

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

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
РАЗРАБОТКА ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ НПС «ПАРАБЕЛЬ»

УДК 66.045.126-047.84:697.32(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Перемитина Диана Евгеньевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Перемитиной Диане Евгеньевне

Тема работы:

Разработка пластинчатого теплообменника для котельной НПС «Парабель»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1235/с от 18.02.2019
Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Разработка теплообменного оборудования для установки получения горячей воды Холодный теплоноситель – вода; Горячий теплоноситель – вода; Расход холодного теплоносителя: 19,03 кг/с; Расход горячего теплоносителя: 18,89 кг/с; Начальная температура горячего теплоносителя: 105 °С;
--	---

	Конечная температура горячего теплоносителя: 80 °С Начальная температура холодного теплоносителя: 70 °С; Конечная температура холодного теплоносителя: 95 °С Давление в теплообменнике: 0,6 МПа
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Реферат Введение 1 Описание технологической схемы 2 Технологический расчет 3 Конструктивный расчет 4 Прочностной расчет 5 Гидравлический расчет 6 Поверочный расчет 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8 Социальная ответственность Заключение Список литературы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Технологическая схема котельной НПС «Парабель» А1 Лист 2 – Общий вид пластинчатого теплообменника А1 Лист 3 – Общий вид пластинчатого теплообменника Лист 4 – Техничко-экономические показатели А1
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницина Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Механический расчет оборудования	Беляев Василий Михайлович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2019
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Перемилова Диана Евгеньевна		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; 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, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК- 3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), 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	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4K51	Переминой Диане Евгеньевне

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

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Проведение оценки экономической эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
3. Расчет технико-экономических показателей

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Переминова Диана Евгеньевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4K51	Переметиной Диане Евгеньевне

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

Тема ВКР:

Разработка пластинчатого теплообменника для котельной НПС «Парабель»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – пластинчатый теплообменник Рабочая зона – котельная Область применения – системы теплоснабжения, электроэнергетика, химическая, нефтяная и газовая промышленность
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.
2.Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1.Повышенный уровень шума; 2.Электрический ток; 3.Повышенная температура поверхности оборудования.
3. Экологическая безопасность: -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	1. Защита от загрязнения сточными водами; 2. Основные мероприятия по охране почв.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка превентивным мер по

	предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.
--	--

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Перемилина Диана Евгеньевна		

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 97 страниц машинописного текста, 11 рисунков, 28 таблиц, 28 источников литературы, и 4 листа графического материала формата А1.

Ключевые слова: теплообменник, фланец, стяжка, резина, пластина. Объектом исследования является пластинчатый теплообменник.

Цель работы – проектирование пластинчатого теплообменника для котельной НПС «Парабель» для оптимизации процесса теплообмена.

Произведен тепловой расчет, где найдена поверхность теплообмена. В конструктивном расчете выбран размер и компоновка пластин, подобраны стандартные штуцера. В механическом разделе произведен расчет толщины прижимных боковых плит, прочность стяжных шпилек и фланцевого соединения. Произведен гидравлический расчет теплообменника.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: аппарат высотой 1700 мм, длиной 1865 мм, 4 штуцера диаметрами 150 мм, толщина пластины 1 мм, 236 пластин.

Степень внедрения: аппарат внедрен в котельной НПС «Парабель» АО «Транснефть – центральная Сибирь».

Область применения: нефтехимическая промышленность.

В результате исследования было подтверждено, что рассчитанный теплообменник соответствует всем предъявляемым технологическим характеристикам.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» описаны ресурсоэффективность проекта и его анализ.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены опасные и вредные факторы при работе установки и предусмотрены меры по их устранению.

Abstract

The diploma project consists of an explanatory note containing 97 typewritten text, 11 figures, 28 tables, 28 sources used, and 4 sheets of graphic material A1.

Keywords: heat exchanger, flange, tie, rubber, plate. The object of the study is a plate heat exchanger.

The aim of the work is to design a plate heat exchanger for the boiler house of the Parabel OPS to optimize the heat exchange process.

A heat calculation was made where the heat exchange surface was found. In a constructive calculation, the size and layout of the plates was chosen, standard chokes were selected. In the mechanical section, the calculation of the thickness of the clamping side plates, the strength of the tie rods and the flange connection was made. Produced hydraulic calculation of the heat exchanger.

The main design, technological and technical and operational characteristics: apparatus with a height of 1700 mm, length 1865 mm, 4 fittings with diameters of 150 mm, plate thickness 1 mm, 236 plates.

Degree of implementation: the device is implemented in the boiler house of the OPS «Parabel» «Transneft Central Siberia» JSC

Scope: petrochemical industry.

As a result of the study, it was confirmed that the calculated heat exchanger meets all the required technological characteristics.

The section «Financial management, resource efficiency and resource saving» describes the resource efficiency of the project and its analysis.

In the section «Social responsibility», dangerous and harmful factors are considered during the operation of the installation and measures are provided for their elimination.

Содержание

Введение.....	14
1 Описание технологической схемы	16
2 Технологический расчет теплообменника	18
2.1 Уточненный расчет требуемой поверхности	19
3 Конструктивный расчет теплообменника	23
3.1 Расчет патрубков и подбор фланцев	27
4 Прочностной расчет теплообменника.....	29
4.1 Определение расчетных параметров	30
4.2 Расчет прямоугольных боковых плит	31
4.2.1 Расчет прижимной плиты	31
4.2.2 Расчет неподвижной плиты	32
4.3 Расчет по выбору минимального диаметра крепежных деталей	34
4.3.1 Расчет по выбору минимального диаметра для шпильки стяжной..	34
4.3.2 Определение расчетных параметров	35
4.3.3 Расчет по выбору минимального диаметра стержня болтов.....	37
4.4 Расчет прокладок на распор гидростатическим давлением	37
4.5 Прочностной расчет фланцевого соединения.....	38
4.5.1 Основные расчетные значения	39
4.5.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения	42
4.5.3 Усилия в болтах фланцевого соединения при затяжке и рабочих условиях	43
4.5.4 Проверка прочности болтов и прокладки	46
4.5.5 Расчет фланцев на статическую прочность	47

4.5.6 Проверка углов поворота фланцев.....	50
4.5.7 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость.....	50
5 Гидравлический расчет теплообменного аппарата	53
6 Поверочный расчет теплообменного аппарата.....	55
6.1 Расчет на прочность стяжек резьбовых	55
6.1.1 Определение расчетных параметров	56
6.2 Определение напряжения смятия в месте контакта шайба-гайка и плита прижимная	60
6.3 Расчет на циклическую прочность.....	61
6.3.1 Определение расчетных параметров	62
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	64
7.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
7.2 SWOT-анализ.....	64
7.3 Планирование научно-исследовательских работ	65
7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	65
7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	66
7.3.3 График проведения работ	67
7.3.4 Бюджет научно-технического исследования	69
7.3.4.1 Расчет материальных затрат	70
7.3.4.2 Сумма амортизационных отчислений	71
7.3.4.3 Расчет основной заработной платы	71
7.3.4.4 Дополнительная заработная плата.....	74
7.3.4.5 Расчет основной заработной платы	74
7.3.4.6 Накладные расходы	75
7.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского	

проекта	75
7.3.4.8 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	76
7.4 Расчет затрат на производство продукции	79
8 Социальная ответственность	84
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
8.2 Производственная безопасность	86
8.3 Экологическая безопасность.....	90
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
Заключение	94
Список использованных источников	95

Введение

Горячее водоснабжение (ГВС) используется повсеместно, в каждом предприятии. Промышленные предприятия потребляют огромное количество теплоты на технологические нужды, отопление и горячее водоснабжение. Тепловая энергия в виде горячей воды вырабатывается производственными отопительными котельными. Система ГВС котельной состоит из пластинчатых теплообменников и водоподогревателей.

Пластинчатый теплообменник - это устройство, в котором осуществляется процесс передачи теплоты одной среды к другой - от горячего теплоносителя к холодному и наоборот. Соответственно, в зависимости от назначения такие теплообменные аппараты используют как для нагрева, так и для охлаждения. Основное применение данные аппараты нашли в системах горячего водоснабжения, в системах отопления жилых домов и центральных тепловых пунктов, а также используются во многих технологических процессах. Пластинчатый теплообменник представляет собой каркас, состоящий из задней неподвижной панели и передней подвижной плиты, которые стягиваются направляющими. Между плитами помещаются штампованные пластины, изготовленные из нержавеющей стали. Между пластинами находится двойное резиновое уплотнение. Специальное расположение пластин в теплообменнике образует каналы, которые чередуются с нагреваемой и греющей средой, благодаря чему и обеспечивается процесс теплообмена.

На каждый пластинчатый теплообменник необходимо проводить индивидуальный расчет, чтобы обеспечить максимальный экономический эффект его работы. В каждом конкретном случае на экономическую эффективность работы теплообменника влияет правильность его расчета и соответствие режима его работы расчетному. Но, можно выделить несколько факторов, которые позволяют определить пластинчатый теплообменник как более экономичный по отношению к кожухотрубному теплообменнику при любых условиях:

- Малые габариты, которые составляют около 20 % размеров кожухотрубных аппаратов;

- Контролируемая высокая турбулентность потока теплообменника, что отражается в гораздо меньшем загрязнении, что напрямую влияет на коэффициент теплопередачи. Также большая устойчивость к вибрации, напряжению и усталости материалов;

- Конструктивная особенность пластинчатого теплообменника позволяет исключить возможность появления внутри аппарата протечек, которые приводят к смешиванию сред;

- Снижение затрат на монтажные работы, техническое обслуживание;

- Повышенная способность теплообмена и вследствие этого повышенный КПД;

- Срок службы пластинчатого теплообменника больше за счет изготовления теплообменных пластин из нержавеющей стали;

- Возможность изменения характеристик уже эксплуатируемого теплообменника;

- Низкие потери давления, малая величина недогрева.

Применение пластинчатого теплообменника позволяет экономить капитальные затраты в среднем на 20-30%. Переходить на различные режимы работы, такие как: температурный график в ночное и дневное время, выходные дни и соответственно получать экономию теплопотребления в среднем 10-15%, а в переходный период отопительного сезона экономия теплопотребления может достигать 25-30%. В результате получаем более экономически эффективное использование, более высокий КПД.

1 Описание технологической схемы

Принципиальная тепловая схема котельной с водогрейными котлами для теплоснабжения закрытой системы показана на рис. 1.1.

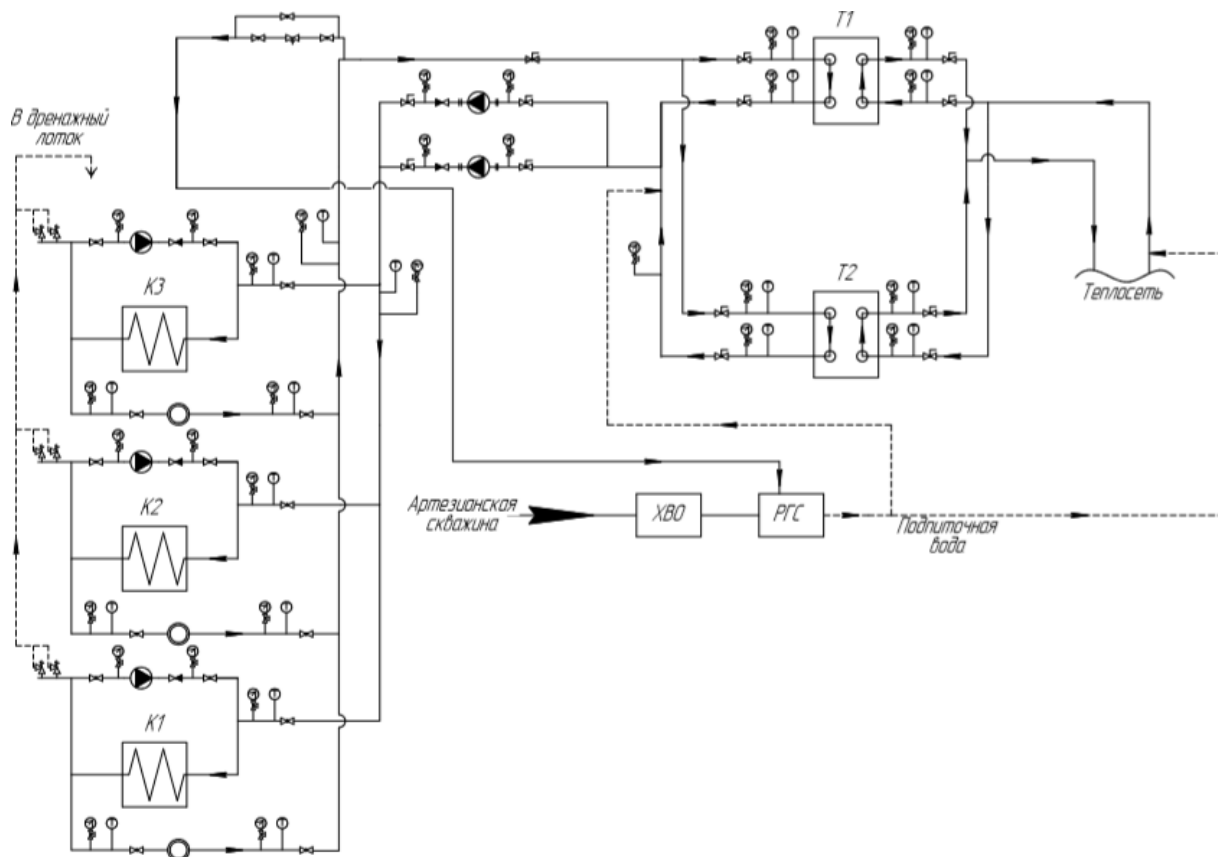


Рисунок 1.1 – Технологическая схема котельной

Источником теплоснабжения на НПС «Парабель» является котельная на три котла КВ-ГМ. В качестве топлива используется мазут или газ. Система ГВС котельной состоит из двух пластинчатых теплообменников Т1, Т2.

Вода в котел подается подпиточным насосом CRE 1-17, из подпиточного бака через ХВО. Заполнение ведется до появления воды из воздушников. Заполнение котла водой с температурой ниже 5 °С запрещается.

Нагретая в котле вода до температуры 105 °С подается параллельно в два пластинчатых теплообменника и, охладившись до температуры 70 °С, поступает вновь в котлы для подогрева. Циркуляция воды в системе обеспечивается двумя

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Описание технологической схемы				Лит.	Лист	Листов	
Выполнил	Перемитина Д.Е.								Д		16	2
Провер.	Семакина О.К.								ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.												
Утверд.												

циркуляционными насосами Х2/25. Давление в системе поддерживается двумя подпиточными насосами CRE 1-17. При этом один насос находится в работе, другой - в резерве. Подпитка осуществляется из подпиточного бака объемом 50 м³. Подпиточный бак представляет собой горизонтальный стальной резервуар РГС-50. В качестве насосной воды используется вода из артезианской скважины. Для приведения воды в соответствие с нормами используется водоподготовительная установка химводоочистки (ХВО), где происходит обезжелезивание, фильтрование и умягчение подпиточной воды на - катионированием. После ХВО подготовленная вода поступает в подпиточный бак.

