

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти

УДК 665.63.02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М.Кижнера ИШНПТ	Тихонов Виктор Владимирович			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М.Кижнера ИШНПТ	Горлушко Дмитрий Александрович	К.т.н., доцент		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Выпускающее подразделение: Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Горлушко Д.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	г.
--	----

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции. Расход паров бензина: 8 т/час Температура конденсации паров бензина: 70 °С Хладагент: обессоленная вода. Начальная температура воды: 12 °С Конечная температура воды: 20 °С Рабочее давление в межтрубном пространстве: 0.1 МПа Рабочее давление трубном пространстве: 0.25 МПа</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат Введене Обзор литературы Описание технологической схемы Расчет кожухотрубчатого теплообменника Технологический расчет теплообменника Конструктивный расчет теплообменника Механический расчет теплообменника Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение Список литератур</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид теплообменника;</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кащук Ирина Вадимовна
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М.Кижнера ИШНПТ	Тихонов Виктор Владимирович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал		

Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы

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 (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
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 (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметакхим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологи.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.

Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
----	---	--

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4Г8Б		Энхболд Баяржаргал	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p>Объект исследования - кожухотрубчатый теплообменник Область применения: производственное помещение Рабочая зона: ТПУ НОЦ Н.М. Кижнера, г. Томск Размеры помещения 40 м² Количество и наименование оборудования рабочей зоны Сырьем установки УПН Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне теплота от более нагретого теплоносителя через поверхность стенок труб передаётся менее нагретому теплоносителю.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – “Трудовой кодекс Российской Федерации” от 30.12.2001 N 197 - ФЗ (ред. От 01.04.2019) – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещённость в рабочей зоне; – изменение параметров микроклимата; – повышенный уровень шума. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – высокая температура на поверхности оборудования; – подвижные части оборудования; – поражение электрическим током <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – автоматический контроль и сигнализация; – осветительные приборы; – оградительные устройства; – устройства защитного заземления

3. Экологическая безопасность при эксплуатации.	<i>Воздействие на селитебную зону:</i> загрязнение источников питьевой воды. <i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение окружающей среды отходами. <i>Воздействие на гидросферу:</i> загрязнение источников воды <i>Воздействие на атмосферу:</i> загрязнение воздуха газами, полученные в процессе экстрагирования.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации.	Возможные ЧС: ЧС техногенного характера в помещении – пожар и взрывы. Природные ЧС – ураганы и землетрясение. Наиболее типичная ЧС: пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Энхболд Баяржаргал		

Реферат

Дипломный проект содержит 110 с., 15 рисунков, 35 таблицы, 34 источников литературы, 3 листа графического материала формата А1 и 1 листа формата А2.

Выпускная квалификационная работа «Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти»

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, трубная решётка, нефтепереработка, перегородка, Седлова опора, плавающая головка.

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник конденсации паров бензина обессоленной водой.

Цель работы – расчет и выбор теплообменного аппарата для конденсации паров бензина.

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

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики теплообменника: диаметр кожуха 800 мм, длина труб 6 м, диаметр труб 25x2 мм, поверхность теплообмена 216 м², одноходовой, горизонтальный.

Область применения: нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность.

В финансовом менеджменте произведен экономический расчет выбранной технологии ректификационной установки.

В социальной ответственности были рассмотрены все возможные опасные и вредные факторы, связанные с эксплуатацией и монтажом аппарата.

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

Abstract

The diploma project contains 110 pp., 15 figures, 35 tables, 34 sources of literature, 1 appendix, 4 sheets of A1 graphic material.

Final qualifying work " Development of a heat exchanger for the condensation of gasoline fraction vapors in the process of oil distillation "

Key words: shell-and-tube heat exchanger, tube sheet, oil refining, dividing wall, saddle support, floating head.

The object of study is a shell-and-tube heat exchanger condensation of gasoline vapors with demineralized water.

The purpose of the work is the calculation and selection of a heat exchanger for gasoline vapor condensation.

As a result of the research, a standard heat exchanger was chosen for the distillation unit.

The main design, technological and technical and operational characteristics of the heat exchanger: casing diameter 800 mm, pipe length 6 m, pipe diameter 25x2 mm, heat exchange surface 216 m², one-way, horizontal.

Scope: chemical and petrochemical industry.

In financial management, an economic calculation was made of the selected technology of a distillation unit.

In the social responsibility were considered all kinds of dangerous and harmful factors associated with the operation and installation of the device.

During the work it was confirmed that this selected heat exchanger meets all the requirements of the process.

Оглавление

Введение.....	16
1. Теоретическая часть	18
1.1 Характеристика нефти по ГОСТ Р 51858-2002 и выбор варианта ее переработки	18
1.2 Характеристика бензиновых фракций и их применение	18
1.3 Принципиальная технологическая схема установки ЭЛОУ АВТ и её краткое описание.....	20
2. РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА	23
2.1 Технологический расчет теплообменника	23
2.2 Расчёт расходов теплоносителей.....	24
2.3 Уточненный расчет и выбор кожухотрубчатого теплообменника ...	26
2.4 Коэффициент теплоотдачи обессоленной вода	26
2.5 Коэффициент теплоотдачи бензин.....	27
2.6 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений	28
2.7 Коэффициент теплопередачи.....	29
2.8 Пересчитаем коэффициент теплопередачи.	29
2.9 Расчет тепловой изоляции.	31
2.10 Гидравлический расчёт	32
3. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА	34
3.1 Подбор и расчет штуцеров.....	34
3.2 Выбор конструкционных материалов теплообменника	37
4. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА	40
4.1 Расчет толщины стенки кожуха	41
4.2 Расчет толщины днища	45
4.3 Расчёт толщины стенки распределительной (входной) камеры	47
4.4 Расчет температурных деформаций	49
4.5 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ.....	51
4.6 Расчёт толщины трубной решётки	61
4.7 Расчёт развальцованного соединения.....	67

4.8 Расчёт опор.	69
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	75
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	76
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений	76
5.1.2 SWOT-анализ	76
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	79
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	79
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	80
5.3 Бюджет научно-технического исследования	84
5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	85
5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	86
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	82
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ..	88
5.3.5 Накладные расходы	88
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	90
Выводы по разделу	94
6. Социальная ответственность	95
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасност....	95
6.2. Производственная безопасность	98
6.2.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	99
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.....	101
6.3 Экологическая безопасность.....	102
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
Вывод по разделу	105
Заключение	106

Список использованных источников	107
--	-----

Введение

Установки первичной переработки нефти составляют основу всех НПЗ. На них вырабатываются практически все компоненты моторных топлив, смазочных масел, сырья для вторичных процессов и для нефтехимических производств. От работы АВТ зависят выход и качество компонентов топлив и смазочных масел и технико-экономический показатель последующих процессов переработки нефтяного сырья. Проблемам повышения эффективности работы и интенсификации установок АВТ всегда уделялось и уделяется серьезное внимание.

Важнейшими из всего многообразия проблем, стоящих перед современной нефтепереработкой нужно считать следующие:

- глубокая переработка нефти;
- повышение октановых чисел автобензинов;
- снижение энергоемкости производств за счет внедрения новейших достижений в области тепло- и массообмена, разработки более совершенных и интенсивных технологий глубокой безотходной и экологически безвредной переработки нефти и др.

Целью данной работы является разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти

Задачи дипломного проекта по разработке кожухотрубчатого теплообменника следующие:

- по исходным данным сделать технологический расчет оборудования, цель которого состоит в расчете поверхности теплообмена, согласно которому необходимо подобрать из ряда стандартных теплообменников наиболее подходящий;
- после выяснения основных геометрических величин оборудования, выбрать его исполнения по материалам, которое можно применить исходя из того, что в оборудование протекает теплообмен между обессоленной нефтью и бензин;

- рассчитать гидравлическое сопротивление трубопровода, и сопротивление в трубном пространстве теплообменника. По расчетам подобрать насос, для перекачивания;

- для обеспечения надежности оборудования во время эксплуатации, или во время монтажных работ, гидроиспытаний, необходимо сделать механический расчет элементов, узлов оборудования, и проверить надежность оборудования в целом;

- рассчитать экономическую целесообразность проектируемого оборудования и выбранной технологической схемы;

- рассмотреть вопросы выполнения требований безопасности и гигиены труда к промышленной безопасности, по охране окружающей среды. Выяснить всевозможные опасности при эксплуатировании проектируемого оборудования, описать опасные и вредные факторы. Предложить мероприятия по организации безопасности согласно стандартам.

Задачи, касающиеся расчета оборудования, решаются при использовании программного обеспечения Mathcad.

По результатам расчета ожидается подбор эффективного оборудования для реализации теплообмена, обладающего экономической эффективностью и имеющего экономически целесообразную технологию по нагреву обессоленной бензином.

1. Теоретическая часть

1.1 Характеристика нефти по ГОСТ Р 51858-2002 и выбор варианта ее переработки

Выбор технологической схемы первичной и последующей переработки нефти в большой степени зависит от её качества. Данные о Девонской нефти взяты в справочной литературе. Показатели качества нефти представлены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 - Показатели качества перерабатываемой нефти.

Показатели	Значение показателя
Плотность нефти при 20°C, кг/м ³	889,5
Содержание в нефти: хлористых солей, мг/дм ³	119
Воды, % масс.	0,67
Серы, % масс.	2,82
Парафина, % масс.	2,6
фракции до 360°C, % масс.	38,4
фракции 360-500°C, % масс.	18,7
фракции 500-600°C, % масс.	15,0
Плотность гудрона (остатка) при 20 °C (фр.>500°C), кг/м ³	1009,3
Вязкость нефти: при t=20°C, мм ² /с	38,9
при t=50°C, мм ² /с	14,72

Девонские нефти пашийских и живетских продуктивных горизонтов, как правило, отличаются низкой плотностью, невысоким содержанием смол и асфальтенов, а также большим содержанием светлых нефтепродуктов.

В нефти разных месторождений и пластов растворено различное количество газов (до C4 и C5); во всех случаях в газах характерно преобладание углеводородов нормального строения. Из всех нефти области прямой перегонкой могут быть получены лишь компоненты автомобильных бензинов с низким октановым числом (32 – 42).

Таблица 1.2 – Потенциальное содержание фракций в Девонской нефти

Номер компонента	Компоненты, фракции	Массовая доля компонента в смеси, x_i
1	H ₂	0
2	CH ₄	0
3	C ₂ H ₆	0,000278
4	C ₂ H ₄	0,00000
5	H ₂ S	0,00000
6	ΣC ₃	0,003654
7	ΣC ₄	0,006068
8	28-62°C	0,018
9	62-85°C	0,016
10	85-105°C	0,019
11	105-140°C	0,036
12	140-180°C	0,046
13	180-210°C	0,039
14	210-310°C	0,138
15	310-360°C	0,072
16	360-400°C	0,061
17	400-450°C	0,064
18	450-500°C	0,062
19	500-550°C	0,081
20	>550°C	0,338
	Итого:	1,000

Показатели качества Девонской нефти, приведенные в таблицах 1.1 и 1.2, позволяют сказать, что базовых масел с ИВ \geq 90 и температурой застывания \leq -15°C в нефти нет.

