситуаций можно предположить пожар, диверсии и обрушение здания.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Значения температурных минимумов -50°C , температурных максимумов $+40^{\circ}\text{C}$. Достижение критически низких температур может привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению типовой ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;
- применяемые, обращающиеся и получаемые вещества не обладают способностью быстро и спонтанно полимеризоваться, реагировать с водой, саморазогреваться и самовоспламеняться, не склонны к непроизвольному термическому разложению при высоких температурах и давлениях;
- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обращаемых веществ;
- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов, т.д.

- Способы и средства пожаротушения.

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно на установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10Г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;

- пожарные краны в помещении компрессорной.
- Безопасность при чрезвычайных ситуациях

В условиях ЧС необходимо знать правила поведения во избежание паники и несчастных случаев.

Для тушения небольших очагов горения применяют ручные пенные или углекислотные огнетушители.

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ и оценка вредных и опасных факторов, которые могут оказать воздействие на инженера-технолога, а также приведены рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды. Рассмотрены вопросы связанные с возникновением чрезвычайных ситуаций и меры по их устранению.

Заключение

Цель данной работы заключалась в том, чтобы оптимизировать затраты на электроэнергию объектов подготовки и перекачки нефти. В результате работы цель была достигнута. Был выбран альтернативный источник энергии – тепловая энергия нефти, добываемой на объекте. Также был подобран и рассчитан аппарат, при помощи которого будет производиться теплопередача в систему отопления.

В ходе работы, как уже было сказано, выбрали кожухотрубный теплообменник с неподвижной трубной решеткой. Произвели механический расчет всех отдельных узлов теплообменного аппарата. Результатом данных расчетов является то, что на всех отдельных узлах выполняются проверки критериев надежности (прочность, жесткость).

После проведения расчетов была произведена оценка экономической эффективности внедрения теплообменной установки для отапливания производственных и непроизводственных помещений. В результате оценки пришли к выводу о том, что внедрение данного агрегата будет экономически целесообразным, а срок окупаемости с учетом амортизации и коэффициента дисконтирования составит 2 года и 4 месяца. В случае, если внедрение будет производиться одновременно на нескольких объектах, окупаемость будет меньше.

Проанализировав нормативно-техническую документацию, действующие стандарты, ГОСТы, а также санитарные нормы и правила, выявили опасные и вредные факторы, которые имеются на рабочем месте объектов подготовки и перекачки нефти, и, конечно, влияние, оказываемое на окружающую среду. Согласно этим же источникам были определены способы защиты персонала от имеющихся опасных и вредных факторов, а также способы защиты окружающей среды.

Список использованной литературы

1. Renewable Energy for industry/ International energy agency. Insights series 2017/ Cedric Philibert/ France.
2. Heat from Renewable Energy Sources/ The RES-H initiative and related Directives/ VHK nr. 332, 5 Sept. 2002.
3. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume4 Issue6 – June 2013/ Solar Energy: The Future.
4. Journal of Clean Energy Technologies, Vol.1, No. 3, Jule 2013/ Environmental Impacts of Wind Energy.
5. Reproduced with permission from Energy for Sustainable Development/ Biomass energy in China and its potential.
6. The Future of Geothermal Energy/ impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century/ 2006 Massachusetts Institute of Technology.
7. О.К. Семакина/ Машины и аппараты химических производств/Учебное пособие. Часть 1/ Томский политехнический университет – Томск, 2003. – 118 с.
8. Результаты анализов химико-аналитической лаборатории
9. Павлов К.Ф, Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов — 14-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 576 с.
10. Аппараты теплообменных кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе по ТУ 3612-024-00220302-02
11. Сортамент ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные ».
12. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию - 5-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2010. — 496 с.

- 13.Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.2 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность».
- 14.Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.1 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования».
- 15.Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением/ ПБ 03-576-03. 2008 г.
- 16.Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52857.3 2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность».
- 17.Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
- 18.Михалев М.Ф. расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград «Машиностроение» 1984 г.
- 19.Технологический расчет и подбор стандартного оборудования для установок системы сбора и подготовки скважинной продукции: учебное пособие/ Леонтьев С.А. Галикеев Р.М. Тарасов М.Ю. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.- 124 с.
- 20.Технологический регламент. Участок предварительной подготовки нефти (УПСВ Южно-Черемшанского месторождения).
- 21.ГОСТ 12.2.085 – 2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
- 22.ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.
23. СанПиН 2.1.4.2496-09. «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01».
- 24.СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование".
- 25.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Криницына З.В.,

- Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
26. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы от 25 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]: - Режим доступа [www.URL: http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html](http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html).
27. ГОСТ 12.0.002–80 (с изм. №1) ССБТ. Термины и определения.
28. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
29. СанПиН 2.2.4.584-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
30. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности. [Текст].- введ. 01.07.1984.- М.: Стандартиформ, 2008. – 13 с.
31. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
32. ГОСТ 12.1.019-79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
33. ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.
34. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.
35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
36. ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
37. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
38. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
39. ТК РФ. Трудовой кодекс РФ.