Котельная на НПС автоматизирована. При остановках котельной остаточная вода из котлоагрегатов сливается в дренажный латок.

Потребителями тепла на НПС являются производственное и административно-бытовое помещения.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2 Технологический расчет теплообменника

Исходные данные для технологического расчета представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Наименование	Значения
Начальная температура горячей воды, °C	$t_{1н} = 105$
Конечная температура горячей воды, °C	$t_{1к} = 80$
Начальная температура холодной воды, °C	$t_{2н} = 70$
Конечная температура холодной воды, °C	$t_{2к} = 95$
Расход горячей воды, кг/с	$G_1 = 18,89$
Расход холодной воды, кг/с	$G_2 = 19,03$

Разность температур горячей среды:

$$\Delta t_1 = 105 - 95 = 10^\circ\text{C}$$

Разность температур холодной среды:

$$\Delta t_7 = 80 - 70 = 10^\circ\text{C}$$

Средняя разность температур вычисляется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = 10^\circ\text{C}$$

Средняя температура горячей среды:

$$\Delta t_{1cp} = \frac{105 + 80}{2} = 92,5$$

Средняя температура холодной среды:

$$\Delta t_{2cp} = \frac{70 + 95}{2} = 82,5$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ									
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата										
Выполнил	Перемитина Д.Е.				Технологический расчет Лит. Лист Листов Д 18 5 ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51									
Провер.	Семакина О.К.													
Н. Контр.														
Утверд.														

Таблица 2.1 – Теплофизические свойства сред

	Горячая вода при 92,5 °С	Холодная вода при 82,5 °С
Плотность, кг/м ³	$\rho_1 = 963,6$	$\rho_2 = 970,2$
Теплопроводность, Вт/м·К	$\lambda_1 = 0,675$	$\lambda_2 = 0,681$
Теплоемкость, Дж/кг·К	$c_1 = 4211$	$c_2 = 4198$
Коэффициент динамической вязкости, Па·с	$\mu_1 = 0,307 \cdot 10^{-3}$	$\mu_2 = 0,345 \cdot 10^{-3}$

Тепловая нагрузка

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2к} - t_{2н}) = 1,997 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Коэффициент теплопередачи от жидкости к жидкости примем минимальным, соответствующий турбулентному течению, по табл. 2.1 [1]

$$K_{op} = 1700 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Находим ориентировочную поверхность теплоотдачи:

$$F_{op} = \frac{Q_2}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,997 \cdot 10^6}{1700 \cdot 10} = 117,482 \text{ м}^2$$

По табл. 2.13 [1] для уточненного расчета примем:

Площадь пластины $f=0,6 \text{ м}^2$, площадь поверхности теплообмена $F=140 \text{ м}^2$, число пластин $N=236$, масса аппарата $M=2290 \text{ кг}$.

2.1 Уточненный расчет требуемой поверхности

Рассмотрим разборный пластинчатый теплообменник с характеристиками пластин, представленных в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики пластин

Наименование	Значение
Эквивалентный диаметр канала, м	$d_s = 8,3 \cdot 10^{-3}$
Поперечное сечение канала, м ²	$S = 2,45 \cdot 10^{-3}$
Приведенная длина канала, м	$L_{п} = 1,01$
Длина, м	$a_1 = 1,375$
Ширина, м	$b_1 = 0,6$
Толщина, м	$\delta_{ст} = 0,001$

Принимаем симметричную трехпакетную компоновку пластин:
 Сх: (39+39+40)/(39+39+40). Всего в аппарате 236 пластин.

Скорость горячей жидкости в 39 каналах [1]: $m = 39$

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot S \cdot m} = \frac{18,89}{963,6 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 39} = 0,205 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Критерий Прандтля: } Pr_1 = \frac{\mu_1 \cdot c_1}{\lambda_1} = \frac{0,307 \cdot 10^{-3} \cdot 4211}{0,675} = 1,915$$

$$\text{Критерий Рейнольдса: } Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_s \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,205 \cdot 8,3 \cdot 10^3 \cdot 963,6}{0,307 \cdot 10^{-3}} = 5,345 \cdot 10^3$$

$Re_1 > 50$ т.е. режим течения жидкости турбулентный.

При турбулентном режиме течения жидкости и площади пластин, коэффициент а и показатели степени b и c равны [1]: $a = 0,135$ $b = 0,73$ $c = 0,33$

Средняя температура стенки:

$$t_{срст} = \frac{t_{1ср} + t_{2ср}}{2} = 87,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплофизические свойства стенки:

$$\mu_{cm} = 3,25 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$c_{cm} = 4205 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{cm} = 0,68 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Критерий Прандтля для стенки:

$$Pr_1 = \frac{\mu_{cm} \cdot c_{cm}}{\lambda_{cm}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-4} \cdot 4205}{0,68} = 2,009$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu_1 = a \cdot Re_1^b \cdot Pr_1^c \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = 0,135 \cdot 5345^{0,73} \cdot 1,915^{0,33} \cdot \left(\frac{1,915}{2,009} \right)^{0,25} = 87,026$$

Коэффициент теплоотдачи от горячей жидкости к стенке при $Re_1 > 50$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1 \cdot Nu_1}{d_s} = \frac{0,675 \cdot 87,026}{8,3 \cdot 10^{-3}} = 7,077 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Скорость холодной жидкости в 39 каналах [1]: $m = 39$

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot S \cdot m} = \frac{19,03}{970,2 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 39} = 0,205 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Прандтля: $Pr_2 = \frac{\mu_2 \cdot c_2}{\lambda_2} = \frac{0,345 \cdot 10^{-3} \cdot 4198}{0,681} = 2,127$

Критерий Рейнольдса: $Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_3 \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,205 \cdot 8,3 \cdot 10^3 \cdot 970,2}{0,345 \cdot 10^{-3}} = 4,791 \cdot 10^3$

$Re_1 > 50$ т.е. режим течения жидкости турбулентный.

При турбулентном режиме течения жидкости и площади пластин, коэффициент а и показатели степени b и c равны [1]: $a = 0,135$ $b = 0,73$ $c = 0,33$

Критерий Прандтля для стенки:

$$Pr_1 = \frac{\mu_{cm} \cdot c_{cm}}{\lambda_{cm}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-4} \cdot 4205}{0,68} = 2,009$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu_2 = a \cdot Re_2^b \cdot Pr_2^c \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} = 0,135 \cdot 4791^{0,73} \cdot 2,127^{0,33} \cdot \left(\frac{2,127}{2,009}\right)^{0,25} = 85,385$$

Коэффициент теплоотдачи от холодной жидкости к стенке при $Re_1 > 50$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2 \cdot Nu_2}{d_3} = \frac{0,681 \cdot 85,385}{8,3 \cdot 10^{-3}} = 7,006 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Принимаем:

Тепловая проводимость загрязнений при $r_1=r_2=r$: $r = \frac{1}{4000} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$

Теплопроводность стали 03Х17Н14М3: $\lambda_{стл} = 26,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Сумма термических сопротивлений гофрированной пластины из нержавеющей стали толщиной 0,001 м (см. табл. 2.14 [1]) и загрязнений:

$$R = r + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r = 0,25 \cdot 10^{-3} + \frac{0,001}{26,1} + 0,25 \cdot 10^{-3} = 5,383 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Коэффициент теплопередачи [1]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{7,077 \cdot 10^3} + 5.383 + \frac{1}{7,006 \cdot 10^3}} = 1,216 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Расчетная поверхность теплопередачи [1]:

$$F_p = \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,997 \cdot 10^6}{1,216 \cdot 10^3 \cdot 10} = 164,24 \text{ м}^2$$

Теплообменник номинальной поверхностью $F=160 \text{ м}^2$.

Запас поверхности:

$$\Delta = (F_p - F_{op}) \cdot \frac{100}{F_p} = (164,24 - 117,482) \cdot \frac{100}{164,24} = 28,469 \%$$

Принимаем разборный пластинчатый теплообменник типа ТПР, поверхность теплопередачи $F=160 \text{ м}^2$, поверхность пластины $f=0.6 \text{ м}^2$, количество пластин $N=236$, масса аппарата $M=2290 \text{ кг}$.

3 Конструктивный расчет теплообменника

Пластинчатый теплообменник (рис. 3.1) состоит из рамы и пакета теплообменных пластин с прокладками, размещенного внутри рамы. Рама, в свою очередь, состоит из неподвижной плиты 1, в которой выполнены отверстия для подвода и отвода сред (одноходовая компоновка). Неподвижная плита 1 соединена при помощи верхней 2 и нижней 6 направляющих с прижимной плитой 4 и задней стойкой 3. Пакет пластин с прокладками 5 размещен между неподвижной и прижимной плитами и обжат при помощи стяжных шпилек 7. Каждая вторая пластина в пакете повернута по отношению к предыдущей на 180°. Это означает, что каждый второй вход в канал между пластинами имеет двойное уплотнение.

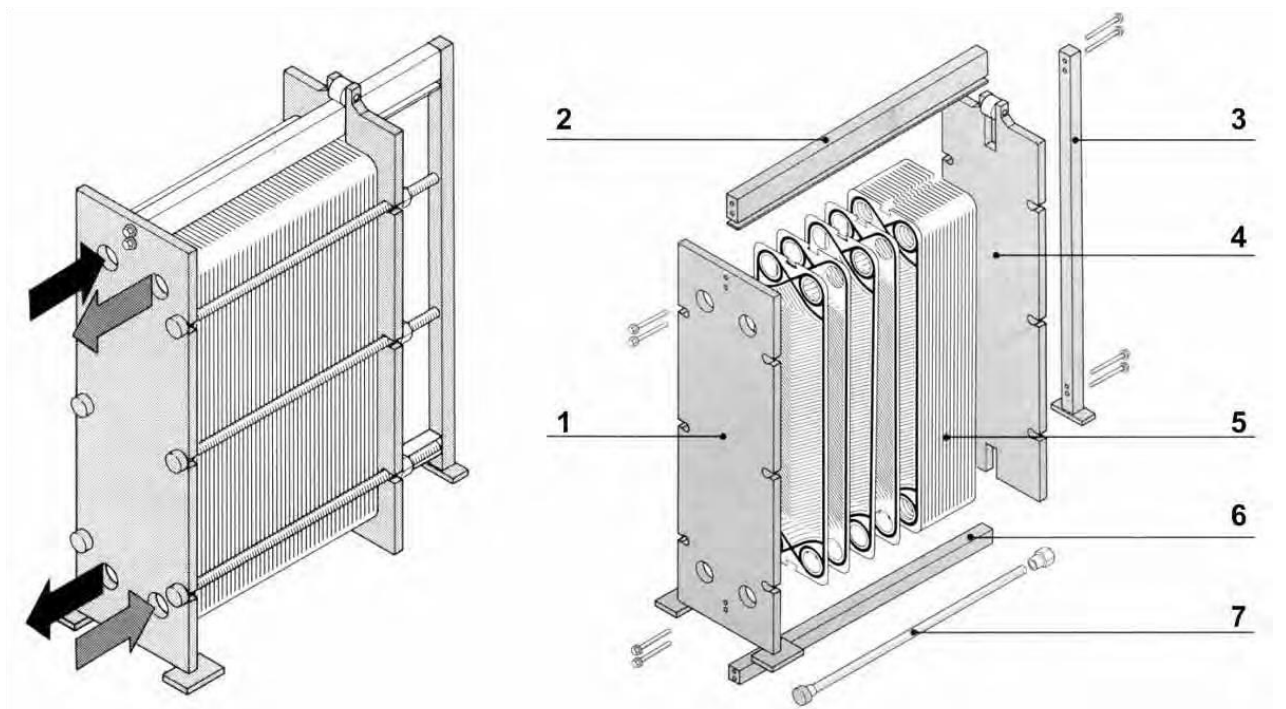


Рисунок 3.1 - Схема рассчитываемого теплообменника в разборе

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата					
Выполнил	Перемитина Д.Е.				Конструктивный расчет ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51				
Провер.	Семакина О.К.								
Н. Контр.									
Утверд.									
					Лит.	Лист	Листов		
					Д		23	6	

Спецификация к теплообменнику:

- 1- Плита неподвижная;
- 2 - Направляющая верхняя;
- 3 - Стойка задняя;
- 4 - Плита прижимная;
- 5 - Пакет пластин с прокладками;
- 6 - Направляющая нижняя;
- 7 - Шпильки стяжные.

Принцип действия работы теплообменника заключается (рис. 3.2) в том, что вода первого циркуляционного контура нагревается в котле и поступает в межтрубное пространство теплообменника нагревая трубочки теплообменника. Вода второго циркуляционного контура поступает в трубочки теплообменника и нагревается от них. Вода в теплообменниках идет противотоком, т.е. вход первого циркуляционного контура совпадает с выходом второго и циркуляционного контура и наоборот. На входе и выходе каждого циркуляционного контура до запорной арматуры должны быть установлены термометры и манометры, для измерения температуры и давления.

В нижней точке теплообменника должен быть установлен дренажный кран для сброса воды с теплообменника.

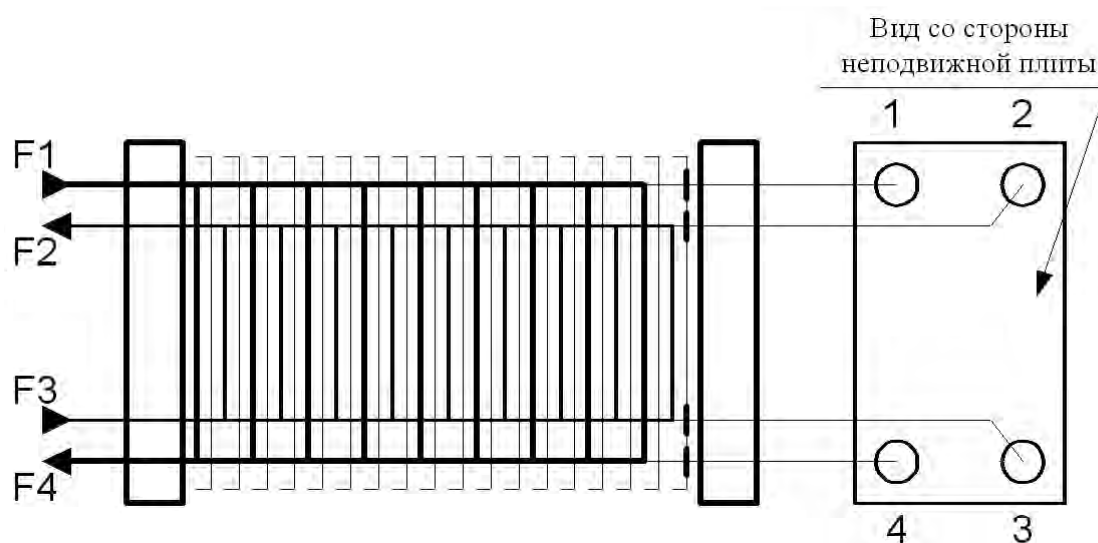


Рисунок 3.2 - Тип каналов

F1 – вход греющей среды в порт № 1;

F2 – выход нагреваемой среды из порта № 2;

F3 – вход нагреваемой среды в порт № 3;

F4 – выход греющей среды из порта № 4.