Таким образом производство базовых масел, т.е. получение узких масляных фракций на установке АВТ является не целесообразным.

Нефть следует перерабатывать по топливному варианту.

Девонская нефть с массовой долей серы 2,82 % (класс 3, высокосернистая), плотностью при 20°C 889,5 (тип 3, тяжелая), концентрации хлористых солей 119 мг/дм³, массовой долей воды 0,67 % (группа 3), массовой долей сероводорода 24 ppm (вид 2) обозначается «3.3.3.2. ГОСТ Р 51858-2002». Данная нефть соответствует «ГОСТ Р 51858-2002. Нефть.

Общие технические условия.» [1] только для внутреннего использования (плотность не соответствует требованиям экспортного варианта - тип 3).

1.2 Характеристика бензиновых фракций и их применение

В таблице [таблица 1.3] представлены характеристики всех бензиновых фракций, которые получают на современных установках АВТ. В настоящее время при первичной перегонке нефти не выделяют узкие бензиновые фракции, служившие ранее сырьем для производства индивидуальных ароматических углеводородов в процессе каталитического риформинга. На современных установках каталитического риформинга применяются высокоактивные катализаторы при пониженном давлении в реакторах, что обеспечивает высокий выход ароматики (55-65 % на катализат) при работе на сырье широкого фракционного состава, выкипающем в пределах 70-180°C. На установке АВТ в основном получают бензиновые фракции 70-120°C (при выработке реактивного топлива) или 70-180°C (если реактивное топливо не вырабатывают), которые направляют на риформинг для повышения их октанового числа. Фракцию нк-70°C целесообразно использовать для процесса изомеризации и далее как компонент бензина. Фракцию 70-140°C для получения ароматики на установке каталитического риформинга или в смеси с фракцией 140-180°C, для производства высокооктанового компонента

автомобильных бензинов. Для всех фракций необходима предварительная гидроочистка.

Конструкция ректификационных аппаратов различается в зависимости от способа контакта фаз и организации процесса в целом. Наиболее простой конструкцией ректификационных аппаратов является колонна, в которой движение жидкости от одной ступени контакта к другой происходит под действием силы тяжести. Основным аппаратом установок первичной перегонки нефти является вертикальная цилиндрическая ректификационная колонна. Внутри нее одна над другой располагаются тарелки. На их поверхности происходит контакт паровой и жидкой фаз. Причем наиболее

легкие компоненты при жидком орошении испаряются и устремляются вверх вместе с парами, а наиболее тяжелые – конденсируясь, остаются в жидкости.

Таблица 1.3 - Характеристика бензиновых фракций и их применение

Пределы кипения фракции, °С	Выход на нефть, % масс.	Октановое число без ТЭС	Содержание, % масс.			
			серы	ароматических углеводородов	нафтеновых углеводородов	парафиновых углеводородов
н.к.-70	2,1	59	0,1	1	13	86
70-120	4,5	51	0,1 8	7	22	71
70-140	6,8	45	0,2 0	9	27	64
140-180	4,6	37	0,3 2	12	29	59
н.к.-180	13,5	40	0,1 9	9	25	66

1.3 Принципиальная технологическая схема установки ЭЛОУ АВТ и её краткое описание

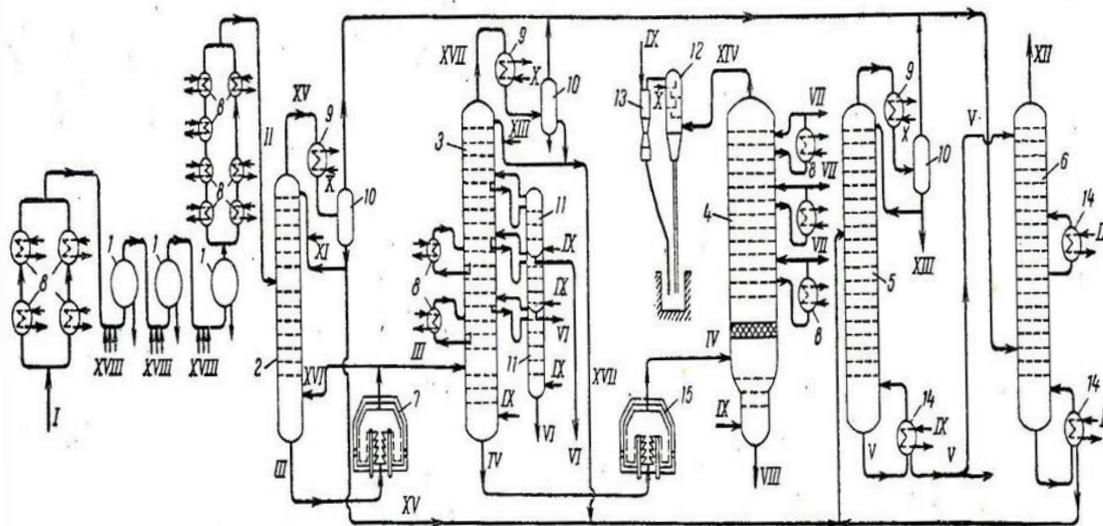


Рисунок 1.1 - Схема комбинированной установки ЭЛОУ-АВТ:

1 - электродегидратор; 2 - отбензинивающая колонна; 3 - основная атмосферная колонна; 4 - вакуумная колонна; 5 - стабилизационная колонна; 6 - абсорбер; 7 - атмосферная печь; 8 - теплообменники; 9 - конденсаторы-холодильники; 10 - газосепараторы; 11 - отпарные колонны; 12 - барометрический конденсатор; 13 - эжектор; 14 - паровые подогреватели; 15 - вакуумная печь.

Линии: I - сырая нефть; II - обезвоженная и обезсоленная; III - отбензиненная нефть; IV - мазут; V - стабильный бензин; VI - боковые продукты атмосферной колонны; VII - боковые продукты вакуумной колонны; VIII - гудрон; IX - водяной пар; X - обратная вода; XI - амиачная вода; XII - сухой газ; XIII - сжиженный газ; XIV - неконденсировавшиеся пары и

газы; XV - легкий бензин; XVI - горячая струя; XVII - тяжелый бензин; XVIII - вода, деэмульгатор и щелочь.

Установки ЭЛОУ-АВТ. Технологическая схема комбинированной установки ЭЛОУ-АВТ приведена (на рис. 1.1) Подогретая в теплообменниках 8 нефть / с температурой 120-140°C в дегидра-торах 1 подвергается термохимическому и электрообезвоживанию и обессоливанию в присутствии воды, деэмульгатора и щелочи. Подготовленная таким образом нефть дополнительно подогревается в других теплообменниках и с температурой 220°C поступает в колонну 2. Сверху этой колонны отбирается фракция легкого бензина XV. Остаток III снизу колонны 2 подается в печь 7, где нагревается до 330 ° C, и поступает в колонну 3. Часть нефти из печи 7 возвращается в колонну 2 в качестве горячей струи. Сверху колонны 3 отбирается тяжелый бензин XVII, а сбоку через отпарные колонны 11 фракции VI (140-240, 240-300 и 300-350° C). Мазут IV снизу колонны 3 подается в печь 15, где нагревается до 420°C, и поступает в вакуумную колонну 4, работающую при остаточном давлении 60 мм рт. ст. Водяные пары, газообразные продукты разложения и легкие пары XIV сверху колонны 4 поступают в барометрический конденсатор 12, несконденсировавшиеся газы отсасываются эжектором 13. Боковыми погонями колонны 4 являются фракции VII, остатком — гудрон VIII.

Бензины XV и XVII, получаемые из колонн 2 и 3, смешивают и отводят в стабилизатор 5. Газ из газосепараторов 10 после ком-примирования подается в абсорбер 6, орошаемый стабильным бензином V. Сухой газ XII сбрасывается к форсункам печей. Головной продукт стабилизации колонны 5 направляется на ГФУ., Стабильный бензин подвергается защелачиванию.

Установка ЭЛОУ-АВТ является комбинированной и включает в себя блок ЭЛОУ, атмосферный блок, блок стабилизации, вторичной перегонки бензина и блок вакуумной перегонки мазута с вакуумосоздающей аппаратурой.

2. РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

2.1 Технологический расчет теплообменника

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

Исходные данные:

Начальная температура бензин: $t_{н.б}: = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Конечная температура бензин: $t_{к.б}: = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Начальная температура оборотной воды: $t_{н.в}: = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

Конечная температура оборотной воды: $t_{к.в}: = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Рабочее давление в межтрубном пространстве: $P_{\text{раб.мжт}}: = 0.1 \text{ МПа}$

Рабочее давление трубном пространстве: $P_{\text{раб.тр}}: = 0.25 \text{ МПа}$

Расход бензин: $G_{б}: = 8 \text{ т/час}$

Для определения средней разности температур составим температурную схему процессов (рисунок 2.1), происходящих в теплообменнике, а именно: нагрев бензин в трубном пространстве и конденсация паров в межтрубном пространстве при постоянной температуре.

Температурная схема процесса представлена на рис 2.1.

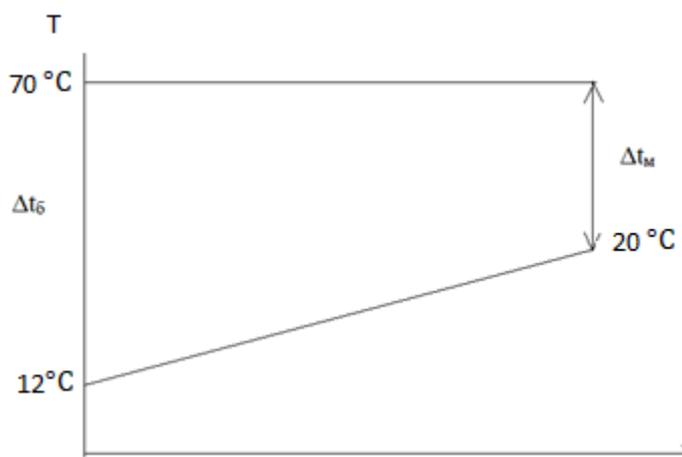


Рисунок 2.1– Температурная схема процесса

Разности температур рассчитываем следующим образом:

$$\begin{array}{ccc} 70 & \text{-----}> & 70 \\ 20 & <----- & 12 \end{array}$$

$$\Delta t_{\text{б}} := t_{1\text{Н}} - t_{2\text{Н}} = 70 - 12 = 58^\circ$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{1\text{К}} - t_{2\text{К}} = 70 - 20 = 50^\circ$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ – наибольшая разность температур, °С,

$\Delta t_{\text{м}}$ – наименьшая разность температур, °С;

Среднюю разность температур определяем по уравнению [2, с. 169]:

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)}, \quad \Delta t_{\text{ср}} := 54^\circ \text{С}, \quad (2.1)$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур теплоносителей, °С;

Определяем средние температуры теплоносителей:

$$t_{\text{ср.б}} := 70^\circ \text{С} \qquad t_{\text{ср.в}} := \frac{20+12}{2} = 16^\circ \text{С}$$

2.2 Расчёт расходов теплоносителей.

Переведём массовый расход бензин в кг/с:

$$G_{\text{б}} := G_{\text{б}} \cdot \frac{1000}{3600}, \qquad G_{\text{б}} := 80 \cdot \frac{1000}{3600} = 22.22 \text{ кг/с}$$

Тепловая нагрузка теплообменника с учетом потерь теплоты:

$$Q_{\text{б}} := G_{\text{б}} \cdot r_{\text{б}}, \quad (2.2.1)$$

$$Q_{\text{б}} := 22.22 \cdot 300 \cdot 10^3 = 6666 \text{ кДж/с},$$

где $r = 300 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$,

Определение массового расхода воды обессоленной.

$$Q_{\text{в}} := \frac{Q_{\text{б}}}{1.05}, \qquad Q_{\text{в}} := \frac{6666}{1.05} = 6348 \text{ Вт}$$

где $Q_{\text{в}}$ – количество передаваемого тепла, Вт

Расход воды:

$$G_{\text{в}} := \frac{Q_{\text{б}}}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \quad (2.2.2)$$

$$G_B := \frac{6666}{4190 \cdot (20 - 12)} = 198.9 \text{ кг/с,}$$

где c_B – удельная теплоемкость воды.

Объёмный расход обессоленной вода и бензин:

$$V_B := \frac{G_B}{\rho_B} = \frac{198.9}{1000} = 0.199 \text{ м}^3/\text{с,}$$

$$V_6 := \frac{G_6}{\rho_6} = \frac{22.22}{760} = 0.029 \text{ м}^3/\text{с}$$

где $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ (при $t_B = 16 \text{ °C}$ [2, с. 512, табл. IV,).)

Зададимся ориентировочным значением коэффициентов теплопередачи [2, с. 172, табл. 4.8].

От органического вещества к органическому веществу, минимальное и максимальное значение соответственно $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$:

$$K_{max} := 800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}} \qquad K_{min} := 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$$

где K_{min} – минимальный коэффициент теплопередачи первой зоны, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;

K_{max} – максимальный коэффициент теплопередачи первой зоны, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.

Ориентировочно определяем максимальную величину поверхности теплообмена:

$$F_{max} := \frac{Q}{K_{min} \cdot \Delta_{cp}}, \qquad F_{min} := \frac{Q}{K_{max} \cdot \Delta_{cp}}, \qquad (2.2.3)$$

$$F_{max} := \frac{6666000}{300 \cdot 54} = 411 \text{ м}^2, \qquad F_{min} := \frac{6666000}{800 \cdot 54} = 154 \text{ м}^2$$

где K_{min} – минимальный коэффициент теплопередачи, м^2

K_{max} – максимальный коэффициент теплопередачи, м^2 .

Принимаем приближенное значение ориентировочных поверхностей теплообмена:

$$F_{max} := 411 \text{ м}^2, \qquad F_{min} := 154 \text{ м}^2$$

В результате расчетов примем в первом приближении теплообменник типа ТН или ТК с характеристиками, перечисленными в таблице 1.

Таблица 2.1 – Характеристики теплообменника

Диаметр кожуха наружный D, мм	800
Диаметр труб d, мм	25x2
Число ходов z	1
Длина труб l, м	6
Общее число труб N	456

1) Расчет коэффициента теплоотдачи для трубного пространства.

Для обеспечения турбулентного течения воды в трубном пространстве ($Re > 10000$) необходима скорость

Критерий Рейнольдса для воды при пересчете на другое количество труб:

$$Re_B := 10000 \cdot (3/2) = 15000 \quad (Re_B > 10000, \text{ режим турбулентный}).$$

$$w_B := \frac{Re_B \cdot \mu_B}{d_{\text{внутр}} \cdot \rho_B}, \quad w_B := \frac{15000 \cdot 1.124 \cdot 10^{-3}}{0.021 \cdot 1000} = 0.8 \text{ м/с}, \quad (2.2.4)$$

где w_B — скорость течения обессоленной вода в трубах, м/с.

Площадь поперечного сечения межтрубного пространства

$$S_{\text{труб}} := \frac{V_B}{w_B} = \frac{\pi D_{\text{кож.вн}}^2}{4} \cdot \frac{\pi d_{\text{внутр}}^2}{4} \quad (2.2.5)$$

$$S_{\text{труб}} := 0.46(D_{\text{кож.вн}}^2 - d_{\text{внутр}}^2 n) = 0.46(0.8^2 - 0.025^2 \cdot 465) = 0.161 \text{ м}^2$$

2.3 Уточненный расчет и выбор кожухотрубчатого теплообменника

Уточняем критерий Рейнольдса (Re):

$$Re_B := \frac{\rho_B \cdot w \cdot d_{\text{вн}}}{\mu_B} = \frac{1000 \cdot 0.8 \cdot 0.021}{1.124 \cdot 10^{-3}} = 14946. \quad (2.3.1)$$

2.4 Коэффициент теплоотдачи обессоленной вода

Формула для критерия Нуссельта (трубное пространство, турбулентный режим) 4.17 [2, с. 152]:

$$Nu_B := 0.021 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_B^{0.8} \cdot Pr^{0.43} (Pr_B / Pr_{\text{ств}})^{0.25}, \quad (2.4.1)$$

ε_1 примем равным 1,

В этой формуле 4.12 [2, с. 151]:

$$Pr_B := \frac{c_B \cdot \mu_B}{\lambda_B}, \quad Pr_B := \frac{4190 \cdot 1.124 \cdot 10^{-3}}{0.58} = 8.12 \quad (2.4.2)$$

Принимаем в первом приближении температуры стенок со стороны горячего и холодного теплоносителей одинаковыми:

$$t_{\text{стб}} := t_{\text{ств}} = t_{\text{б}} - \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{2} = t_{\text{в}} + \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{2} = 70 - \frac{54}{2} = 16 + \frac{54}{2} = 43^{\circ}\text{C}.$$

Найдем теплофизические константы для воды при температуре

$$t_{\text{ств}} = 43^{\circ}\text{C}$$

$c_{\text{ств}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ (для воды практически не меняется от 0 до 90°C)

$$\mu_{\text{ств}} = 0,621 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_{\text{ств}} = 0.511 \cdot 1.163 = 0.594 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Вычисляем $\text{Pr}_{\text{ст2}}$ 4.12 [2, с. 151]:

$$\text{Pr}_{\text{ств}} := \frac{c_{\text{ств}} \cdot \mu_{\text{ств}}}{\lambda_{\text{ств}}}, \quad \text{Pr}_{\text{ств}} := \frac{4190 \cdot 0,621 \cdot 10^{-3}}{0.594} = 4.38. \quad (2.4.3)$$

Найдем отношение:

$$\frac{\text{Pr}_{\text{в}}}{\text{Pr}_{\text{ств}}} := \frac{8.12}{4.38} = 1.85 \quad (2.4.4)$$

Коэффициент теплоотдачи нефти рассчитываем по формуле 4.17 [2, с. 152]:

$$\text{Nu}_{\text{в}} := 0.021 \cdot 1 \cdot 14946^{0.8} \cdot 8.02^{0.43} \cdot 1.85^{0.25} = 130$$

Коэффициент теплоотдачи для воды в первом приближении [2, с.150]:

$$\alpha_{\text{в}} := \frac{\text{Nu}_{\text{в}} \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{внутр}}}, \quad \alpha_{\text{в}} := \frac{130 \cdot 0.58}{0.021} = 3590 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (2.4.5)$$

2.5 Коэффициент теплоотдачи бензин

Расчет межтрубного пространства (бензин).

Конденсация паров вещества на пучке горизонтальных труб (выбираем горизонтально расположенный аппарат).

Формула для коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации паров вещества на наружной поверхности пучка горизонтальных труб 4.49б [2, с. 161]:

$$\alpha_{\text{б}} := 0.728 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_r \sqrt[4]{\frac{\lambda_{\text{б}}^3 \cdot \rho_{\text{б}}^2 \cdot r \cdot g}{\mu_{\text{б}} \cdot \Delta t \cdot d_{\text{вн}}}}, \quad (2.5.1)$$

В этой формуле:

1) ε зависит от числа труб по вертикали (n_B). По табл. 4.12 для $n = 465$ находим $n_B = 23$ По рис. 4.7 (для шахматного расположения труб) $\varepsilon = 0.58$:

2) ε_t – поправочная функция, учитывающая свойства конденсата при температуре конденсации 4.50 [2, с. 161]:

$$\varepsilon_t := \left[\left(\frac{\lambda_{ст6}}{\lambda_6} \right)^3 \cdot \frac{\mu_6}{\mu_{ст6}} \right]^{\frac{1}{8}}, \quad \varepsilon_t := \left[\left(\frac{0.165}{0.163} \right)^3 \cdot \frac{0.206 \cdot 10^{-3}}{0.257 \cdot 10^{-3}} \right]^{\frac{1}{8}} = 0.977 \quad (2.5.2)$$

3) $\lambda_6 = 0.142 \cdot 1.163 = 0.165$ Вт/(м·К) (пленка конденсата бензин при $t_6 = 70$ °С);

$\lambda_{ст6} = 0.140 \cdot 1.163 = 0.163$ Вт/(м·К) (пленка конденсата бензин при $t_{ст6} = 43$ °С);

$\mu_{ст6} = 0.257 \cdot 10^{-3}$ Па·с (при $t_{ст6} = 43$ °С);

4) $\varepsilon_r = 1$ – принимаем, считая, что воздух в парах бензин не содержится (в противном случае пользуемся рис. 4.9);

5) $\rho_1 = 612$ кг/м² – плотность пленки конденсата бензин при $t_6 = 70$ °С (темп. конденсации):

6) $\Delta t := t_6 - t_{ст6} = 70 - 43 = 27$ °С.