Техническое обслуживание, ремонт и диагностирование энергетического оборудования магистральных нефтепроводов должны проводиться в соответствии с требованиями действующих в отрасли нормативных документов, федеральных законов, руководящих документов Ростехнадзора, руководства по эксплуатации и РД-29.020.00-КТН-027-17.

Безразборная очистка теплообменника:

Необходимым условием для безразборной очистки является растворимость отложений, образовавшихся на пластинах, и устойчивость материалов, соприкасающихся с моющим раствором к его агрессивному воздействию. Для безразборной очистки необходимо использовать систему циркуляции моющего раствора внутри теплообменника. Количество циркулирующего моющего раствора должно быть эквивалентно обычному количеству среды, участвующей в теплообмене. Процедуру очистки повторять до тех пор, пока все загрязнения не будут удалены. Для эффективной очистки необходимо постоянно добавлять в циркуляционную систему свежий моющий раствор, а после очистки теплообменник тщательно промыть чистой водой.

Механическая очистка теплообменника:

Снизить давление теплообменника до атмосферного и охладить его до температуры ниже 40 °С. Скорость снижения давления не должна превышать 0,3 МПа (3,0 кгс/см²) в минуту, а скорость изменения температуры не должна превышать 10 °С в мин. Ослабить и демонтировать резьбовые стяжки. Отодвинуть прижимную плиту. Ослабление резьбовых стяжек необходимо производить по диагонали. Замаркировать краской (перманентным маркером) теплопередающие пластины одним порядковым номером (1,2,3...), начиная от передней плиты теплообменника. Маркировка пластин ударным способом не допускается. Демонтировать с теплопередающих пластин прокладки с

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

механической самофиксацией. Прокладки, закрепленные на пластинах при помощи клея, не демонтировать и предохранять от повреждений. После разборки теплообменника каждая пластина очищается в отдельности. Для этого можно использовать, например, оборудование для очистки водой под высоким давлением, снабженное неподвижной или вращающейся щеткой, мягкую щетку, моющую жидкость и воду (рис. 3.3). При использовании оборудования для мойки водой под высоким давлением (рис. 3.3), необходимо исключить применение и возможность попадания на моющуюся поверхность пластины песка или других абразивов. В тех случаях, когда на пластинах образовался толстый слой отложений или накипи, пластины необходимо демонтировать из рамы, снять прокладки и опустить пластины в ванну с моющим раствором. После растворения отложений, пластины промыть чистой водой, просушить места установки прокладок (в случае использования прокладок, крепящихся на пластинах при помощи клея) и установить новые прокладки. В конце очистки пластины промыть чистой водой. Поверхность пластины считается чистой, если отсутствуют следы загрязнений, отложений и коррозии, при проведении по поверхности пластины белой салфеткой на ней не остается следов загрязнения. При участии в теплообмене нефтепродуктов, все поверхности, контактирующие с ними, должны быть обезжирены. Проверить прокладки, закрепленные на пластинах при помощи клея. Отклеившиеся прокладки приклеить клеем 3M Scotch-Weld 10 или его аналогом.

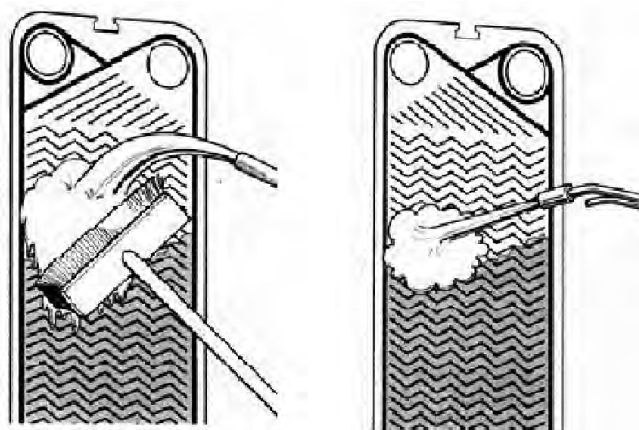


Рисунок 3.3 - Схема очистки теплообменника моющей жидкостью и щеткой (слева) и водой под давлением (справа)

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

3.1 Расчет патрубков и подбор фланцев

Исходные данные для расчета представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Наименование	Значение
Плотность горячей воды, кг/м ³ [14]	$\rho_1 = 963,6$
Плотность холодной воды, кг/м ³ [14]	$\rho_2 = 970,2$
Расход горячей воды, кг/с	$G_1 = 18,89$
Расход холодной воды, кг/с	$G_2 = 19,03$

Теплоноситель - горячая вода

Примем скорость движения в патрубке: $w_n = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Объемный расход:

$$V = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{18,89}{963,6} = 0,02 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$d_{um1} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02}{\pi \cdot 1,2}} = 0,144 \text{ м}$$

Принимаем внутренний диаметр патрубка: $d_{um1} = 0,15 \text{ м}$

Скорость движения горячей жидкости в штуцерах:

$$w_{um1} = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot 0,785 \cdot d_{um1}^2} = \frac{18,89}{963,6 \cdot 0,785 \cdot 0,15^2} = 1,11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Теплоноситель - холодная вода

Примем скорость движения в патрубке: $w_n = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Объемный расход:

$$V = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{19,03}{970,2} = 0,02 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$d_{um2} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02}{\pi \cdot 1,2}} = 0,144 \text{ м}$$

Принимаем внутренний диаметр патрубка: $d_{um2} = 0,15\text{ м}$

Скорость движения холодной жидкости в штуцерах:

$$w_{um2} = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot 0,785 \cdot d_{um2}^2} = \frac{19,03}{970,2 \cdot 0,785 \cdot 0,15^2} = 1,111 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Так как среда в теплообменнике не агрессивная, максимальная температура 105 °С и максимальное давление 0,6 МПа, то по [10] выбираем фланцевые соединения для патрубков с плоской привалочной поверхностью (рис. 3.4).

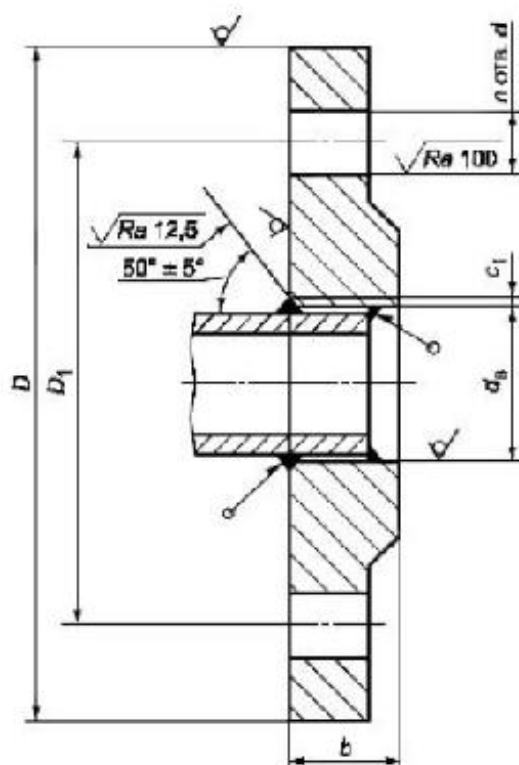


Рисунок 3.4 - Плоский фланец

Характеристики фланца представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Размеры уплотнительной поверхности фланца

Номинальный диаметр DN	Номинальное давление PN	dв		b		с ₁	D	D ₁	d	n	Номинальный диаметр болтов или шпилек
		Ряд 1	Ряд 2	Ряд 1	Ряд 2						
150	6	154	170,5	20	20	4	260	225	18	8	M16

4 Прочностной расчет теплообменника

Так как теплообменник (рис. 3.1) установлен в помещение, максимальная температура и давление не превышают 110 °С и 0,6 МПа, соответственно, и теплоносителем является вода, поэтому выбираем в качестве конструкционного материала сталь 09Г2С.

Сталь 09Г2С конструкционная низколегированная применяется для сварных конструкций. Выбрали эту сталь для длительной эксплуатации аппарата. Допустимый диапазон температур от минус 40 до плюс 400.

Физические свойства стали 09Г2С достаточны для того, чтобы обеспечить прочность фасонного, сортового и полосового металлопроката при различных толщинах. При этом какой-либо дополнительной обработки не требуется.

Все рассчитываемые узлы пластинчатого теплообменника (шпильки, опоры, фланцы, плиты) изготовлены из стали 09Г2С.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для прочностного расчета

Наименование	Значение
Рабочее давление, МПа	$P_1 = 0,6$
Диаметр отверстия под штуцер, мм	$d_1 = 154$
Количество отверстий под штуцера, шт	$N = 4$
Срок эксплуатации, лет	$\tau = 10$
Скорость коррозии, мм/год	$K = 0,05$
Ширина прокладки пластины, мм	$i = 13$
Длина плит, мм	$n = 1775$
Ширина плиты, мм	$m = 500$
Приведенный диаметр, мм	$D_b = 1925$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ											
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Прочностной расчет						Лит.		Лист	Листов		
Выполнил	Перемитина Д.Е.										Д			29	24	
Провер.	Беляев В.М.															
Н. Контр.																
Утверд.					ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4K5I											

4.1 Определение расчетных параметров

Расчетная температура:

$$T = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчетное давление принимаем равное рабочему:

$$P = P_1 = 0,6 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С для рабочих условий по табл. А.1[4]:

$$t = \left(\frac{100}{150} \right) \sigma = \left(\frac{177}{171} \right)$$

$$\sigma_p = \text{interp}(t, \sigma, 130)$$

$$\sigma_p = 173,4 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С для условий гидравлических испытаний по табл. А.1 [4]:

$$\sigma_{20} = 196 \text{ МПа}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании:

$$P_u = 1,25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_p} = 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{196}{173,4} = 0,848 \text{ МПа}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют согласно [4] по формуле:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

Определим прибавки к расчетной толщине стенки:

-для компенсации коррозии

$$c_1 = \tau \cdot K = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ мм}$$

- на минусовой допуск

$$c_2 = 0,05 \text{ мм}$$

- технологическая прибавка

Поскольку в ходе технологических операций изготовления не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендациями [4] примем: $c_3 = 0$

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0,05 + 0 = 0,55 \text{ мм}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

4.2 Расчет прямоугольных боковых плит

4.2.1 Расчет прижимной плиты [16]

Схема расчета прижимной плиты представлена на рис. 4.1.

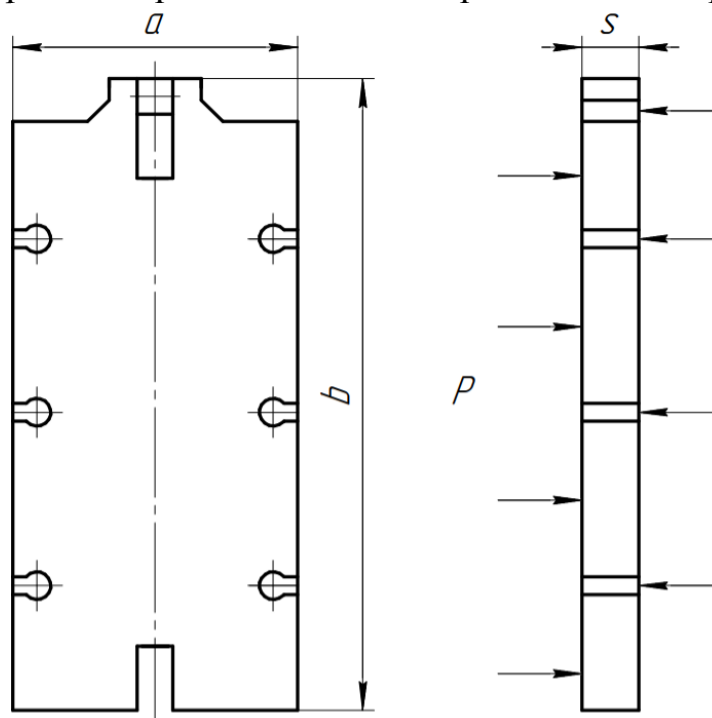


Рисунок 4.1 - Расчетная схема прижимной плиты

Номинальная толщина прямоугольной крышки в рабочих условиях должна быть не менее определенной по формуле [11]:

$$S_1 = S_{1R} + c$$

Расчетная толщина неподвижной плиты в рабочих условиях:

$$S_{1R} = K_m \cdot Y \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_p}}$$

Коэффициент K_m определяется по формуле:

$$K_m = \frac{0.5 \cdot D_b}{D_{1н}}, \text{ где } D_{1н} = n + i = 1775 + 13 = 1788 \text{ мм}$$

Коэффициент Y определяется по формуле:

$$Y = \frac{1,41}{\sqrt{1 + \left(\frac{m}{n}\right)^2}} = \frac{1,41}{\sqrt{1 + \left(\frac{500}{1775}\right)^2}} = 1,357$$

$$S_{1R} = K_m \cdot Y \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_p}} = 0,538 \cdot 1,357 \cdot 500 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{173,4}} = 21,488 \text{ мм}$$

$$S_1 = S_{1R} + c = 21,488 + 0,55 = 22,038 \text{ мм}$$

Номинальная толщина прямоугольной крышки в условиях гидроиспытаний должна быть не менее:

$$S_{1R} = K_m \cdot Y \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_p}} = 0,538 \cdot 1,357 \cdot 500 \cdot \sqrt{\frac{0,848}{173,4}} = 24,024 \text{ мм}$$

$$S_2 = S_{2R} + c = 24,024 + 0,55 = 24,574 \text{ мм}$$

Принимаем толщину прижимной плиты равной:

$$S_n = 40 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности толщины стенки при гидроиспытаниях и в рабочих условиях:

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } S_2 > S_n \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } S_1 > S_n \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

4.2.2 Расчет неподвижной плиты [16]

Схема расчета неподвижной плиты, представленная на рис. 4.2.

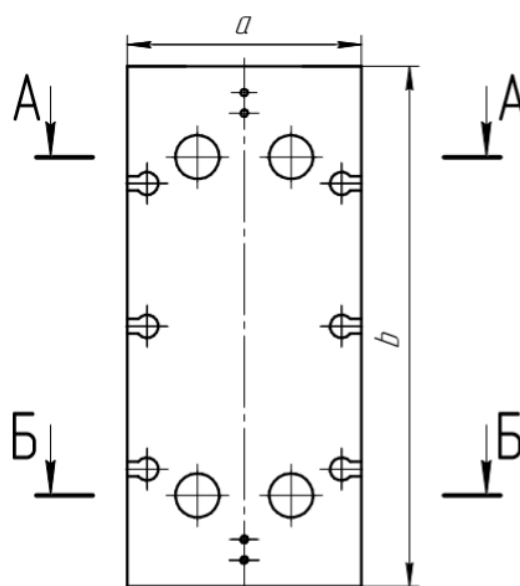


Рисунок 4.2 – Схема неподвижной плиты

В сечении А-А, 2 отверстия

Коэффициент ослабления:

$$K_{0A} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_1 + d_1}{D_b}\right) + \left(\frac{d_1 + d_1}{D_b}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{154 + 154}{1925}\right) + \left(\frac{154 + 154}{1925}\right)^2}} = 0,918$$

Расчетная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в рабочих условиях:

$$S_{AR1} = \frac{S_{1R}}{K_{0A}} = \frac{21,488}{0,918} = 23,397 \text{ мм}$$

Номинальная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в рабочих условиях должна быть не менее:

$$S_{1RA} = S_{AR1} + c = 23,397 + 0,55 = 23,947 \text{ мм}$$

Расчетная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в условиях гидравлических испытаний:

$$S_{AR2} = \frac{S_{2R}}{K_{0A}} = \frac{24,024}{0,918} = 26,159 \text{ мм}$$

Номинальная толщина стенки боковой неподвижной плиты в сечении А-А, в условиях гидравлических испытаний должна быть не менее:

$$S_{2RA} = S_{AR2} + c = 26,159 + 0,55 = 26,709 \text{ мм}$$

В сечении Б-Б, 2 отверстия

Коэффициент ослабления:

$$K_{0B} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_1 + d_1}{D_b}\right) + \left(\frac{d_1 + d_1}{D_b}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{154 + 154}{1925}\right) + \left(\frac{154 + 154}{1925}\right)^2}} = 0,918$$

Расчетная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в рабочих условиях:

$$S_{BR1} = \frac{S_{1R}}{K_{0B}} = \frac{21,488}{0,918} = 23,397 \text{ мм}$$

Номинальная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в рабочих условиях должна быть не менее:

$$S_{1RB} = S_{BR1} + c = 23,397 + 0,55 = 23,947 \text{ мм}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Расчетная толщина неподвижной плиты в сечении А-А, в условиях гидравлических испытаний:

$$S_{BR2} = \frac{S_{2R}}{K_{0B}} = \frac{24,024}{0,918} = 26,159 \text{ мм}$$

Номинальная толщина стенки боковой неподвижной плиты в сечении А-А, в условиях гидравлических испытаний должна быть не менее:

$$S_{2RB} = S_{BR2} + c = 26,159 + 0,55 = 26,709 \text{ мм}$$

Выбираем максимальные расчетные значения толщины неподвижной плиты:

- расчетное

$$S_{1A} = \max(S_{AR1}, S_{AR2}, S_{BR1}, S_{BR2}) = 26,159 \text{ мм}$$

- номинальное

$$S_{1Ah} = \max(S_{1RA}, S_{2RA}, S_{1RB}, S_{2RB}) = 26,709 \text{ мм}$$

Принимаем толщину неподвижной плиты равной: $S_h = 50 \text{ мм}$

Проверка условия прочности толщины стенки:

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \max(S_1, S_{1Ah}) > S_h \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

4.3 Расчет по выбору минимального диаметра крепежных деталей

4.3.1 Расчет по выбору минимального диаметра для шпильки стяжной

Шпильки стяжные служат для стягивания между собой торцовых плит (плита неподвижная, плита прижимная) с находящимся между ними пакетом пластин и прокладок уплотнительных. Для обеспечения герметичности разъема с резиновой прокладкой достаточно ее относительного сжатия примерно 40% от исходной высоты [15]. При сборе теплообменника прокладку обжимают на приблизительно 40%.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 4.2.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчета по выбору минимального диаметра

Наименование	Значение
Длина прокладки (по центру прокладки), мм	$A = 1335$
Ширина прокладки (по центру прокладки), мм	$B = 560$
Ширина уплотнительного пояса прокладки, мм	$i = 13$
Высота прокладки до обжатия, мм	$h_{np} = 4,4$
Относительное сжатие прокладки	$\varepsilon = 0,4$
Количество стяжек резьбовых	$z = 6$
Коэффициент, учитывающий трение при стяжке гаек	$\zeta = 0,26$
Наружный диаметр резьбы шпильки стяжной, мм	$d_0 = 48$
Коэффициент запаса плотности	$k = 2,5$
Коэффициент трения резина-металл	$f = 0,6$
Величина сжатия прокладки, мм	$\Delta h = 1,76$
Длина прокладки (по внутренней стороне прокладки), мм	$A_1 = 1322$
Ширина прокладки (по внутренней стороне прокладки), мм	$B_1 = 547$

4.3.2 Определение расчетных параметров [16]

Модуль упругости резины:

$$E_{np} = 4 \cdot \left(1 + \frac{i}{h_{np}} \right) = 4 \cdot \left(1 + \frac{13}{4,4} \right) = 15,818 \text{ МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпильки стяжной из стали 09Г2С по табл. А.1 [4]

$$t = \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_p = \text{interp}(t, \sigma, 130)$$

$$\sigma_p = 173,4 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях для шпильки
стяжной из стали 09Г2С по табл. А.1 [4]

$$\sigma_{wh} = 196 \text{ МПа}$$

Принимаем момент на ключе при стяжке гаек равным: $M_k = 150000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

Усилие необходимое для обжатия прокладки на 40% вычисляется по формуле:

$$F_{об} = 2 \cdot (A + B) \cdot i \cdot E_{np} \cdot \varepsilon = 2 \cdot (1335 + 560) \cdot 13 \cdot 15,818 \cdot 0,4 = 3,117 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$F_2 = 2 \cdot (A + B) \cdot i \cdot P = 2 \cdot (1335 + 560) \cdot 13 \cdot 0,6 = 2,956 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$F_p = A \cdot B \cdot P = 1335 \cdot 560 \cdot 0,6 = 4,486 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{2h} = 2 \cdot (A + B) \cdot i \cdot P_u = 2 \cdot (1335 + 560) \cdot 13 \cdot 0,848 = 4,177 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$F_h = A \cdot B \cdot P_u = 1335 \cdot 560 \cdot 0,848 = 6,338 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Усилие начальной затяжки гаек:

$$F_0 = \frac{M_k \cdot z}{\zeta \cdot d_0} = \frac{150000 \cdot 6}{0,26 \cdot 48} = 7,212 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Гидростатическое усилие от рабочего давления:

$$F_{0wp} = \max \begin{pmatrix} F_{об} \\ F_2 + F_p \\ F_0 \end{pmatrix} = 4,781 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Гидростатическое усилие от давления гидравлических испытаний:

$$F_{0wh} = \max \begin{pmatrix} F_{об} \\ F_{2h} + F_h \\ F_0 \end{pmatrix} = 6,755 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Минимальный диаметр шпильки стяжной определяется как максимальный из следующих двух величин:

- минимальный расчетный диаметр стержня шпильки стяжной при расчетном давлении

$$d_{wp} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{F_{0wp}}{z \cdot \sigma_w}} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{4,781 \cdot 10^5}{6 \cdot 173,4}} = 24,159 \text{ мм}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- минимальный расчетный диаметр стержня шпильки стяжной при давлении гидравлического испытания

$$d_{wp} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{F_{0wh}}{z \cdot \sigma_{wh}}} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{6,755 \cdot 10^5}{6 \cdot 196}} = 27,01 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности

$$Usl = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } d_{wh} \geq d_0 \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие прочности выполняется"

4.3.3 Расчет по выбору минимального диаметра стержня болтов [16]

Наружный диаметр резьбы стержня болтов: $d_0 = 24 \text{ мм}$

Примем момент на ключе при затяжке болтов равным: $M_k = 300000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

Усилие на болтах от заданного момента на ключи при затяжке болтов:

$$F_{0w} = \frac{M_k}{\zeta \cdot d_0} = \frac{300000}{0,26 \cdot 24} = 4,808 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Минимальный диаметр стержня болтов принимается из принятого момента на ключе по формуле:

$$d_{wp} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{F_{0w}}{\sigma_w}} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{4,808 \cdot 10^5}{173,4}} = 18,765 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности

$$Usl = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } d_w \geq d_0 \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие прочности выполняется"

4.4 Расчет прокладок на распор гидростатическим давлением [16]

Сжимающее напряжение в прокладке:

$$q = E_{np} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = 15,818 \cdot \frac{0,4}{1 - 0,4} = 10,545 \text{ МПа}$$

Реакция прокладки, равная по величине силе нормального давления на прокладку:

$$U = 2 \cdot (A + B) \cdot i \cdot q = 2 \cdot (1335 + 560) \cdot 13 \cdot 10,545 = 5,196 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Максимальное внутреннее давление, при котором еще сохраняется плотность соединения, определяется по формуле [15]:

$$p = \frac{1}{k} \cdot \frac{f \cdot U}{(A_1 + B_1) \cdot h_{np} \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{1}{2,5} \cdot \frac{0,6 \cdot 5,196 \cdot 10^5}{(1322 + 547) \cdot 4,4 \cdot (1 - 0,4)} = 25,272 \text{ МПа}$$

Условие сохранения плотности соединения:

$$Usl = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } p < P_{\text{н}} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие прочности выполняется"

Случай гидравлического удара не рассматривается. Из опыта использования аналогичных пластинчатых теплообменников известно, что при гидравлическом ударе происходит выдавливание прокладок. Разрушение остальных элементов конструкции не происходит, что дает возможность дальнейшего использования теплообменника после переборки и гидравлических испытаний.

4.5 Прочностной расчет фланцевого соединения

Схема фланцевого соединения представлена на рис. 4.3.

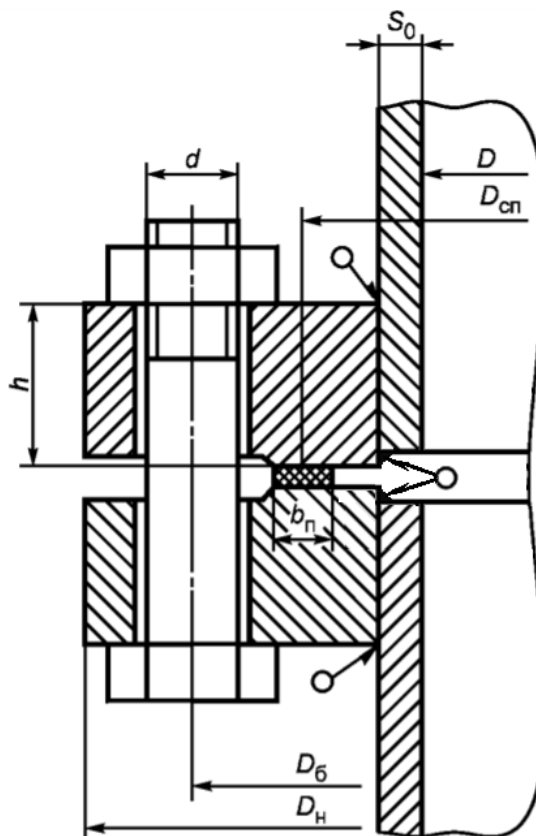


Рисунок 4.3 - Фланцевое соединение

Исходные данные для расчета представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Исходные данные для расчета фланцевого соединения

Наименование	Значение
Внутренний диаметр фланца, мм	$D = 150$
Наружный диаметр фланца, мм	$D_n = 260$
Диаметр окружности расположения болтов, мм	$D_o = 225$
Наружный диаметр прокладки, мм	$D_{nn} = 206$
Ширина прокладки, мм	$b_n = 22,5$
Толщина прокладки, мм	$h_n = 2$
Толщина плоского фланца, мм	$h = 17$
Диаметр болтов, мм	$d = 16$
Число болтов, шт	$n = 8$
Расчетное давление, МПа	$P = 0,6$
Изгибающий момент, МН · м	$M = 0$
Осевое сжимающие усилие, МН	$F = 0$
Суммарная прибавка к расчетной толщине, мм	$c = 0,55$
Рабочая температура, °С	$t = 130$
Поправочный коэффициент для допускаемых напряжений сталей [4]	$\eta = 1$
Толщина патрубка плоского фланца, мм	$S_0 = 5$

Материал болтов – сталь 35

Материал прокладки Паронит ПОН по [7]

4.5.1 Основные расчетные значения

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных плоских фланцев по табл. В1 [9]

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 130 = 124,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- расчетная температура болтов по табл. В1 [9]

$$t_o = 0,85 \cdot t = 0,85 \cdot 130 = 110,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35 по табл. Г.1 [4]

$$t = \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 126 \\ 120 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\sigma,\sigma} = \text{interp}(t, \sigma, t_{\sigma})$$

$$\sigma_{\sigma,\sigma} = 125,37 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов из стали 35 при расчетной температуре по табл. Ж.1 [9]

$$t = \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_{\sigma} = \begin{pmatrix} 2,10 \cdot 10^5 \\ 1,98 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\sigma} = \text{interp}(t, E_{\sigma}, t_{\sigma})$$

$$E_{\sigma} = 2,087 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. Г.1 [9]

$$\sigma_{206} = 147 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. Ж.1 [9]

Коэффициент линейного расширения стали 35 при $t = 20\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. Ж.2 [9]

$$\alpha_{\sigma} = 11,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Допускаемые напряжения для фланцев стали 09Г2С по табл. А.1 [4]

$$t = \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma = \text{interp}(t, \sigma, t_{\phi})$$

$$\sigma = 174,024 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\sigma,\phi} = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 174,024 = 174,024 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 09Г2С при расчетной температуре по табл. В.1 [4]

$$t = \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} E = \begin{pmatrix} 1,91 \cdot 10^5 \\ 1,86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E = \text{interp}(t, E, t_{\phi})$$

$$E = 1,885 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. А.1 [4]

$$\sigma_{20} = 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\phi 20} = \eta \cdot \sigma_{20} = 1 \cdot 196 = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. В.1 [4]

$$E_{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 20 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. Г.1 [4]

$$\alpha_{\phi} = 12,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов из стали 35 при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл. Г.1 [4]

$$\sigma_{\phi n} = 130 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35 при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляют по формулам Г.3 и Г.4 [4]:

$$\xi = 1,2$$

Коэффициенты условий работы:

- для рабочих условий $K_{y.p.p} = 1$

- для условий испытания $K_{y.p.u} = 1,35$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

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

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций: $K_{y.m} = 1$

$$\sigma_{обм} = \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{обн} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{обр} = \xi \cdot K_{y.p.u} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.m} \cdot \sigma_{обн} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$$

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

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [9] при $b_n > 15 \text{ мм}$ ($b_n = 22,5 \text{ мм}$)

$$b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_n} = 3,8 \cdot \sqrt{22,5} = 18,025 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [9]:

$$D_{cn} = D_{нт} - b_0 = 206 - 18,025 = 187,975 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Характеристики прокладки [9]

Наименование	Значение
Прокладочный коэффициент	$m = 2,5$
Удельное давление обжатия прокладки, МПа	$q_{обж} = 20$
Допускаемое удельное давление, МПа	$q_d = 130$
Коэффициент обжатия	$K_{обж} = 0,9$
Условный модуль сжатия прокладки	$E_n = 0,02 \cdot 10^5$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [9]:

$$P_{обж} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 187,975 \cdot 18,025 \cdot 20 = 1,064 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 3,14 \cdot 187,975 \cdot 18,025 \cdot 2,5 \cdot 0,6 = 1,597 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