Подставим все значения и коэффициенты в формулу для α_1 4.49б [2, с. 161]:

$$\alpha_6 := 0.728 \cdot 0.58 \cdot 0.977 \cdot 1 \sqrt[4]{\frac{0.165^3 \cdot 612^2 \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 9.81}{0.206 \cdot 10^{-3} \cdot 27 \cdot 0.025}} = 1007,7$$

2.6 Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений

Рассчитаем сумму термических сопротивлений стенки и загрязнений по формуле [2, с. 195]:

$$\sum r_{ст} := \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{загр1}} + \frac{1}{r_{загр2}}, \quad (2.6.1)$$

где ΣR – термическое сопротивление, (м² · К)/Вт;

$r_{загр1}$ – тепловое сопротивление загрязнения со стороны воды, Вт/(м² · К);

$r_{загр2}$ – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны бензин, Вт/(м² · К);

δ – толщина стенки трубы, м;

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

Из таблицы XXXI [2, с. 531] выберем тепловые проводимости загрязнений со стороны вода равной $5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а со стороны бензин $5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Из таблицы XXVIII [2, с. 529] теплопроводность стали:

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

Имея все значения, найдем термическое сопротивление [2, с. 195]:

$$\sum r_{\text{ст}} := \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5000} + \frac{1}{5800} = 4.15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

2.7 Коэффициент теплопередачи

Рассчитаем действительный коэффициент теплопередачи по формуле 4.37 [2, с. 159]:

$$K' := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1008} + 4.15 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4383}} = 611 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (2.7.1)$$

где K – действительный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Уточном ранее принятые значения температур стенок со стороны горячего и холодного теплоносителя исходя из полноты удельного теплового потока

$$q' := K' \cdot \Delta t_{\text{ср}} \quad (2.7.2)$$

$$t_{\text{стб}} := t_6 - \frac{q'}{\alpha_1}, \quad t_{\text{стб}} := 70 - \frac{611 \cdot 54}{1008} = 37.3 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{ств}} := t_в + \frac{q'}{\alpha_2}, \quad t_{\text{ств}} := 16 + \frac{611 \cdot 54}{5081} = 22,5^\circ\text{C}.$$

2.8 Пересчёт коэффициента теплопередачи.

1. Коэффициент теплопередачи для воды ($\alpha_в$).

Определим теплофизические константы при уточненной температуре стенки $t_{\text{ств}} = 22.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$c_{\text{ств}} = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$\mu_{\text{ств}} = 0.95 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [2, \text{ с. табл. IX}].$$

$$\lambda_{\text{ств}} = 0.52 \cdot 1.163 = 0.605 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad [2, \text{ с. рис. X}]:$$

Вычисляем $Pr_{\text{ст2}}$:

$$Pr_{\text{ст2}} := \frac{c_{\text{ст2}} \cdot \mu_{\text{ст2}}}{\lambda_{\text{ст2}}}, \quad Pr_{\text{ст2}} := \frac{4190 \cdot 0.95 \cdot 10^{-3}}{0.605} = 6.58. \quad (2.7.3)$$

$$\frac{Pr_2}{Pr_{\text{ст2}}} = \frac{8.12}{6.58} = 1.234 \text{ (в предыдущем приближении – 2.645).}$$

Пересчитаем коэффициент теплоотдачи для воды:

$$\alpha_2 := 3590 \left(\frac{1.234}{2.645} \right)^{0.25}, \quad \alpha_2 := 2967 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

2. Для бензин, предварительно пересчитав теплофизические константы и коэффициент для уточненной температуры $t_{\text{стб}} = 37.3^\circ\text{C}$:

$$\lambda_{\text{стб}} = 0.1 \cdot 1.163 = 0.116 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

пленка конденсата бензин при $t_{\text{стб}} := 37.3^\circ\text{C}$:

$$\mu_{\text{стб}} = 0.271 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с (при } t_{\text{стб}} = 37.3^\circ\text{C)};$$

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{0.116}{0.163} \right)^3 \cdot \frac{0.206 \cdot 10^{-3}}{0.271 \cdot 10^{-3}} \right]^{1/8} = 0.850 \text{ (в предыдущем приближении – 0.915);}$$

$$\Delta t = t_{\text{б}} - t_{\text{стб}} = 70 - 37.3 = 32.7^\circ\text{C (в предыдущем приближении – 48.2).}$$

$$\alpha_{\text{б}} := 1008 \cdot \frac{0.850}{0.915} \cdot \sqrt[4]{\frac{48.2}{32.7}} = 1032 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

По уточненным данным пересчитаем коэффициент теплопередачи 4.37 [2, с. 159]:

$$K' := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{б}}} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}} \quad (2.7.4)$$

$$K' := \frac{1}{\frac{1}{1032} + 4.15 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2967}} = 581 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Проверим принятые температуры стенки:

$$t_{\text{стб}} := t_{\text{б}} - \frac{K' \cdot \Delta t_{\text{ср}}}{\alpha_{\text{б}}}, \quad t_{\text{стб}} := 70 - \frac{581 \cdot 54}{1032} = 39.3^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ств}} := t_{\text{в}} + \frac{K' \cdot \Delta t_{\text{ср}}}{\alpha_{\text{в}}}, \quad t_{\text{ств}} := 16 + \frac{581 \cdot 54}{2967} = 26.6^\circ\text{C}$$

Определение минимальной расчетной поверхности теплопередачи

$$F_p := \frac{Q}{K' \cdot \Delta_{cp}}, \quad F_p := \frac{6666000}{581 \cdot 54} = 212 \text{ м}^2 \quad (2.7.5)$$

Запас поверхности теплообмена:

$$\Delta := \frac{F - F_p}{F_p} \cdot 100\%, \quad \Delta := \frac{219 - 212}{212} \cdot 100 = 0.03 \% \quad (2.7.6)$$

Таблица 2.2 – Характеристики теплообменника

Диаметр кожуха наружный D, мм	800
Диаметр труб d, мм	25x2
Число ходов z	1
Длина труб l, м	6000
Общее число труб n	456
Поверхность теплообмена N, м ²	219

2.9 Расчет тепловой изоляции.

Принимаем температуру стенки равной температуре среды в межтрубном пространстве, T=70 °C

$$t_{ст} := 70 \text{ °C}$$

$$t_{из} := 50 \text{ °C}$$

$$t_{окр} := 20 \text{ °C}$$

$$\Delta t := t_{из} - t_{окр}, \quad \Delta t := 50 - 20 = 30 \text{ °C}$$

Разность между температурой поверхности слоя изоляции и температурой окружающей среды.

$$\alpha_n := 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t, \quad \alpha_n := 9.74 + 0.07 \cdot 30 = 11.84 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

В качестве теплоизоляционного материала примем совелит:

$$\lambda_{из} := 0.09$$

Толщину тепловой изоляции находим из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции к окружающей среде

$$\delta_{\text{из}} := \frac{\lambda_{\text{из}}}{\alpha_{\text{н}}} \cdot \frac{(t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{(t_{\text{из}} - t_{\text{окр}})}, \quad \delta_{\text{из}} := \frac{0.09}{11.84} \cdot \frac{(70 - 50)}{(50 - 20)} = 0.887 \text{ м}$$

Следовательно, толщину изоляции примем равной 12 мм

2.10 Гидравлический расчёт

Расчёт производится по методике, указанной в пособии [4,1.5.3.]

Гидравлическое сопротивление трубного пространства.

$$Re_{\text{в}} := 1500 \quad d_{\text{вн}} := 0.021 \quad N_{\text{ход}} := \frac{N}{6} \quad p_{\text{в}} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \mu_{\text{см}} := 0.0001$$

Скорость движения вода в трубах:

$$\omega_1 := \frac{Re_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{см}}}{d_{\text{вн}} \cdot p_{\text{в}}}, \quad \omega_1 := \frac{15000 \cdot 0.0001}{0.021 \cdot 1000} = 0.07 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент сопротивления трения:

При турбулентном режиме движения потока:

$$\lambda := \frac{0.316}{Re_{\text{в}}^{0.25}}, \quad \lambda := \frac{0.316}{15000^{0.25}} = 0.028$$

Скоростное давление в трубах:

$$\Delta p_{\text{скт}} := \frac{\omega_1^2 \cdot p_{\text{в}}}{2}, \quad \Delta p_{\text{скт}} := \frac{0.07^2 \cdot 1000}{2} = 2.45 \text{ МПа}$$

Потеря давления на преодоление трения в трубах:

n:=6 число ходов по трубному пространству

L:=6 длина труб

Коэффициент местных сопротивлений определяют опытным путем.

входная и выходная камера (удар и поворот)	1,5
поворот на 180° между ходами и секциями	2,5
вход в трубы или выход из них	1
вход в межтрубное пространство под углом 90°	1,5
поворот на 90° в межтрубном пространстве	1

Ниже приведены значения:

$$\Sigma \xi := 1.5 + 1 + 1 + 2.5 + 1 + 1 + 2.5 + 1 + 1 + 2.5 + 1 + 1 + 1.5 = 18.5$$

Общее гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta p_{\text{тр.пр}} := \lambda \left(\frac{n \cdot L}{d_{\text{вн}}} + \Sigma \xi \right) \cdot \Delta p_{\text{скт}},$$

$$\Delta p_{\text{тр.пр}} := 0.027 \left(\frac{6 \cdot 6}{0.021} + 18.5 \right) \cdot 453.263 = 2.087 \cdot 10^4 \text{ МПа}$$

3. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА

3.1 Подбор и расчет штуцеров

Для осуществления процесса нагревания воды теплотой, отданной при конденсации насыщенного пара, необходимо 4 штуцера: 2 для входа и выхода холодного теплоносителя (воды) и 2 для входа и выхода горячего теплоносителя (бензин).

Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров для подвода и отвода теплоносителей рассчитывается на основе уравнения массового расхода:

$$d_{\text{вн.шт.}} := \sqrt{\frac{4G}{\pi\rho\omega_{\text{шт}}}}, \quad (3.1.1)$$

где $\omega_{\text{шт}}$ – скорость течения теплоносителя в штуцере, м/с.

Теплоноситель	Скорость, м/с
Маловязкие жидкости (вода, бензин, керосин)	1–3
Вязкие жидкости (масла, органические теплоносители, растворы солей)	0,2–1
Запылённые газы при атмосферном давлении	6–12
Не запыленные газы при атмосферном давлении	12–16
Газы под давлением	15–30
Водяной пар: насыщенный	30–50
перегретый	50–75
разреженный	100–200

Рисунок 3.1 – Скорость течения теплоносителей

При расчете $d_{\text{вн}}$ необходимо задаться скоростью течения теплоносителя, которая должна быть не выше предельно-допустимой.