4.5.3 Усилия в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений болтов для М16 по прил. Д [9]

$$f_{\phi} = 144 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [9]

$$A_{\phi} = n \cdot f_{\phi} = 8 \cdot 144 = 1,152 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [9]

$$Q_{\phi} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сн}}^2 \cdot P = \frac{3,14}{4} \cdot 187,975^2 \cdot 0,6 = 1,665 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [9]

$$y_n = \frac{h_n \cdot K_{\text{обж}}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_n} = \frac{2 \cdot 0,9}{0,02 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 187,975 \cdot 22,5} = 6,773 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{\phi 0} = h + h + h_n = 17 + 17 + 2 = 36 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости по стр. 32 [9]:

$$L_{\phi} = h_{\phi 0} + 0,28 \cdot d = 36 + 0,28 \cdot 16 = 40,48 \text{ мм}$$

Податливость болта по формуле К.2 [9]:

$$y_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{E_{206} \cdot A_{\phi}} = \frac{40,48}{2,13 \cdot 10^5 \cdot 1152} = 1,65 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [9]:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot S_0} = \sqrt{150 \cdot 5} = 27,386 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [9]:

$$K = \frac{D_n}{D} = \frac{260}{150} = 1,733$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [9]:

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = \frac{1,733^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,733)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,733^2) \cdot (1,733 - 1)} = 1,61$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K)) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = \frac{1,733^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,733)) - 1}{1,36 \cdot (1,733^2 - 1) \cdot (1,733 - 1)} = 4,072$$

$$\begin{aligned} \beta_Y &= \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = \\ &= \frac{1}{(1,733 - 1)} \cdot \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{1,733^2 \cdot \log(1,733)}{(1,733^2 - 1)} \right] = 3,734 \end{aligned}$$

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = \frac{1,733^2 + 1}{1,733^2 - 1} = 1,998$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с плоскими фланцами по [9]:

$$\beta_F = 0,91 \quad \beta_V = 0,55 \quad f = 1$$

- коэффициент λ по формуле К.11 [9]

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = \frac{0,91 \cdot 17 + 27,386}{1,61 \cdot 27,386} + \frac{0,55 \cdot 17^3}{4,072 \cdot 27,386 \cdot (5)^2} = 1,941$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [9]:

$$y_\phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = \frac{0,91 \cdot 0,55}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,941 \cdot 27,386 \cdot (5)^2} = 1,893 \cdot 10^{-9} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами по формуле К.18 [9]:

$$C_F = \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_o}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5}}} \right) = 1,157$$

Приведенный диаметр плоского фланца по формуле К.19 [9]:

$$D_{np} = D = 150 \text{ мм}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в болтах для плоских фланцев по формуле Е.1 [9]:

$$b = 0,5 \cdot (D_{\phi} - D_{cn}) = 0,5 \cdot (225 - 187,975) = 18,512 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.7 [9]:

$$S_{\phi} = S_0 = 5 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [9]:

$$e = 0,5 \cdot (D_{cn} - D - S_{\phi}) = 0,5 \cdot (187,975 - 150 - 5) = 16,488 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для плоских фланцев по формуле Е.8 [9]:

$$\gamma = \frac{1}{y_n + y_{\phi} \cdot \frac{E_{206}}{E_{\phi}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} =$$

$$= \frac{1}{6,773 \cdot 10^{-8} + 1,65 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2,13 \cdot 10^5}{2,087 \cdot 10^5} + 2 \cdot 18,512^2 \cdot 1,893 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,885 \cdot 10^5}} = 6,229 \cdot 10^5$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для плоских фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [9]:

$$\alpha = 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_n + y_{\phi} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} = 1 - \frac{6,773 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 16,488 \cdot 1,893 \cdot 10^{-9} \cdot 18,512}{6,773 \cdot 10^{-8} + 1,65 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 18,512^2 \cdot 1,893 \cdot 10^{-9}} = 1,711$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с плоскими фланцами по формуле 13 [9]:

$$Q_t = \gamma \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) \right] =$$

$$= 6,229 \cdot 10^5 \cdot \left[2 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 17 \cdot (124,8 - 20) - 2 \cdot 1,19 \cdot 10^{-5} \cdot 17 \cdot (110,5 - 20) \right]$$

$$= 5,157 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta 1} = \max \left[\frac{\alpha \cdot (Q_{\delta} + F) + R_n}{\alpha \cdot (Q_{\delta} + F) + R_n - Q_t} \right] = 4,445 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta 2} = \max \left[(P_{\text{обж}}), 0,4 \cdot A_{\delta} \cdot \sigma_{206} \right] = 1,064 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [9]:

$$P_{\delta m} = \max \left[(P_{\delta 1}, P_{\delta 2}) \right] = 1,064 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [9]:

$$\begin{aligned} P_{\delta p} &= P_{\delta m} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\delta} + F) + Q_t = \\ &= 1,064 \cdot 10^5 + (1 - 1,711) \cdot (1,665 + 0) + 5,157 = 9,977 \cdot 10^4 \text{ Н} \end{aligned}$$

4.5.4 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах

- при затяжке по формуле 19 [9]:

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta m}}{A_{\delta}} = \frac{1,064 \cdot 10^5}{1,152 \cdot 10^3} = 92,4 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [9]:

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta p}}{A_{\delta}} = \frac{9,977 \cdot 10^4}{1,152 \cdot 10^3} = 86,602 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [9]:

$$Usl_1 = \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 1} > \sigma_{\text{дбм}} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 1} > \sigma_{\text{дбр}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условие прочности выполняется"

Удельное давление на прокладку:

$$q = \frac{\max(P_{\delta m}, P_{\delta p})}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} = \frac{1,064 \cdot 10^5}{3,14 \cdot 187,975 \cdot 22,5} = 8,011 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки

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

Usl_2 = "Условие прочности выполняется"

4.5.5 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке по формуле 24 [9]:

$$M_m = C_F \cdot P_{\delta m} \cdot b = 1,157 \cdot 1,064 \cdot 10^5 \cdot 18,512 = 2,28 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [9]:

$$M_p = C_F \cdot \max[P_{\delta p} \cdot b + (Q_{\delta}) \cdot e, |Q_{\delta}| \cdot e] = 2,455 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение для плоского фланца по формуле 30 [9]:

$$\sigma_{1m} = \frac{M_m}{\lambda \cdot (S_0 - c)^2 \cdot D_{np}} = \frac{2,28 \cdot 10^6}{1,941 \cdot (5 - 0,55)^2 \cdot 150} = 159,047 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0m} = \sigma_{1m}$$

- напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31, 32 [9]

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rm} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_m = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 17 + 27,386}{1,941 \cdot 17^2 \cdot 27,386 \cdot 150} \cdot 2,28 \cdot 10^6 = 47,457 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tm} = \frac{\beta_Y \cdot M_m}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_{Rm} = \frac{3,734 \cdot 2,28 \cdot 10^6}{17^2 \cdot 150} - 1,998 \cdot 47,457 = 101,572 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения в трубе плоских фланцев по формуле 36 [9]:

$$\sigma_{1p} = \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c)^2 \cdot D_{np}} = \frac{2,455 \cdot 10^6}{1,941 \cdot (5 - 0,55)^2 \cdot 150} = 158,751 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0p} = \sigma_{1p}$$

- меридиональные мембранные напряжения в трубе плоского фланца в рабочих условиях по формуле 38 [9]:

$$\sigma_{P0,mm} = \frac{Q_0 + F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{cn}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c)} = \frac{1,665 \cdot 10^4 + 0 + \frac{4 \cdot |0|}{187,975}}{3,14 \cdot (150 + 5) \cdot (5 - 0,55)} = 7,684 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в трубе плоского фланца вычисляют по формуле 39 [9]:

$$\sigma_{Pomo} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} = \frac{0,6 \cdot 150}{2 \cdot (5 - 0,55)} = 10,112 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [9]

$$\sigma_{Rp} = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 17 + 27,386}{1,941 \cdot 17^2 \cdot 27,386 \cdot 150} \cdot 2,455 \cdot 10^6 = 51,09 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение по формуле 41 [9]

$$\sigma_{Tp} = \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - B_z \cdot \sigma_{Rp} = \frac{3,734 \cdot 2,455 \cdot 10^6}{17^2 \cdot 150} - 1,998 \cdot 51,09 = 109,349 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

При расчете без учета стесненности температурных деформаций.

$$K_T = 1$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [4]

Для плоских фланцев по формулам 47, 48 [9]

$$\sigma_{д.м} = 1,5 \cdot \sigma = 1,5 \cdot 174,024 = 261,036 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{P \max} = \max \left(\begin{array}{l} \sigma_{0p} - \sigma_{P0mm} + \sigma_{Tp} \\ \sigma_{0p} - \sigma_{P0mm} + \sigma_{Rp} \\ \sigma_{0p} + \sigma_{P0mm} \end{array} \right) = 260,416 \text{ МПа}$$

Проверка условий статистической прочности в рабочих условиях

$$Usl_1 = \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{P \max} \leq 1 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1="Условие прочности выполняется"

- при затяжке

$$\sigma_{3 \max} = \max(|\sigma_{0m} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{0m} + \sigma_{Tm}|) = 260,619 \text{ МПа}$$

Проверка условий статистической прочности при затяжке

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

Usl_1="Условие прочности выполняется"

Для плоских фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [9]

$$\sigma_{RTm} = \max(|\sigma_{Rm}|, |\sigma_{Tm}|) = 101,572 \text{ МПа}$$

$$Usl_1 = \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{RTm} \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1="Условие прочности выполняется"

- в рабочих условиях по формуле 55 [9]

$$\sigma_{RTP} = \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) = 109,349 \text{ МПа}$$

4.5.6 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота плоского фланца по формуле 58 [9]

$$\Theta = Mr \cdot Y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 2,455 \cdot 10^6 \cdot 1,893 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,885 \cdot 10^5} = 4,904 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{\text{д}} = 0,013 \text{ рад}$$

$$\text{Usl_P} = \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1,3 \cdot \Theta_{\text{д}} \\ \text{"Условие в рабочих НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_{\text{д}} \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

4.5.7 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость

Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхности плоских фланцев в условиях затяжки вычисляют по формулам 66-67 [9]

- меридиональное напряжение

$$\sigma_{M01} = \sigma_{0M} = 159,047 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{M02} = -\sigma_{0M} = -159,047 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{M03} = \sigma_{TM} = 101,572 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{M04} = \sigma_{TM} = 101,572 \text{ МПа}$$

- радиальное напряжение

$$\sigma_{M05} = \sigma_{Rm} = 47,457 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{M06} = \sigma_{Rm} = 47,457 \text{ МПа}$$

Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхности плоских фланцев в рабочих условиях вычисляют по формулам 78-81 [9]

- меридиональное напряжение

$$\sigma_{P01} = \sigma_{0P} + \sigma_{P0mm} = 158,751 + 7,684 = 166,435 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P02} = -\sigma_{0P} + \sigma_{P0mm} = -158,751 + 7,684 = -151,067 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{P03} = \sigma_{Tp} = 109,349 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P04} = -\sigma_{Tp} = 109,349 \text{ МПа}$$

- радиальное напряжение

$$\sigma_{P05} = \sigma_{Rp} = 51,09 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P06} = \sigma_{Rp} = 51,09 \text{ МПа}$$

Расчетные амплитуды приведенных условных упругих напряжений при
затяжке

Для плоских фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле 84 [9]

$$\sigma_a = \frac{1,5 \max(|\sigma_{M01}|, |\sigma_{M02} - \sigma_{M04}|, |\sigma_{M02} - \sigma_{M06}|)}{2} =$$

$$= \frac{1,5 \max(|159,047|, |-159,047 - 101,572|, |-152,047 - 47,457|)}{2} = 195,464 \text{ МПа}$$

Для болтов амплитуду приведенных условных упругих напряжений при
затяжке вычисляют по формуле 86 [9]

$$\sigma_{a6} = \frac{1,8 \cdot \sigma_{61}}{2} = \frac{1,8 \cdot 92,4}{2} = 83,16 \text{ МПа}$$

Расчетные амплитуды приведенных упругих напряжений в рабочих
условиях

Для плоских фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле 89 [9]

$$\sigma_{Pa} = \frac{1,5 \max(|\sigma_{P01}|, |\sigma_{P03}|, |\sigma_{P01} - \sigma_{P03}|, |\sigma_{P02}|, |\sigma_{P04}|, |\sigma_{P02} - \sigma_{P04}|)}{2} = 195,312 \text{ МПа}$$

Для болтов амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле 91 [9]

Коэффициент, учитывающий местные напряжения определяется по табл. 2 [9]: $\eta_{\sigma} = 3$

$$\sigma_{\text{раб}} = \frac{\eta_{\sigma} \cdot \sigma_{62}}{2} = \frac{3 \cdot 86,602}{2} = 129,903 \text{ МПа}$$

Проверка малоциклового прочностии элементов фланцевого соединения

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [2], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [12] не проводится.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата									
Выполнил	Перемитина Д.Е.				Гидравлический расчет					Лит.	Лист	Листов	
Провер.	Семакина О.К.									Д		53	2
										ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.													
Утверд.													

Исходные данные для холодной жидкости представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для холодной жидкости

Наименование	Значение
Плотность, кг/м ³ [14]	$\rho_2 = 970,2$
Эквивалентный диаметр канала, м	$d_s = 8,3 \cdot 10^{-3}$
Скорость горячей жидкости в 28 каналах, м/с	$w_1 = 0,205$
Приведенная длина канала, м	$L_n = 1,01$
Критерий Рейнольдса	$Re_2 = 4,791 \cdot 10^3$
Коэффициент зависящий от площади пластины, при турбулентном режиме:	$a = 0,135$

Коэффициент гидравлического сопротивления при турбулентном режиме:

$$\xi_2 = \frac{a}{Re_2^{0,25}} = \frac{0,135}{(4,791 \cdot 10^3)^{0,25}} = 0,016$$

Гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата для холодной воды:

Число пакетов для данного теплоносителя: $x_1 = 1$

$$\Delta P_2 = x_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{L_n}{d_s} \cdot \frac{\rho_2 \cdot w_2^2}{2} = 1 \cdot 0,016 \cdot \frac{1,01}{8,3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{970,2 \cdot 0,205^2}{2} = 40,363 \text{ Па}$$

Скорость движения холодной жидкости в штуцерах:

$$w_{um2} = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot 0,785 \cdot d_{um2}^2} = \frac{19,03}{970,2 \cdot 0,785 \cdot 0,15^2} = 1,111 \text{ м/с}$$

$w_{um1} < 2,5$ м/с, поэтому гидравлическое сопротивление в штуцерах не учитываем.

Находим мощность насоса для перекачки воды:

$$N_1 = \frac{\frac{G_1}{\rho_1} \cdot \Delta P_1}{0,9} = \frac{\frac{18,89}{963,6} \cdot 38,964}{0,9} = 0,849 \text{ Вт}$$

В результате проведенного гидравлического расчета теплообменного аппарата, были определены гидравлические сопротивления для каждого теплоносителя, и подбираем насос марки X2/25 для перекачки воды мощностью 1100 Вт.

6 Поверочный расчет теплообменного аппарата [16]

6.1 Расчет на прочность стяжек резьбовых

Исходные данные для поверочного расчета теплообменного аппарата представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Наименование	Значение
Средняя температура стяжек, °С	$\Delta T = 100$
Усилие начальной затяжки гаек, Н	$F_0 = 7,212 \cdot 10^4$
Гидростатическое усилие от рабочего давления, Н	$F_{0wp} = 4,781 \cdot 10^5$
Длина участка пластин, мм	$l_n = 710$
Свободная длина шпильки стяжной, мм	$l_u = 1280$
Наружный диаметр шпильки стяжной, мм	$d_0 = 48$
Количество стяжек резьбовых	$z = 6$
Минимальный расчетный диаметр стержня шпильки стяжной при давлении гидравлического испытания, мм	$d_{wh} = 27,01$
Гидростатическое усилие от давления гидравлических испытаний, Н	$F_{0wh} = 6,755 \cdot 10^5$
Эффективный коэффициент концентрации напряжения	$K_\sigma = 2$
Коэффициент запаса прочности по напряжениям	$n_N = 2$
Коэффициент запаса прочности по числу циклов	$n_\sigma = 2$

					<i>ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Выполнил	Перемитина Д.Е.				<i>Поверочный расчет</i>		
Провер.	Беляев В.М.						
Н. Контр.							
Утверд.							
						Лит.	Лист
						Д	Листов
							55
							9
						ТПУ ИШНПТ	
						НОЦ И.М. Кижнера	
						Группа 4K51	

6.1.1 Определение расчетных параметров

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С по табл. А.1 [4]:

$$\sigma_d = 177 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения материала пластин 03Х17Н14М3 [4]:

$$\alpha_1 = 12,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Коэффициент линейного расширения материала стяжек резьбовых 09Г2С [4]:

$$\alpha_2 = 17 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Принимаем момент на ключе при затяге гаек:

$$M_k = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С по табл. В.1 [4]:

$$E_u = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Напряжения растяжения в шпильках стяжных должны удовлетворять условию:

$$\sigma_{pш} \leq \sigma_u$$

Площадь поперечного сечения стержня шпильки стяжной:

$$A_u = 0,785 \cdot d_{wh}^2 = 0,785 \cdot 27,01 = 572,693 \text{ мм}^2$$

Коэффициент податливости стяжек резьбовых [16]:

$$\lambda_u = \frac{l_u + 0,6 \cdot d}{z \cdot E_u \cdot A_u} = \frac{1,28 \cdot 10^3 + 0,6 \cdot 16}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 572,693} = 1,877 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Усилия в шпильках стяжных, вызванные различием коэффициентов линейного расширения пластин и стяжек резьбовых (шайбы и плиты неподвижная и прижимная не учитываются, так как их коэффициенты линейного расширения равны коэффициенту линейного расширения стяжек резьбовых)

$$F_T = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot l_n \cdot \Delta T}{\lambda_u} = \frac{(1,7 \cdot 10^{-5} - 1,26 \cdot 10^{-5}) \cdot 710 \cdot 100}{1,877 \cdot 10^{-6}} = 1,665 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Растягивающее усилие в шпильках стяжных при затяжке гаек:

$$F_{изг} = F_0 = 7,212 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Растягивающее усилие в шпильках стяжных от механических воздействий:

$$F_{ум} = F_0 + F_{0вр} = 7,212 \cdot 10^4 + 4,781 \cdot 10^5 = 5,502 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Растягивающее усилия от механических и температурных воздействий в рабочих условиях:

$$F_{умт} = F_0 + F_{0вр} + F_T = 7,212 \cdot 10^4 + 4,781 \cdot 10^5 + 1,665 \cdot 10^5 = 7,167 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Растягивающие усилие в шпильках стяжных при гидравлических испытаниях:

$$F_{умг} = F_0 + F_{0wh} = 7,212 \cdot 10^4 + 6,755 \cdot 10^5 = 7,477 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения растяжения в шпильках стяжных:

- при затяжке гаек:

$$\sigma_{ризг} = \frac{F_{изг}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{7,212 \cdot 10^4}{572,693 \cdot 6} = 20,987 \text{ МПа}$$

- от механических нагрузок в рабочих условиях:

$$\sigma_{рум} = \frac{F_{ум}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{5,502 \cdot 10^5}{572,693 \cdot 6} = 160,132 \text{ МПа}$$

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях:

$$\sigma_{румт} = \frac{F_{умт}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{7,167 \cdot 10^5}{572,693 \cdot 6} = 208,581 \text{ МПа}$$

- при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{руиг} = \frac{F_{умг}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{7,477 \cdot 10^5}{572,693 \cdot 6} = 217,587 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения растяжения в шпильках стяжных:

- при затяжке гаек и от механически нагрузок в рабочих условиях

$$\sigma_{изг} = \sigma_{\sigma} = 177 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{ум} = \sigma_{изг} = 177 \text{ МПа}$$

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях

$$\sigma_{шмт} = 1,3 \cdot \sigma_D = 1,3 \cdot 177 = 230,1 \text{ МПа}$$

- при гидроиспытаниях

$$\sigma_{ши} = 1,6 \cdot \sigma_D = 1,6 \cdot 177 = 283,2 \text{ МПа}$$

Приведенное напряжение в шпильке стяжной по суммам составляющих нагрузок должно удовлетворять условию:

$$\sigma_{4рш} < \sigma_{4ш}$$

Напряжение кручения в стержне болта

$$\tau = \frac{M_k}{2 \cdot 0,196 \cdot d_{wh}^3} = \frac{1,5 \cdot 10^5}{2 \cdot 0,196 \cdot 27,01^3} = 19,419 \text{ МПа}$$

Приведенное расчетное напряжение в шпильке стяжной по суммам составляющих нагрузок:

- при затяге гаек

$$\sigma_{4ршг} = \sqrt{\sigma_{ршг}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{20,987^2 + 4 \cdot 19,419^2} = 44,146 \text{ МПа}$$

- от механических нагрузок в рабочих условиях

$$\sigma_{4ршм} = \sqrt{\sigma_{ршм}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{160,132^2 + 4 \cdot 19,419^2} = 164,774 \text{ МПа}$$

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях

$$\sigma_{4ршмт} = \frac{F_{шмт}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{7,167 \cdot 10^5}{572,693 \cdot 6} = 208,581 \text{ МПа}$$

- при гидравлических испытаниях

$$\sigma_{рши} = \frac{F_{ши}}{A_{ш} \cdot z} = \frac{7,477 \cdot 10^5}{572,693 \cdot 6} = 217,587 \text{ МПа}$$

Приведенное допускаемое напряжение в шпильке стяжной по суммам составляющих нагрузок:

- при затяге гаек

$$\sigma_{4шг} = \sigma_D = 177 \text{ МПа}$$

- от механически нагрузок в рабочих условиях

$$\sigma_{4шм} = 1,7 \cdot \sigma_D = 1,7 \cdot 177 = 300,9 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях

$$\sigma_{4шмт} = 1,7 \cdot \sigma_{д} = 1,7 \cdot 177 = 300,9 \text{ МПа}$$

- при гидроиспытаниях

$$\sigma_{4ши} = 1,8 \cdot \sigma_{д} = 1,8 \cdot 177 = 318,6 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стяжек резьбовых при напряжении растяжения:

- при затяге гаек

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{ршг} \geq \sigma_{шг} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- от механических нагрузок в рабочих условиях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{ршм} \geq \sigma_{шм} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{ршмт} \geq \sigma_{шмт} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- при гидроиспытаниях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{рши} \geq \sigma_{ши} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

Проверка условия прочности стяжек резьбовых при приведенном напряжении:

- при затяге гаек

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{4ршг} \geq \sigma_{4шг} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- от механических нагрузок в рабочих условиях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{4ршм} \geq \sigma_{4шм} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- от механических и температурных воздействий в рабочих условиях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{4ршмт} \geq \sigma_{4шмт} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

- при гидроиспытаниях

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{4рши} \geq \sigma_{4ши} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

6.2 Определение напряжения смятия в месте контакта шайба - гайка и шайба - плита прижимная

Место контакта шайба-гайка и шайба-плита прижимная показано на рис. 6.1.

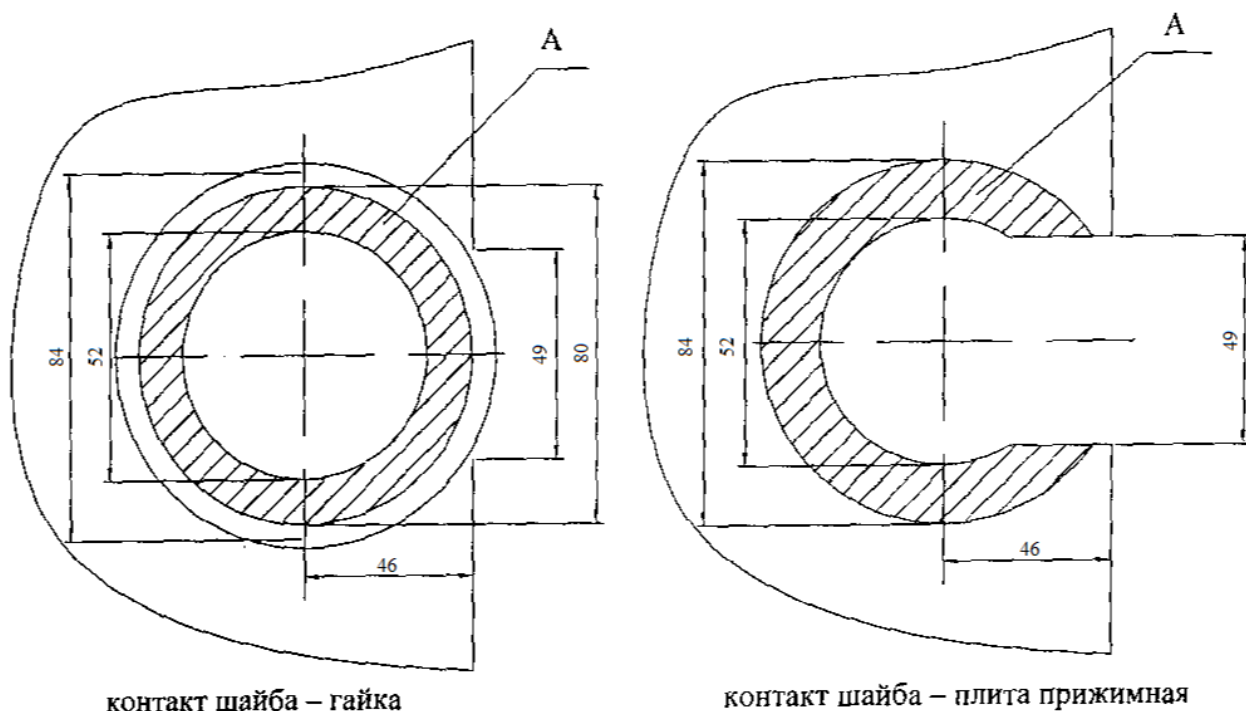


Рисунок 6.1 - Места контактов

Исходные данные для определения напряжения в местах контакта представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Исходные данные

Наименование	Значение
Максимальное усилие на шпильках стяжных, Н	$F_{ш} = 7,263 \cdot 10^5$
Площадь площадки контакта шайба-гайка, мм ²	$S_{шг} = 2901$
Площадь контакта шайба-плита прижимная, мм ²	$S_{шп} = 2632$

Условие прочности:

$$\sigma_{см} \leq \sigma_{дсм}$$

Номинально допускаемые напряжения на смятие:

$$\sigma_{дмс} = 2 \cdot \sigma_{д} = 2 \cdot 177 = 354 \text{ МПа}$$

Напряжение смятия в месте контакта шайба-гайка определяется по формуле:

$$\sigma_{смг} = \frac{F_{ш}}{z \cdot S_{шг}} = \frac{7,263 \cdot 10^5}{6 \cdot 2901} = 41,727 \text{ МПа}$$

Напряжение смятия в месте контакта шайба - плита прижимная определяется по формуле:

$$\sigma_{смп} = \frac{F_{ш}}{z \cdot S_{шп}} = \frac{7,263 \cdot 10^5}{6 \cdot 2632} = 45,992 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности смятия в месте контакта

$$Usl_P = \begin{cases} \text{"Шайба – гайка НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{смг} \geq \sigma_{дсм} \\ \text{"Шайба – плита прижимная НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{смп} > \sigma_{дсм} \\ \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_P = "Условие прочности выполняется"

6.3 Расчет на циклическую прочность

Расчет на циклическую прочность проведен согласно [17] для наиболее нагруженных элементов конструкции, которыми, согласно расчетам, являются шпильки стяжные.

Расчет проведен для следующих циклов нагружения:

- затяжка гаек $N_1 = 5 \cdot 15 = 75$ циклов (принимается 5 циклов нагружения при каждом сборе теплообменника);
- гидравлические испытания $N_2 = 15$ (один раз в год);
- рабочие условия $N_3 = 15$.

6.3.1 Определение расчетных параметров

Временное сопротивление стали 09Г2С при 20 °С [4]

$$\sigma_{\sigma 20} = 470 \text{ МПа}$$

Предел текучести стали 09Г2С при 20 °С [4]

$$\sigma_{m20} = 300 \text{ МПа}$$

Характеристики материала А и В определяем по табл. 3 [17]

$$A = 0,6 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$B = 0,6 \cdot \sigma_{\sigma 20} - 0,43 \cdot \sigma_{m20} = 0,6 \cdot 470 - 0,43 \cdot 300 = 181,2 \text{ МПа}$$

Амплитуда напряжений:

- затяга гаек

$$\sigma_{Ar} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{4puz} = 2 \cdot 44,146 = 88,292 \text{ МПа}$$

- рабочие условия

$$\sigma_{Ap} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{4pumn} = 2 \cdot 208,581 = 417,161 \text{ МПа}$$

- гидравлические испытания

$$\sigma_{Au} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{4pumi} = 2 \cdot 217,587 = 435,174 \text{ МПа}$$

Допускаемое число циклов нагружения определяют по формуле 10 [17]

- затяга гаек

$$N_{дг} = \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A}{\sigma_{Ar} - \frac{B}{n_{\sigma}}} \cdot \frac{2300 - \Delta T}{2300} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^4}{88,292 - \frac{181,2}{2}} \cdot \frac{2300 - 100}{2300} \right)^2 = 3,091 \cdot 10^8$$

- рабочие условия

$$N_{DP} = \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A}{\sigma_{Ap} - \frac{B}{n_\sigma}} \cdot \frac{2300 - \Delta T}{2300} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^4}{417,161 - \frac{181,2}{2}} \cdot \frac{2300 - 100}{2300} \right)^2 = 1,544 \cdot 10^4$$

- гидравлические испытания

$$N_{ДИ} = \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A}{\sigma_{Au} - \frac{B}{n_\sigma}} \cdot \frac{2300 - \Delta T}{2300} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^4}{435,174 - \frac{181,2}{2}} \cdot \frac{2300 - 100}{2300} \right)^2 = 1,387 \cdot 10^4$$

Условия циклической прочности: $a_D > a$, где $a_D = 1$

$$a = \frac{N_1}{N_{ДГ}} + \frac{N_2}{N_{ДР}} + \frac{N_3}{N_{ДИ}} = \frac{75}{3,091 \cdot 10^8} + \frac{15}{1,544 \cdot 10^4} + \frac{15}{1,387 \cdot 10^4} = 2,053 \cdot 10^{-3}$$

Usl_1 = $\begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } a_D > a \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl_P = "Условие прочности выполняются"

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Продукт: горячее водоснабжение.