1) Расчет штуцеров для подвода и отвода холодного теплоносителя (воды) в трубное пространство:

Согласно [11], скорость подачи воды находится в пределах $1 < \omega < 3$ м/с.

Примем скорость течения воды в штуцере равной $\omega_{\text{шт}} = 2$ м/с.

Тогда внутренний диаметр штуцера на входе при температуре 20 °С:

$$d_{\text{вод.1.2}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{в}}}{\pi \cdot (\rho_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}})}}, \quad (3.1.2)$$

$$d_{\text{вод.1.2}} := \sqrt{\frac{4 \cdot 198.9}{3,14 \cdot (1000 \cdot 2)}} = 0,356 \text{ м}$$

где G_B - Массовый расход воды кг/с;

Округляем рассчитанный размер до ближайшего большего. Согласно [4, табл. 27.1] таким является $d_{\text{вн.шт.}} = 350$ мм, в табл. 3.1 представлены основные размеры выбранного штуцера.

Таблица 3.1 – Основные конструктивные характеристики штуцера с фланцами стальными плоскими приварными для входа и выхода воды.

D_y	d_B	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
350	380	485	445	415	22	4	22	12	180	193	377	12	32.0

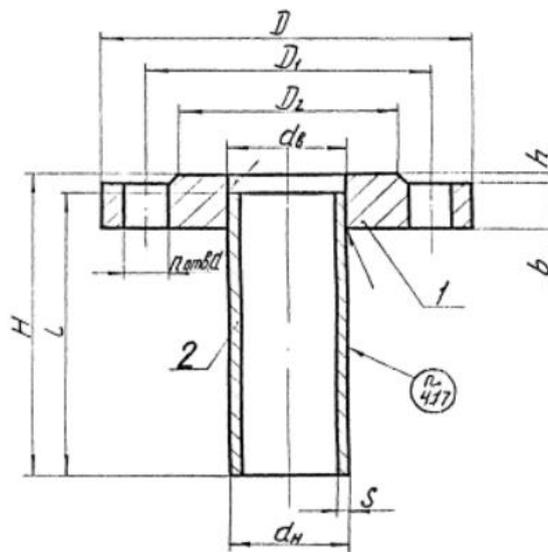


Рисунок 3.2 - Размеры штуцера для входа воды.

2) Расчет штуцера, необходимого для конденсата отводится из теплообменника бензин конденсата.

Пусть скорость движения пара в штуцере для бензин 3 м/с [11].

$$d_{2.3} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_6}{\pi \cdot \rho_6 \cdot \omega_6}} \quad (2.5.1)$$

$$d_{2.3} := \sqrt{\frac{4 \cdot 22.22}{3,14 \cdot (612 \cdot 3)}} = 0.124 \text{ м}$$

Согласно [4, табл. 27.1] округляем до ближайшего стандартного размера штуцера, таким является штуцер с приварными фланцами с внутренним диаметром 100 мм, в табл. 3.2 представлены его основные размеры.

Таблица 3.2 – Основные конструктивные характеристики штуцера с фланцами стальными плоскими приварными для бензина.

D_y	d_B	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
100	110	205	170	148	15	3	18	4	150	155	108	6	5.2

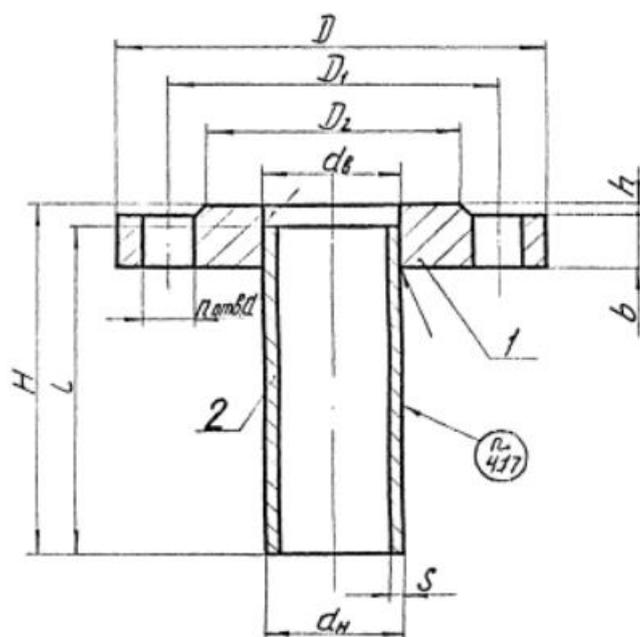


Рисунок 3.3. Размеры штуцера для ввода бензин.

Определим размеры штуцера, необходимого для вывода сконденсированного пара.

Конденсат представляет собой жидкость, поэтому скорость движения конденсата в штуцере можно принять равной 2 м/с [11].

Округляем до ближайшего стандартного размера штуцера, таким является штуцер с приварными фланцами с внутренним диаметром 25 мм, в табл. 3.3 представлены его основные размеры.

Таблица 3.3 – Основные конструктивные характеристики штуцера с фланцами стальными плоскими приварными для выхода конденсата.

D_y	d_B	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
25	33	100	75	60	12	2	11	4	150	155	32	3.5	1.1

3.2 Выбор конструкционных материалов теплообменника

Исходя из того, что в теплообменнике происходит теплообмен между органической жидкости и водой, материал следует выбрать таким, чтобы он был устойчив к данной среде.

Исходя из этого, необходимо проанализировать какой материал необходимо использовать для деталей аппарата. Выбор материалов так же зависит от типа аппарата и его принадлежности, так теплообменник с плавающей головкой может изготавливаться следующих исполнений: М1, М3, М4, М12, М13, Б1, Б2. Все материалы данных исполнений прописаны в [3, табл. 10].

Выбираем подходящие материалы для изготовления теплообменника данного типа. При конструировании химической аппаратуры необходимо учитывать все возможные виды коррозионного разрушения, в зависимости от агрессивной среды и рабочих условий. Важно оценить общую поверхность коррозии, характеризующуюся скоростью коррозии Π мм/год. Приемлемые сроки эксплуатации теплообменника с атмосферным давлением равны 20 годам.

Так как теплообменник стоит на открытой площадке круглый год, где в зимнее время температура может достигать -40°C , то необходимо взять морозостойкую сталь марки 16ГС. Конструкционная сталь 16ГС обладает высокой способностью сохранять свои характеристики при работе под давлением в широком температурном интервале, долговечна, устойчива к нагрузкам с переменным вектором силы, а также подвергается термической обработке, которая оказывает значительное влияние на показатели механических показателей.

Таблица 3.4 - Материалы, применяемые для изготовления сборочных единиц основных узлов и деталей аппарата типа ТП [3]

Тип аппарата	Исполнение аппарата по материалу	Материал				
		кожуха и крышки	распределительной камеры и крышки	теплообменных труб	трубной решетки	перегородки
1	2	3	4	5	6	7
ТП	М1	Ст3сп по ГОСТ 380, ГОСТ 14637 Сталь 16ГС по ГОСТ 5520. Трубы - сталь марки 20 по ГОСТ 1050, ГОСТ 8731 гр. В или сталь Ст3сп по ГОСТ 380, ГОСТ 1 0706 гр. В	Ст3сп, Ст3пс ¹⁾ по ГОСТ 380, ГОСТ 14637. Сталь 16ГС ²⁾ по ГОСТ 5520. Трубы - сталь марки 20 по ГОСТ 1050, ГОСТ 8731 гр. В или сталь Ст3сп по ГОСТ 380, ГОСТ 10706 гр. В	Сталь 10 и 20 по ГОСТ 1050, ГОСТ 550 гр.А, ГОСТ 8733 ³⁾ гр.В и трубы электросварные по технической документации, утвержденной в установленном порядке ⁴⁾	Сталь 16ГС по ГОСТ 8479 гр.ІV-КП.245	Ст3сп по ГОСТ 380, ГОСТ 14637
ТП	М3	См. исполнение М1		Латунь марки ЛАМш 77-2-0,05 ГОСТ 15527, ГОСТ 21646	Сталь 16ГС ГОСТ 8479, гр.ІV-КП.245 с наплавкой латунью марки ЛО62-1 или Л63 по ГОСТ 15527, ГОСТ 931	См. исполнение М1
ТП	М4	См. исполнение М1	Двухслойная сталь 16ГС + 08Х13 или Ст3сп + 08Х13 по ГОСТ 10885	Сталь 15Х5М или Х8 по ГОСТ 550 гр. А	Сталь 15Х5М ГОСТ 8479 гр.ІV-КП.395	См. исполнение М1

Вычислим прибавку к расчетным толщинам стенки. Прибавка складывается из двух величин. Прибавка на коррозию и эрозию.

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

$$c_1 := \Pi \cdot \tau_a \quad c_1 := 0.1 \cdot 20 = 2 \quad \text{мм} \quad (3.2.1)$$

где c_1 – прибавка на коррозию, мм;

Π – проницаемость материала, мм/год;

τ_a – срок службы аппарат, лет.

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

$$\tau_a := 20 \text{ лет}$$

Компенсацию на утонение стенки принимается в зависимости от технологических операций:

$$c_2 := 0.2 \text{ мм}$$

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

$$c_3 := 0.8 \text{ мм}$$

Общая прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c := c_1 + c_3 + c_2$$

$$c := 2 + 0.2 + 0.8 = 3 \text{ мм}$$

4. Механический расчет теплообменника

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы проектируемого оборудования. Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника представлена на рис. 4.1.

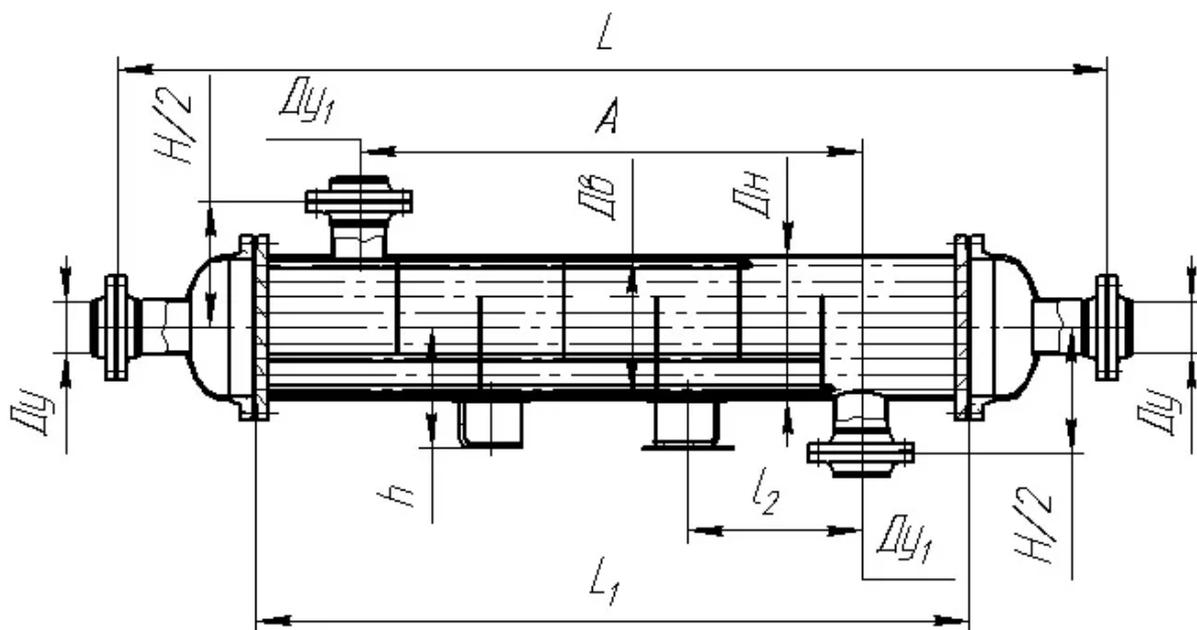


Рисунок 4.1 – Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

Показателями или критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жаропрочность и жаростойкость, жесткость, устойчивость, виброустойчивость, износостойкость, герметичность и т.п. Все эти критерии должны обеспечить сохранение во времени механических свойств деталей в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Таблица 4.1– Характеристики теплообменника

Название величины	Обозначение и значение
Внешний диаметр аппарата, мм	$D:=800$
Рабочие давление в трубном и межтрубном пространстве, МПа	$P_{.мжт} := 0,1 P_{тр.} := 0,25$
Число труб, шт.	$n:=465$
Длина труб и средняя длина, мм	$L_{тр} := 6000; l := 3000$
Наружный диаметр труб, мм	$d_{тр} := 20$
Допускаемое напряжение при температуре испытания, МПа	$[\sigma]_{20} := 196$
Обессоленная вода	
Плотность, кг/м ³	$\rho_в := 1000$
Вязкость, Па·с	$\mu_в := 1.124 \cdot 10^{-3}$
Бензин	
Плотность, кг/м ³	$\rho_б: 612$
Вязкость, Па·с	$\mu_б := 0.206 \cdot 10^{-3}$

4.1 Расчет толщины стенки кожуха

Целью расчета толщины цилиндрической обечайки кожуха является обеспечение механической прочности теплообменника в рабочих условиях и в условиях испытания. Расчетная схема кожуха представлена на рис. 4.2.

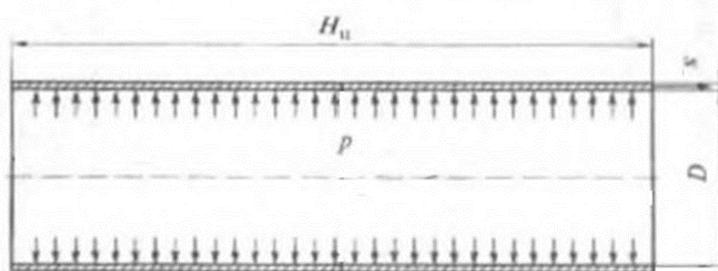


Рисунок 4.2 – Расчетная схема кожуха

Критерием механической надежности, является прочность. Определим расчетные параметры. Так как аппарат расположен горизонтально и наружный диаметр 800 мм, то гидростатическим столбом жидкости можно пренебречь.

$$P_{р.мжт.} := P_{мжт} = 0.1 \text{ МПа}$$

где $P_{р.мжт.}$ – расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа;

$P_{\text{МЖТ}}$ - рабочее давление в межтрубном пространстве, МПа;

Для определения пробного давления необходимо знать допускаемые напряжения для материала обечайки. Для кожуха сталь 16ГС, допускаемое напряжение определяется по при максимальной рабочей температуре равной 70°C.

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при $t=70^\circ\text{C}$, согласно [7,табл.А.1]:

$$[\sigma]_p := 184.125 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при $t=20^\circ\text{C}$, согласно [7,табл.А.1]:

$$[\sigma]_{20} := 196 \text{ МПа}$$

Плотность воды при $t_{\text{ср}}=16^\circ\text{C}$, согласно данным справочника [9]:

$$\rho_{\text{в}} := 1000 \text{ кг/м}^3$$

Плотность бензин при $t_{\text{ср}}=70^\circ\text{C}$, согласно данным справочника [9]:

$$\rho_{\text{б}} := 612 \text{ кг/м}^3$$

Расчётное значение предела текучести для стали марки 16ГС при $t=70$, согласно [7,табл.Б.2]:

$$R_{02} := 278 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании согласно [7,табл.1]:

$$n_T := 1.$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления в межтрубном пространстве, согласно пособию [8]:

$$P_{\text{р.МЖТ}} := P_{\text{раб.МЖТ}} + \frac{\rho_{\text{б}} \cdot g \cdot D}{10^9}, \quad P_{\text{р.МЖТ}} := 0.1 + \frac{612 \cdot 9.81 \cdot 800}{10^9} \approx 0.1 \text{ МПа} \quad (4.1.1)$$

где $P_{\text{р.МЖТ}}$ – расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа;

Расчетное значение внутреннего избыточного давления в трубном пространстве, согласно пособию [8]:

$$P_{p,тр} := P_{раб.тр} + \frac{\rho_B \cdot g \cdot D}{10^9}, \quad P_{p,тр} := 0.25 + \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 800}{10^9} \approx 0.25 \text{ МПа} \quad (4.1.2)$$

где $P_{p,тр}$ – расчетное давление в трубном пространстве, МПа;

Пробные давления при гидравлическом испытании внутри аппарата рассчитываем согласно пособию [8].

$$[\sigma]_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}, \quad [\sigma]_{д20} := 196 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение при расчёте по предельным нагрузкам сосудов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам:

$$P_{и.мжт} := 1.25 \cdot P_{раб.мжт} \cdot \frac{[\sigma]_{д20}}{[\sigma]_p}, \quad (4.1.3)$$

$$P_{и.мжт} := 1.25 \cdot 0.1 \cdot \frac{196}{184} = 0.133 \text{ МПа}$$

где $P_{и.мжт}$ – пробное давление гидравлического испытания в кожухе, МПа

где $[\sigma]_{д20}$ – допускаемое напряжение при температуре испытания, МПа.

Пробное давление в межтрубном пространстве при гидравлических испытаниях будет равно:

$$P_{и.тр} := 1.25 \cdot P_{раб.тр} \cdot \frac{[\sigma]_{д20}}{[\sigma]_p}, \quad (4.1.4)$$

$$P_{и.тр} := 1.25 \cdot 0.25 \cdot \frac{196}{184} = 0.332 \text{ МПа}$$

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

Пробное давление в трубном пространстве при гидравлических испытаниях будет равно:

Гидравлически испытания аппаратов проводят в соответствии с требованиями [10, табл.15] Допускаемое напряжение для стали 16ГС при гидравлических испытаниях, согласно пособию [8]:

Расчетное значение предела текучести при 20°C для стали 16ГС:

$$R_{02} := 282.75 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{\text{и}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02}}{1.1}, 0.5\right), [\sigma]_{\text{и}} := 257 \text{ МПа} \quad (4.1.5)$$

$[\sigma]_{\text{и}}$ - допускаемое напряжение при температуре испытания, МПа;

Вид сварного шва и способ сварки выбираем согласно с [11, табл. Д.1], выбираем вид шва: стыковой с двухсторонним проваром, выполняемый автоматической сваркой под слоем флюса. Длина контролируемых швов от общей длины 100%.

Коэффициент прочности сварных швов принимаем равным:

$$\varphi_p = 1$$

где φ_p – коэффициент прочности сварного шва.

Расчетная толщина стенки кожуха от давления вычисляют по формуле:

$$S_p := \max\left(\frac{P_{\text{р.мжт.}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{\text{р.}} \cdot \varphi_p - P_{\text{р.мжт.}}}, \frac{P_{\text{и.мжт.}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{\text{и.}} \cdot \varphi_p - P_{\text{и.мжт.}}}\right) \quad (4.1.5)$$

$$S_p := \max\left(\frac{0.1 \cdot 800}{2 \cdot 184 \cdot 1 - 0.1}, \frac{0.133 \cdot 800}{2 \cdot 257 \cdot 1 - 0.133}\right) = 0.217 \text{ мм}$$

где S_p – расчетная толщина стенки кожуха, мм.

Исполнительная толщина стенки с учетом добавок:

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

где $S_{\text{ц}}$ – исполнительная толщина цилиндрической обечайки, мм.

Минимальная толщина цилиндрической обечайки при наружном диаметре кожуха 800 мм равна 6 мм. Примем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки, согласно рекомендациям завода, для которого проектируется данный теплообменник, равной:

$$S = 6 \text{ мм}$$

Проверка на условие прочности. Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле 3 [12]:

$$[P] := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_p}{D + (S - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (6 - 3) \cdot 1 \cdot 184}{800 + (6 - 3)} = 1.37$$

$$[P] := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_и}{D + (S - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (8 - 3) \cdot 1 \cdot 257}{800 + (8 - 3)} = 1.92$$

где $[P]$ – допускаемое внутреннее избыточное давление в рабочих условиях и при гидравлическом испытании, МПа.

$$\frac{S - c}{D} \leq 0.1 \quad \frac{6 - 3}{800} \leq 0.1 \quad 0.003 \leq 0.1$$

4.2 Расчет толщины днища

Цель расчета толщины крышки такая же, как и у расчета кожуха, определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и испытаниях. Расчетная схема эллиптической крышки представлена на рис 4.3.

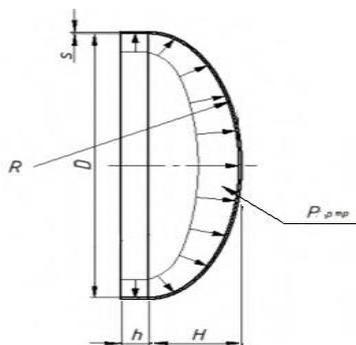


Рисунок 4.3– Расчетная схема эллиптической крышки

Критерием надежности, является прочность. Выражается через допускаемое давление:

$$|P| \geq P \quad \text{МПа}$$

Расчетное давление в трубном пространстве принимаем равным рабочему давлению:

$$P_{р.тр} := P_{тр} = 0.25 \text{ МПа}$$

где $P_{р.тр}$ – расчетное давление трубного пространства, МПа;

$P_{тр}$ – внутренне избыточное давление, МПа;

Для отбортованного днища, которое изготовлено из одной заготовки, коэффициент φ равен:

$$\varphi = 1,$$

где φ – коэффициент прочности сварного шва для крышки изготовлены из одной заготовки (штамповкой).