Целевой рынок: Большие предприятия, на территории Томской области такие как: «Газпром», «Транснефть».

7.2 SWOT-анализ

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных фактов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ. Результаты SWOT-анализа представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта С1. Наличие системы контроля качества. С2. Высоко квалифицированный персонал. С3. Наличие большого количества исходного сырья. С4. Возможности очистки внутренней поверхности аппарата.	Слабые стороны проекта Сл1. Большая стоимость отдельных частей аппарата. Сл2. Большое количество конкурентных производителей данного аппарата.
--	---	--

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
Выполнил	Перемитина Д.Е.				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		
Провер.	Семакина О.К.						
Н. Контр.							
Утверд.							
						<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
						Д	64
						Листов	
						20	
						ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51	

Продолжение таблицы 7.1.

Возможности В1. Возможность увеличения поверхности теплопередачи В2. Применение современных технологий. В3. Использование инфраструктуры для увеличения объемов производств.	Сильные стороны и возможности 1.Монтаж и ввод в производство дополнительных мощностей. 2.Развитие торговых отношений.	Слабые стороны и возможности 1. Замена дорогостоящих частей аппарата более экономичными. 2.Привлечение новых клиентов.
Угрозы У1. Высокая конкуренция рынка. У2. Штрафы за нарушение показателей качества. У3. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации. У4. Устаревание технологий и оборудования.	Сильные стороны и угрозы 1.Строгое соблюдение технологий в процессе. 2.Проведене модернизации.	Слабые стороны и угрозы 1.Строгое следование всем правилам контроля качества. 2.Повышение цен на выпускаемую продукцию.

Результаты SWOT–анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

7.3 Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

В состав рабочей группы входят:

- Инженер (Перемитина Диана Евгеньевна);
- Руководитель темы (Семакина Ольга Константиновна).

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Формирование и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направленности исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель и инженер
	4	Календарное планирование работ по теме пластинчатый теплообменник	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Проверка расчетов	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель и инженер
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Инженер
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	10	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
	11	Проверка чертежей	Руководитель
Оформление документации и чертежей по ОКР	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ожі}}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ожі}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения из 12 работ чел.-дн.;

$t_{\min i}$ — минимально возможная трудоемкость выполнения работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ — максимально возможная трудоемкость выполнения работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Данная работа выполняется 6 месяца (январь - июнь) количество рабочих дней при пятидневной рабочей недели составляет 120 дней. Поэтому 120 дней необходимо распределить на 12 работ это будет максимально возможная трудоемкость. Кратчайший срок на дипломную работу составляет в сумме 78 дня.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

где t_{pi} — продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

7.3.3 График проведения работ

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} — продолжительность выполнения каждой работы в календарных днях;

T_{pi} — продолжительность выполнения каждой работы в рабочих днях;

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых.празд}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,221$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

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

Результаты расчетов занесены в табл. 7.3.

Таблица 7.3 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	$t_{\min}$, чел-дни	$t_{\max}$, чел-дни	$t_{\text{ож.и}}$, чел-дни			
1	1	1	1	Руководитель	1	1
2	10	15	12	Инженер	12	15
3	2	3	2	Руководитель и инженер	1	1
4	1	3	2	Инженер	2	2
5	16	21	18	Инженер	18	22
6	2	3	2	Руководитель	2	2
7	1	3	2	Руководитель и инженер	1	1
8	2	4	3	Инженер	3	4
9	28	35	31	Инженер	31	38
10	2	3	2	Инженер	2	2
11	1	2	1	Руководитель	1	1
12	23	27	25	Инженер	25	31
Итого	89	120	101		99	120

На основе табл. 7.3 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ.

Таблица 7.4 – План-график проведения работы по теме «Разработка пластинчатого теплообменника НПС «Парабель»»

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн	Продолжительность выполнения работ					
				Янв	Февр.	Март	Апр	Май	Июнь
1	Составление технического задания	Руководитель	1	■					
2	Изучение материалов	Инженер	15	■	■				
3	Выбор направления исследования	Руководитель и инженер	1		■				
4	Планирование работ	Инженер	2		■				
5	Проведение расчетов	Инженер	22		■	■			
6	Проверка расчетов	Руководитель	2			■			
7	Оценка результатов	Руководитель и инженер	1			■			
8	Целесообразность ОКР	Инженер	4			■			
9	Выбор и расчет конструкции	Инженер	38			■	■	■	
10	Оценка эффективности изделия	Инженер	2					■	
11	Проверка чертежей	Руководитель	1					■	
12	Составление ПЗ и оформление чертежей	Инженер	31						■

■ - руководитель;

■ - инженер;

7.3.4 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

7.3.4.1 Расчет материальных затрат

Данный пункт включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении работы ($m=1$);

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

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

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

Рассмотрим подробнее статьи материальных затрат в табл. 7.5.

Таблица 7.5 – Материальные затраты с учетом коэффициента k_T

Наименование основных материалов и сырья	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, Зм, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Вода	т	1	1,5	2	2500	2500	2500	2875	4125	5375
Мазут	т	1	1,5	2	11500	11500	11500	13225	18975	24725
Итого, руб.		Исполнение 1			Исполнение 2			Исполнение 3		
		16100			23100			30100		

7.3.4.2 Сумма амортизационных отчислений

Расчет амортизационных отчислений будем вести по следующей формуле:

$$A_0 = \frac{C_{\Pi} \cdot H_0}{100 \cdot T_{\text{раб.дг.год}}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где A_0 – амортизационные отчисления, руб;

C_{Π} – стоимость оборудования, руб;

H_0 – норма амортизационных отчислений, для каждого оборудования, %

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

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

Норму амортизационных отчисления (H_0) высчитываем по формуле:

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

где n – срок эксплуатации оборудования на производстве, лет.

Время использования оборудования ($T_{\text{раб}}$) 5 дней в соответствии с экспериментальным исследованием

Результаты расчетов занесены в табл. 7.6.

Таблица 7.6 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Количество основных средств, шт		Срок эксплуатации n , лет	Норма амортизации H_0 , %	C_{Π} тыс. руб.	A_0 , руб.	
	исп.1	исп.2				исп.1	исп.2
Котел	2	3	15	6,7	1500	4068,8	6103,2
насос	7	7	7	14,3	600	12157,9	
Теплообменник	2	3	20	5	300	607,3	910,9
Емкость	2	3	20	5	200	404,9	607,3
Итого						17238,9	19779,3

7.3.4.3 Расчет основной заработной платы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 7.8.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ в табл. 7.7.

Таблица 7.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней:	44	48
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Издержки рабочего времени:	56	28
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_p,$$

где $З_{\text{тс}}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (преподавателя ТПУ) с учетом должности доцента и степени кандидата технических наук, и заработная плата инженера в роли студента без районного коэффициента, руб.:

Основная заработная плата рабочих:

- при 5 рабочих днях руководителя: 9066,5 руб.;

- при 94 рабочих днях инженера: 157121 руб.

Таблица 7.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$ руб.	k_p	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1813,3	5	9066,5
Инженер	25600		33280	1671,5	94	157 121
Итого						166 187,5

7.3.4.4 Дополнительная заработная плата

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

$З_{\text{доп}}$ руководителя: 1088 руб.;

$З_{\text{доп}}$ инженера: 18854,5 руб.

В сумме $З_{\text{доп}} = 19942,5$ руб.

В итоге заработная плата работников рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

для руководителя: 10 154,5 руб.;

для инженера: 175 975,5 руб.

7.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данном пункте расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды принимается равным 27,1% (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 7.9.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Таблица 7.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	9066,5	1088
Инженер-дипломник	157 121	18854,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого, руб.	руководитель: 2752; дипломник: 47689	
В сумме	50441 руб.	

7.3.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

В данный пункт входят затраты на электроэнергию:

$$З_{\text{э}} = T_{\text{э}} \cdot M \cdot T_{\text{раб}} = 3.42 \cdot 176 \cdot 5 \cdot 24 = 72\,230,4 \text{ руб.}$$

где $З_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб;

$T_{\text{э}}$ – тариф электроэнергии 1кВт/ч, руб/(кВт/ч);

M – мощность, потребляемая двигателями насосов, кВт;

$T_{\text{раб}}$ – число рабочих часов оборудования для исследования, ч.

7.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1.Материальные затраты	16100	23100	30100	Пункт 4.3.4.1
2.Амортизация оборудования	17238,9	19779,3		Пункт 4.3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате	166187,5			Пункт 4.3.4.3
4.Затраты по дополнительной заработной плате	19942,5			Пункт 4.3.4.4
5.Отчисления во внебюджетные фонды	50441			Пункт 4.3.4.5
6. Накладные расходы	72230,4			Пункт 4.3.4.6
7.Бюджет затрат проекта	342140,3	351680,7	358680,7	

Исходя из таблицы 7.10 можно сказать, что 1 исполнение наиболее выгодное по затратам, по сравнению с другими исполнениями.

7.3.4.8 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{фин}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_p – стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{фин.исп,1}} = \frac{342140,3}{358680,7} = 0,954 ,$$

$$I_{\text{фин.исп,2}} = \frac{351680,7}{358680,7} = 0,981 ,$$

$$I_{\text{фин.исп,2}} = \frac{358680,7}{358680,7} = 1 .$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приводим в табл. 7.11.

Таблица 7.11 – Сравнительная оценка характеристик данных разновидностей исполнения проекта

Объект исследования		Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Критерии					
1.Способствует росту производительности	пользователя труда	0,1	4	5	5

Продолжение табл. 7.11.

2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5	4
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1			

Интегральный показатель ресурсоэффективности для каждого исполнения:

$$I_{p.исп1} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,65$$

$$I_{p.исп2} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,20 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,85$$

$$I_{p.исп3} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,95$$

Определяем интегральный показатель эффективности вариантов исполнения на основании выше рассчитанных показателей:

$$I_{исп,1} = \frac{I_{p.исп1}}{I_{фин,исп1}} = \frac{4,65}{0,954} = 4,87$$

$$I_{исп,2} = \frac{I_{p.исп2}}{I_{фин,исп2}} = \frac{3,85}{0,981} = 3,92$$

$$I_{исп,3} = \frac{I_{p.исп3}}{I_{фин,исп3}} = \frac{3,95}{1} = 3,95$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 7.12) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп,i}}{I_{исп,1}}$$

Таблица 7.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,954	0,981	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,65	3,85	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	4,87	3,92	3,95

Продолжение табл. 7.12.

4	Сравнительная эффективность разновидностей исполнения	1	0,805	0,811
---	---	---	-------	-------

Исходя из расчетов, представленных в данном разделе, следует заметить, что наилучшем исполнением считается 1 исполнения. В данном варианте решения поставленной задачи в работе сравнительная эффективность более чем в последних двух исполнениях это свидетельствует тому, что в данном варианте наблюдается оптимальное обеспечение материалами и специальным оборудованием, необходимым для решения и оформления данной работы. Следовательно, достигается наилучшая эффективность проделанного проекта. Данный проект конкурентоспособный в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

7.4 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах:

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 7.13 - Расчёт годовой потребности в сырье и материалах Q=599184т.

Наименование затрат	Ед. изм.	Цена, руб.	Расход		Затраты	
			На 1 т	На 599184 т	На 1 т	На 599184 т
Переменные издержки						
1. Вода	руб.	2,5	2,84	1701682,56	7,1	4254206,4
2.Мазут	руб.	11,5	0,84	503314,56	9,66	5788117,44
3. Энергия	руб.	1362	1,546		2105,652	1261672988
Итог условно-переменных издержек (сырье+топливо+энергия)					2122,412	1271715311,81
Постоянные издержки						
4. Ремонт и содержание оборудования						
4.1 Амортизация	руб.			765000000*0,12	153,208	91800000
4.2 Ремонт	руб.				12,767	7650000
Всего РСЭО	руб.				165,975	99450000
5. ЗП основных рабочих	руб.				18,025	10800000

Продолжение табл.7.13.

5.1 Отчисления на соц. нужды основных рабочих	руб.				5,407	3240000
6. ЗП ИТР и служащих	руб.				13,218	7920000
6.1 Отчисления на соц. нужды ЗП ИТР и служащих	руб.				3,965	2376000
7. ЗП дежурного и ремонтного персонала	руб.				10,815	6480000
7.1 Отчисления на соц. нужды дежурного и ремонтного персонала	руб.				3,244	1944000
8. ЗП МОП	руб.				9,012	5400000
8.1 Отчисления на соц. нужды МОП	руб.				2,704	1620000
Всего ФОТ	руб.				66,39	39780000
Итого условно-постоянных издержек (РСЭО+ФОТ)	руб.				232,366	139230000
Цеховая себестоимость (переменные+постоянные издержки), руб.					2354,778	1410945301,15
Управленческие расходы, руб.					70,64	42328359,03
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость +управ. расходы), руб.					2425,42	1453271658,91
Коммерческие расходы, руб.					24,254	14532716,589
Полная себестоимость (заводская себестоимость +коммерческие расходы), руб.					2449,674	1467805466,02
Итог условно-переменных издержек, руб.					2122,412	1271715311,81
Итог условно-постоянных издержек, руб.					327,254	196090154,21

Таблица 7.14 – Техничко-экономические показатели эффективности подогрева воды

№	Наименование показателя	Ед. изм.	С0
1	Объем производства	тонн	599184
2	Объем продаж	тонн	599184
3	Цена 1 тонны	руб.	2988,57
4	Выручка от продажи	руб.	1790703326,88

Продолжение табл. 7.14.