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

$$H := 0.25 \cdot D_{вн}, \quad H := 0.25 \cdot 800 = 200 \text{ мм}$$

Радиус кривизны вершине днища по внутренней поверхности [13]:

$$R := \frac{D^2}{4 \cdot H} \quad R := 800$$

где R – радиус кривизны, мм.

Рассчитаем толщину стенки крышки по формуле [13]:

$$S_1 := \max \left(\frac{P_{р.тр} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{р.} \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{р.тр.}}, \frac{P_{и.тр} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{и.} \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{и.тр.}} \right) \quad (4.2.1)$$

$$S_1 := \max \left(\frac{0.25 \cdot 800}{2 \cdot 184 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0.25}, \frac{0.332 \cdot 800}{2 \cdot 257 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0.332} \right) = 0.544 \text{ мм}$$

где S_1 – расчетная толщина эллиптической крышки, мм

Принимаем толщину стенки днища $s = 6$ мм (толщина стенки обечайки)

$$S = 6 \text{ мм}$$

Согласно [14, табл. 1] основные размеры эллиптической крышки

представлены в табл. 4.2

Таблица 4.2 – базовые размеры и габариты выбранного днища

D_B	H_B	h , мм		s , мм	
		25		6	
мм		F_B^* , м ²	V^* , м ³	D , мм	m , кг
800	200	0,76	79,3	800	36.3

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле [13]:

$$[P] := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_p}{R + 0.5 \cdot (S - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (6 - 3) \cdot 1 \cdot 184}{800 + 0.5 \cdot (6 - 3)} = 1.37 \text{ МПа}$$

$$[P] := \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_{и}}{R + 0.5 \cdot (S - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (6 - 3) \cdot 1 \cdot 257}{800 + 0.5 \cdot (6 - 3)} = 1.92 \text{ МПа}$$

$$0.25 \leq 1.37 \text{ МПа} \quad 0.332 \leq 1.92 \text{ МПа}$$

где $[p]$ – допускаемое внутреннее избыточное давление в рабочих условиях и в условиях испытания, МПа.

Проверка условия применимости расчетных формул:

$$0.002 \leq \frac{S_1 \cdot c}{D} \leq 0.100 \quad 0.002 \leq 0.0021 \leq 0.100$$

$$0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \quad 0.2 \leq 0.25 \leq 0.5$$

4.3 Расчёт толщины стенки распределительной (входной) камеры

Расчёт толщины стенки распределительной камеры ведётся аналогично расчёту толщины стенки цилиндрической обечайки. Расчёт ведётся согласно [15,5-5.3.1], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8]

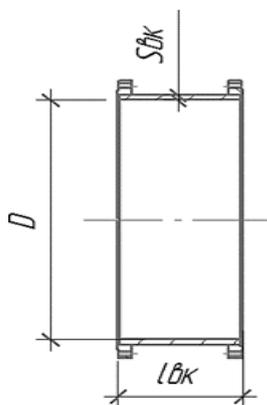


Рисунок 4.4 – Расчетная схема обечайки распределительной камеры

Допускаемые напряжение такие же, как и у крышки, расчетное давление будет только создаваться трубным давлением:

$$S_{и.р.к} := 1.25 \cdot P_{тр} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_p}, S_{и.р.к} := 1.25 \cdot 0.25 \cdot \frac{196}{184} = 0.332 \quad (4.3.1)$$

Расчётная толщина стенки цилиндрической обечайки (входной камеры):

$$S_{р.к} := \max \left[\frac{P_{р.тр} \cdot D}{(2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_p - P_{р.тр})}, \frac{P_{и.тр} \cdot D}{(2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_{и} - P_{и.тр})} \right], \quad (4.3.2)$$

$$S_{р.к} := \max \left[\frac{0.25 \cdot 800}{(2 \cdot 1 \cdot 184 - 0.25)}, \frac{0.332 \cdot 800}{(2 \cdot 1 \cdot 257 - 0.332)} \right] = 0.543 \text{ мм}$$

где $S_{р.к}$ – расчетная толщина камеры, мм.

Исполнительная толщина стенки обечайки будет равна:

$$S_{рас.к} := \text{ceil}(S_{р.к} + c) = 3 \text{ мм}$$

где $S_{рас.к}$ – исполнительная толщина стенки камеры, мм;

Но согласно рекомендациям [9, табл.1], минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре кожуха 800 мм равна 6 мм. Поэтому принимаем исполнительную толщину стенки входной камеры равной:

$$S_{в.к} := 6 \text{ мм}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие вычисляют по формуле 13 [12]:

$$F := \pi \cdot (D \cdot s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_p \quad (4.3.3)$$

$$F := \pi \cdot (800 \cdot 6 - 3) \cdot (6 - 3) \cdot 184 = 2.65 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое давление:

$$[P] := \frac{2 \cdot (S_{в.к} - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_p}{D + (S_{в.к} - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (6 - 3) \cdot 1 \cdot 184}{800 + (6 - 3)} = 1.37 \text{ МПа}$$

$$[P] := \frac{2 \cdot (S_{в.к} - c) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]_{и}}{D + (S_{в.к} - c)} \quad [P] := \frac{2 \cdot (6 - 3) \cdot 1 \cdot 257}{800 + (6 - 3)} = 1.92 \text{ МПа}$$

$$0.25 \leq 1.37 \text{ МПа} \quad 0.332 \leq 1.92 \text{ МПа}$$

где $[p]$ – допускаемое внутреннее избыточное давление в рабочих условиях и в условиях испытания, МПа.

Проверка условия применимости расчетных формул:

$$\frac{6 - 3}{800} \leq 0.1 \quad 0.003 \leq 0.1$$

При толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность камеры, как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

4.4 Расчет температурных деформаций

Из проверки условия прочности следует, что температурные напряжения в трубах и корпусе не превышают допускаемые. Это говорит о том, что можно использовать теплообменник с неподвижными трубными решётками (Рис 4.5).

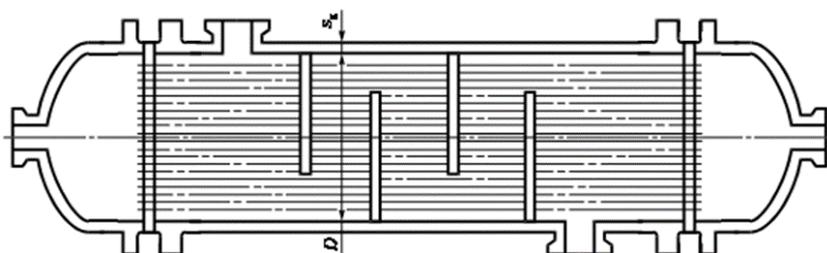


Рисунок 4.5 Аппарат с неподвижными трубными решётками.

В ходе конструктивного расчёта теплообменника было определено, что температурные напряжения в корпусе и трубах не превышают значения допускаемых напряжений для материалов (при рабочих условиях) из которых они изготовлены. Поэтому был рассчитан и подобран аппарат с неподвижными трубными решётками (рис.4.5).

Поверочный расчёт производится согласно методике [35].

Определение расчётных параметров:

Таблица 4.3 – Параметры кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой

трубы	корпус
16ГС	16ГС
$t_T := 16$	$t_K := 70$
$\alpha_T := 11.6 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$
$E_T := 2.004 \cdot 10^5$	$E_{TK} := 2.062 \cdot 10^5$
$\sigma_{tT} := 147$	$\sigma_{tK} := 184$

Наружний диаметр аппарата:

$$D_H := \frac{D + 2S_{ЦО}}{1000}, \quad D_H := \frac{800 + 2 \cdot 6}{1000} = 0.812 \text{ м}$$

$$D := \frac{D}{1000}, \quad D := \frac{800}{1000} = 0.8 \text{ м}$$

Определение поперечного сечения труб и корпуса:

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D^2), \quad F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (0.812^2 - 0.8^2) = 0.015 \text{ м}^2$$

$$F_T := N \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар}^2 - d_{вн}^2), \quad F_T := N \frac{\pi}{4} \cdot (0.025^2 - 0.021^2) = 0.055 \text{ м}^2$$

где F_T – площадь поперечного сечения труб, м²;

F_K – площадь поперечного корпуса труб, м².

Определение температурных усилий:

$$Q_t := \frac{(\alpha_T t_T - \alpha_K t_K) \cdot E_T \cdot E_T \cdot E_K \cdot E_K}{E_T \cdot E_T + E_K \cdot E_K} = 1.293 \text{ МН} \quad (4.4.1)$$

где Q_T – осевое сжимающие усилие на кожух, МН.

Определение температурных напряжений:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T}, \quad \sigma_T := \frac{1.293}{0.055} = 23.509 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K}, \quad \sigma_K := \frac{1.293}{0.015} = 86.2 \text{ МПа}$$

где T – температурное напряжение трубы, МПа;

K – температурное напряжение корпуса, МПа.

Проверим применимость теплообменника:

$$23.509 \leq 147 \quad 86.2 \leq 184$$

$U_{sl} :=$ "Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит" if $\sigma_T \leq \sigma_{Tt}$
 "Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит" if $\sigma_k \leq \sigma_{tk}$
 "Условие прочности не выполняется, теплообменник ТН не подходит" otherwise

$U_{sl} =$ "Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"

4.5 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ

Подбор фланцев стальных сварных аппаратов для обечаек и днищ с внутренними базовыми размерами.

Таблица 4.4. Конструкционные размеры фланцев.

0,3																			
0,6		930	890	—	—	—	—	26	32	—									
1,0	800	945	905	848	818	6	—	38	44	—			M20	32			31,6	31,0	
1,6		955	915	852	820	8	90	52	58	35				36			44,5	43,8	
2,5		965	915	860	830	—	98	60	65	42				40			75,0	82,9	
4,0		1005	945	872	838	—	125	—	—	74				M30	36		—	—	
6,4		1055	985	904	852	—	165	175	—	86	98			M36	32		—	—	

Исходные данные для расчёта на прочность и герметичность фланцевых соединений:

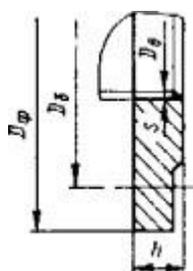


Рисунок 4.6. Фланец с гладкой уплотнительной поверхностью.