5	Суммарные издержки	руб.	1467805466,02
5,1	Издержки условно-переменные	руб.	1271715311,81
5,2	Издержки условно-постоянные	руб.	196090154,21
6	Операционная прибыль (4–5)	руб.	322897860,86
7	Налог на прибыль (6*20%)	руб.	64579572,17
8	Чистая прибыль (6–7)	руб.	258318288,69
9	Себестоимость 1 тонны	руб.	2449,674
10	Стоимость основных средств	руб.	765000000
11	Численность основных рабочих	чел.	15
12	Фондовооружённость (10/11)	руб./чел	51000000
13	Фондоотдача (4/10)	руб./ руб.	2,34
14	Фондоемкость (10/4)	руб./ руб.	0,43
15	Производительность труда (4/11)	руб./чел	119380221,79
16	Рентабельность производства (8*100%/5)	%	17,6
17	Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	14,43
18	Критический объем продаж (Qкр.)	тонн	226390,74
19	Критический объем продаж (Qкр.)	тыс.руб.	676584573,84

Расчет цены готовой продукции:

$$Ц_0 = C_0 * \left(1 + \frac{P}{100}\right) = 2449,647 * \left(1 + \frac{22}{100}\right) = 2988,57 \text{ руб.}$$

где C_0 – базовая себестоимость готовой продукции, руб.;

P – рентабельность продукции, %.



Рисунок 7.1 – Структура себестоимости на 1 т. готовой продукции при исходных данных, руб

Анализ безубыточности производства

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пос}}{Ц_{гп} - Изд_{пер.гп}} = \frac{196090154,21}{2988,57 - 2122,412} = 226390,74 \text{ тонн}$$

$$Q_{кр} = 2988,57 \cdot 226390,74 = 676\,584\,573,84 \text{ руб.}$$

где $Ц_{гп}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{пер.гп}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

Определение точки безубыточности графическим способ:

В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($В_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$В_{пр} = Ц_{гп} \cdot Q = 2988,57 \cdot 599184 = 1790703326,88 \text{ тыс. руб}$$

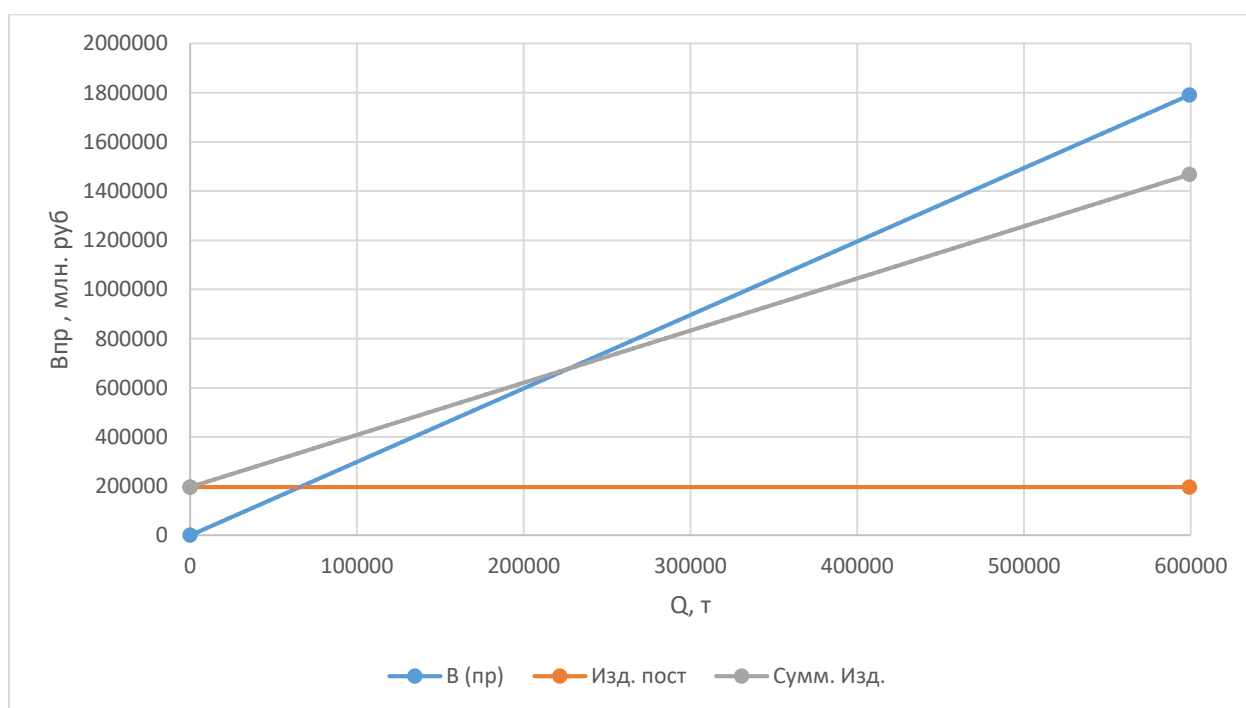


Рисунок 7.2 – График безубыточности для исходных данных

Вывод по разделу

Расчет точки безубыточности показал, что объем производства, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль составляет 2988,57 т/год. Таким образом, при текущем объеме

производства в 599184 т/год можно говорить о высокой доходности производства. Это подтверждают и показатели экономической эффективности, представленные в таблице 7.14. Чистая прибыль предприятия составляет за год порядка 1790703326,88 тыс.руб.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

8 Социальная ответственность

В данной дипломной работе производится расчет пластинчатого теплообменника. Обеспечение безопасности условий работы достигается путем поддержания оборудования и технических средств в исправном состоянии, своевременным ремонтом, герметизацией аппаратов, поддержанием режима, утвержденного в технологическом регламенте для установки.

Область применения для данного теплообменника – системы теплоснабжения, электроэнергетика, химическая, нефтяная и газовая промышленность.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данных аппаратов.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ «О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда», «О службе охраны труда», «О Федеральной инспекции труда» и др. [19].

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Социальная ответственность					Лит.	Лист	Листов	
Выполнил	Перемитина Д.Е.									Д		84	10
Провер.	Семакина О.К.									ТПУ ИШНПТ НОЦ И.М. Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.													
Утверд.													

Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

Функции по контролю и надзору, которые ранее осуществлялись Санэпиднадзором Минздрава России, переданы Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) осуществляет функции по надзору и контролю в сфере труда, а также государственный надзор и контроль за соблюдением, в частности, трудового законодательства и нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права; установленного порядка расследования и учета несчастных случаев на производстве.

Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др.

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ. В федеральном законе «О пожарной безопасности» (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» (1995) характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.

8.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке, эксплуатации и изготовлении данного прибора. Выявленные факторы перечислены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации пластинчатого теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

Продолжение табл. 8.1.

2.Электрический ток		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
3.Повышенная температура поверхности оборудования		+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.

Анализ выявленных вредных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации проектируемого пластинчатого 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.

Повышенный уровень шума:

Шум – это совокупность звуков разной интенсивности и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени, возникающих в производственных условиях и вызывающих у работников неприятные ощущения и объективные изменения органов и систем. [20]

Шум не только ухудшает самочувствие человека и снижает производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводит к профессиональным заболеваниям. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при

нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [21]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА и не более 60 дБА в лабораториях.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются [21]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

Электрический ток:

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором

Согласно требованиям конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

Повышенная температура поверхности оборудования:

На теплообменник необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия других факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и болтами, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит [22].

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите от ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.) [24].

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 °С должна быть не выше 45 °С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать [28].

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

8.3 Экологическая безопасность

Защита от загрязнения сточными водами:

Основными отходами производства являются сточные воды. Выделяют следующие группы сточных вод: - производственные сточные воды (ПСВ); - бытовые, включая хозяйственно-фекальные, сточные воды (БСВ); - атмосферные сточные воды (АСВ), которые формируются за счет атмосферных осадков.

Для отведения сточных вод от мест их образования существуют специальные канализационные сети.

Оценивая сточные воды, сбрасываемые в водные объекты, важно учитывать вид водопользования этого объекта. Различают хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое водопользование. Состояние воды оценивается тремя группами показателей: санитарнотоксикологическими, общесанитарными, органолептическими.

При классификации методов очистки и удаления примесей в качестве классификационных признаков чаще всего используют:

- физико-химическую сущность методов, применяемых при очистке (без учета характера удаляемых примесей и изменения их состояния в процессе очистки);
- характер подлежащих удалению примесей (без учета их состояния в результате очистки);
- изменение состояния примеси в процессе очистки.

Нормативы предельно допустимых объемов сброса загрязняющих веществ рассчитаны с использованием данных качественного анализа стоков (по фактическим значениям концентраций загрязняющих веществ в общем объеме вод и фоновым концентрациям по водотоку - приемнику очищенных стоков). Снижение загрязнений водоемов сточными водами возможно либо в результате очистки всех стоков до предельно допустимых концентраций вредных веществ, либо за счет внедрения оборотных систем с многократным использованием воды.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

При этом степень очистки и количество забираемых из источников вод уменьшаются. К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов котельной и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Основные мероприятия по охране почв:

Для защиты почв при эксплуатации месторождения предусмотрены следующие мероприятия:

- выполнение строительных работ исключительно в пределах монтажной площадки;
- планировка и устройство твердого покрытия на технологических площадках;
- устройство ограждающих стен вокруг технологических резервуаров.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одной из наиболее опасной чрезвычайной ситуацией в процессе эксплуатации энергетического оборудования является возникновение пожара. Риск возгорания на трансформаторных подстанциях не столь велик, но возможные последствия пожара могут быть катастрофическими.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разработаны с целью создания оптимальной системы противопожарной защиты, способной обеспечить необходимый уровень пожарной безопасности.

Пожарная безопасность обеспечивается расположением зданий, сооружений и наружных установок в соответствии с противопожарными нормами, выбором конструкции и материалов зданий и сооружений, техническими мероприятиями. Составлен план ликвидации возможных аварий,

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

утвержденный главным инженером предприятия и согласован с местными органами Госпожнадзора.

На территории объекта предусмотрены следующие противопожарные мероприятия:

- все разрывы между зданиями и сооружениями приняты согласно противопожарным нормам;
- проезды на площадках запроектированы из условия обеспечения подъезда пожарных машин к сооружениям и оборудованию;
- размещение зданий и сооружений на площадке произведено с учетом пожарной и взрывной безопасности.

Для зданий и сооружений предусмотрены мероприятия, предотвращающие распространение пожара, ограничивающие площадь, интенсивность и продолжительность горения:

- производственные здания запроектированы не ниже II степени огнестойкости из конструкций заводского изготовления;
- помещения с взрывопожароопасными и вредными производствами изолированы от помещений без повышенной опасности;
- в зданиях категории «А» для снижения тяжести возможного взрыва предусмотрены легкобрасываемые конструкции (ЛСК);
- в качестве ЛСК используется оконное остекление в наружных стенах, недостающая площадь компенсируется устройством участков легкобрасываемой кровли;
- полы во всех взрывоопасных помещениях предусмотрены из материалов, не дающих искры;
- на случай возникновения пожара проектом обеспечена возможность безопасной эвакуации находящихся в зданиях людей через эвакуационные выходы;
- количество запроектированных эвакуационных выходов из помещений, ширина проходов, коридоров и лестниц, а также максимальное расстояние от наиболее удаленных рабочих мест до выходов соответствует требованиям.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

- все производственные здания высотой до верха парапета более 10 м имеют выходы на кровлю по наружным (пожарным) металлическим лестницам.

Вывод по разделу

В данном разделе были подробно разобраны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности сотрудников для проектирования оптимально комфортной рабочей зоны, проведен анализ опасных производственных факторов. Также были рассмотрены основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса в соответствии с нормативными документами.

Улучшение условий труда, повышение его безопасности влияет на результаты производства - на производительность труда, количество и себестоимость выпускаемой продукции. Улучшение условий труда приводит к социальным результатам – улучшению здоровья трудящихся, повышению степени удовлетворенности трудом, укреплению трудовой дисциплины, повышению престижа ряда профессий, росту производственной и общественной активности и улучшению ряда других показателей, характеризующих более высокую степень социального развития трудящихся.

					ФЮРА.РПТ.000.000.ПЗ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В ходе сделанного проекта был рассчитан пластинчатый теплообменник. Была обоснована технологическая схема.

В технологическом расчете был составлен тепловой баланс теплообменника. Рассчитаны коэффициенты теплоотдачи, коэффициенты теплопередачи. После чего была рассчитана требуемая поверхность теплообмена. Выполнен конструктивный расчет с определением габаритов аппарата. Исходя из свойства сред, которые протекают в аппарате, и параметров теплообмена были подобраны материалы имеющие оптимальное исполнение для данного теплообменника. Исходя из выбора данных материалов и геометрических данных теплообменника, был произведен расчет механической прочности, жесткости и устойчивости, как в целом аппарата, так и отдельных элементов. Определены толщины торцевых плит, рассчитано фланцевое соединение с плоской привалочной поверхностью с прокладкой из паронита. В результате проведенного гидравлического расчета теплообменного аппарата, были определены гидравлические сопротивления для каждого теплоносителя, и подобран насос для перекачки воды. Произведен поверочный расчет теплообменника.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены все возможные опасные и вредные факторы, которые возникают при разработке, изготовлении и эксплуатации пластинчатого теплообменника. Так же были рассмотрены мероприятия по снижению вредного воздействия производственных факторов на рабочего и окружающую среду.

Список литературы

1. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков. — М.: Химия, 1991. — 496 с.: ил.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. — Л.: Химия, 1995. — 500 с.
3. Поникаров, Иван Ильич. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи) : учебное пособие для вузов / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. — Москва: Альфа-М, 2011. — 718 с.
4. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. — Изд. официальное. — М.: Издательство стандартов, 2007.
5. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. — - Л.:Машиностроение, 1970. — 752 с.
6. ГОСТ Р 34233.7 – 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. — М.: Стандартиформ, 2018. — 54 с.
7. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. Технические условия (с Изменениями N1-5, с Поправкой).
8. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. Пособие. — Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
9. ГОСТ Р 34233.4 – 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. — М.: Стандартиформ, 2018. — 42 с.
10. ГОСТ Р 54432-2011. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление от PN1 до PN200. Конструкция, размеры и общие технические требования.

11. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.
12. ГОСТ Р 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. – М.: Стандартиформ, 2018. – 19 с.
13. ГОСТ Р 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. – М.: Стандартиформ, 2018. – 54 с.
14. ГСССД 2-77. Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 °С. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 6 с.
15. А.А. Волошин. Расчет фланцевых соединений трубопроводов и сосудов. – Л.: СУДПРОИГИЗ, 1959. – 292 с.
16. РД 26-01-86-88. Аппараты теплообменные пластинчатые. Метод расчета на прочность и герметичность. – Х.: УкрНИИхиммаш, 1988. – 62 с.
17. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета при малоцикловых нагрузках. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 24 с.
18. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
19. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Статья 354. Федеральная инспекция труда. // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/06e65c29627d7e3cc4324f474b4f5afe0a9541dc/, дата обращения – 28.03.19.
20. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности //Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. 2018.

21. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1). - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
22. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
23. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
24. Назаренко О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.
25. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.// Портал нормативных документов. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.lenprom.spb.ru/files/documentation/83.pdf> , дата обращения - 24.05.19.
26. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений //Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации URL: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2107/ , дата обращения - 24.05.19.
27. ПБ 03-585-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов.
28. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2015. – 753 с.