Таблица 4.5 – Исходные данные для расчета фланцевого соединения выступ-впадина

Название величины	Введенное на схеме обозначение и его значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D := 800$
Наружный диаметр фланца, мм	$D_H := 930 \text{ мм}$
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек), мм	$D_б := 890 \text{ мм}$
Расчётный диаметр прокладки, мм	$D_{СП} := 857 \text{ мм}$
Ширина прокладки, мм	$B_{П} := 20 \text{ мм}$

Ширина тарелки фланца, мм	$h:=0.5(D_H - D)=65$
Толщина прокладки, мм	$h_{II}:= 2$
Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке (трубе), толщина обечайки плоского фланца, мм	$S_0:= 6 \text{ мм}$
Диаметр болтов (шпилек), мм	$D:= 20\text{мм}$
Число болтов(шпилек), шт	$n:=32$
Расчётное давление, МПа	$P:= 0.6$
Внешний изгибающий момент, МН·м	$M:= 0$
Осевая сила, МН	$F:=0 \cdot 10^6$
Суммарная прибавка к расчётной толщине, мм	$c_o:= 1.0$ ***
Рабочая температура, °С	$t:= 152$

Материал обечаек и фланцев - сталь

16ГСМатериал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - Паронит

Стальные плоские приварные фланцы применяются для сосудов и аппаратов диаметром от 400 до 4000 мм с условным давлением от 0,3 до 1,6 МПа при температуре рабочей среды от минус 70°С до плюс 300°С, и предназначены для работы в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности.

Выбор крепежных элементов:

При давлении до 25 кгс/см² (2.5 МПа) можно использовать болты. Они дешевле шпилек.

Определение расчетных параметров:

Расчетная температура неизолированных плоских фланцев: $t_{\phi} := 0.96 \cdot t$ [16, табл.В.1]

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t, \quad t_{\phi} := 0.96 \cdot 152 = 149.92 \text{ °С}$$

где t_{ϕ} – температура фланца крышки и распределительной камеры и крышки, С° [16, табл.В.1]

Расчетная температура болтов:

$$t_{\phi} := 0.85 \cdot t, \quad t_{\phi} := 0.85 \cdot 152 = 129.2 \text{ °С}$$

где t_6 – температура шпилек, $^{\circ}\text{C}$.

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х из ГОСТ Р 52857.1-2007 [7] В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix}, \quad \sigma := \begin{pmatrix} 183.3 \\ 183.3 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д,6} := \text{floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_6), 0.5) = 171 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре, согласно [16, табл.Ж.1].

$$E_6 := 2.068 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

где E_6 – модуль упругости бензин, МПа.

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20^{\circ}\text{C}$, из [16,табл.Г.1]:

$$\sigma_{206} := 183.3 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20°C , согласно [16,табл.Ж.1]:

$$E_{206} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

где E_{206} – модуль упругости бензин при температуре испытания, МПа.

Коэффициент линейного расширения для стали 35Х при $t=20-160^{\circ}\text{C}$

согласно [16,табл.Ж.2]:

$$\alpha_6 := 12.2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

где α_6 – коэффициент линейного расширения шпилек, $1/\text{К}$.

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 16ГС из ГОСТ Р 52857.1-2007 [7]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix}, \quad \sigma := \begin{pmatrix} 163.3 \\ 144 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_6), 0.5) = 149.5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.б} := \eta \cdot \sigma, \quad \sigma_{д.б} := 1 \cdot 149.5 = 149.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при рабочей температуре:

$$E := 2.018 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

где E – модуль упругости решетки при рабочем условии и испытании, МПа.

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t = 20^\circ\text{C}$ из [7,А.1]

$$\sigma_{20} := 163.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20} := \eta \cdot \sigma_{20}, \quad \sigma_{20} := 1 \cdot 163.3 = 163.3 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для сталь 16ГС при температуре испытания 20°C из [7,В.1]

$$E_{20} := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при $t = 20 - 160^\circ\text{C}$ из [7,Г.1]

$$\alpha_\phi := 12.2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(\sqrt[3.8]{b_{\Pi}}, 1) & \end{cases}$$

$$b_0 := 17 \text{ мм}$$

где b_0 – эффективная ширина прокладки, мм.

Характеристики прокладки:

Согласно [16,табл.И.1]выбираем значения для паронита:

$$m := 2.5 \quad q_{обж} := 20 \text{ МПа} \quad q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{обж} := 0.9 \quad E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сн} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|, \quad (4.5.1)$$

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot 857 \cdot 17 \cdot 2.5 \cdot |0.6| = 2.575 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

где $P_{\text{обж}}$ – усилие смятия, Н.

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_{\text{п}} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{п}} := 5.149 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

где $R_{\text{п}}$ – усилие на прокладке в рабочих условиях, Н.

Усилие в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях:

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по [16, табл.Д.1]:

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

где $f_{\text{б}}$ – площадь поперечного сечения шпильки, мм^2 ;

$d_{\text{б}}$ – диаметр шпильки по резьбе, мм.

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}}, \quad A_{\text{б}} := 32 \cdot 225 = 7.2 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 \quad (4.5.2)$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P, \quad Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (857)^2 \cdot 0.6 = 2.596 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (4.5.3)$$

где $Q_{\text{д}}$ – равнодействующая нагрузка от давления, Н.

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{ФМ}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right), \quad Q_{\text{ФМ}} := 0 \quad (4.5.4)$$

где $Q_{\text{ФМ}}$ – приведенная нагрузка, Н.

Податливость прокладки:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}}, \quad y_{\text{п}} := \frac{2 \cdot 0.9}{200 \cdot \pi \cdot 857 \cdot 20} = 1.671 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (4.5.5)$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек:

$$L_{\text{б0}} := 98 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := L_{60} + 0.28 \cdot d, \quad L_6 := 98 + 0.28 \cdot 20 = 103.6 \text{ мм}$$

где L_6 - эффективная длина шпильки, мм;

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6}, \quad y_6 := \frac{103.6}{215 \cdot 7.2 \cdot 10^3} = 6.693 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}} \quad (4.5.5)$$

где y_6 – податливость шпилек, мм/Н.

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0}, \quad l_0 := \sqrt{800 \cdot 6} = 69.282 \text{ мм} \quad (4.5.6)$$

где l_0 - длина втулки фланца, мм.

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D}, \quad K := \frac{930}{800} = 1.163 \quad (4.5.7)$$

где K – отношение наружного диаметра фланца к внутреннему.

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

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

$$\beta_T := \frac{1.163^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(1.163)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot 1.163^2) \cdot (1.163 - 1)} = 1.852$$

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

$$\beta_U := \frac{1.163^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(1.163)) - 1}{1.36(1.163^2 - 1) \cdot (1.163 - 1)} = 14.254$$

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

$$\beta_Y := \frac{1}{(1.163 - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{1.163^2 \cdot \log(1.163)}{(1.163^2 - 1)} \right] = 13.098$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}, \quad \beta_Z := \frac{1.163^2 + 1}{1.163^2 - 1} = 6.691$$

где T , U , Y , Z - расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца.

F , V - расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров втулки фланца;

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f = 1$$

где f - коэффициент увеличения изгибных напряжений приваренного встык фланца;

- коэффициент

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}, \quad \lambda := \frac{0.91 \cdot 65 + 69.282}{1.852 \cdot 69.282} + \frac{0.55 \cdot 65^3}{14.254 \cdot 69.282 \cdot (6)^2} = 5.25 \quad (4.5.6)$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}, \quad y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot 0.55}{2.15 \cdot 10^5 \cdot 5.25 \cdot 69.282 \cdot (6)^2} = 1.82 \cdot 10^{-10} \quad (4.5.7)$$

где y_{ϕ} - угловая податливость фланцев при затяжке, мм/Н.

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}, \quad y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{890}{2.15 \cdot 10^5 \cdot 65^3 \cdot 930} = 7.85 \cdot 10^{-12} \quad (4.5.8)$$

где $y_{\phi H}$ - угловая податливость фланцев нагруженных внешним изгибающим моментом, мм/Н.

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами),

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right], \quad (4.5.8)$$

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot 890}{32 \cdot \left(2 \cdot 20 + \frac{6 \cdot 65}{2.5 + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

где C_F – коэффициент изгиба тарелки фланца, между шпильками.
Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{пр} := D \qquad D_{пр} := 800$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) для приварных встык и плоских фланцев:

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}), \quad b := 0.5(890 - 857) = 16.5$$

где b – плечо усилий, действующих в шпильках, мм.

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев:

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0), \quad e := 0.5 \cdot (857 - 800 - 6) = 25.5$$

где e – плечо усилий, действующее от давления, мм.

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$S_3 := S_0$ Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E}}, \quad (4.5.9)$$

$$\gamma := \frac{1}{1.671 \cdot 10^{-7} + 6.693 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2.15 \cdot 10^5}{2.068 \cdot 10^5} + 2 \cdot 16.5^2 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{2.1 \cdot 10^5}{2.018 \cdot 10^5}} = 2.942 \cdot 10^6$$

где γ – жесткость фланцевого соединения.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{п} - 2 \cdot e \cdot y_{ф} \cdot b}{y_{п} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ф}}, \quad (4.5.10)$$

$$\alpha := 1 - \frac{1.671 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 25.5 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10} \cdot 16.5^2}{1.671 \cdot 10^{-7} + 6.693 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 16.5^2 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10}} = 0.958$$

где α – коэффициент жесткости фланцевого соединения.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{фн} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{сп}}\right)}{y_6 + y_{пн} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{сп}}\right)^2 + 2 \cdot y_{фн} \cdot b^2}, \quad (4.5.11)$$

$$\alpha_M := \frac{6.693 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10} \cdot 16.5 \cdot \left(16.5 + 25.5 - \frac{25.5^2}{857}\right)}{6.693 \cdot 10^{-8} + 1.671 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{890}{857}\right)^2 + 2 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10} \cdot 16.5^2} = 0.31$$

где α_M – коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом.

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях сприварными встык и плоскими фланцами:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_\phi \cdot h \cdot (t_\phi - 20) - 2\alpha_\sigma \cdot h \cdot (t_\sigma - 20)], \quad (4.5.12)$$

$$Q_t := 7.803 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

где Q_t – нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций.

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

$$P_{\phi 1} := \max \left[\left[\frac{\alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}}{\alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}} - Q_t \right] \right] \quad (4.5.13)$$

$$\begin{aligned} P_{\phi 1} &:= \max \left[\left[\frac{0.958 \cdot (2.596 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^6) + 5.149 \cdot 10^4 + \frac{4 \cdot 0.31 \cdot |0|}{857}}{0.958 \cdot (2.596 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^6) + 5.149 \cdot 10^4 + \frac{4 \cdot 0.31 \cdot |0|}{857}} - 7.803 \cdot 10^4 \right] \right] \\ &= 3.002 \cdot 10^5 \text{ Н} \end{aligned}$$

где $P_{\phi 1}$ – расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, Н.

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

$$P_{\phi 2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_\sigma \cdot \sigma_{206})$$

$$P_{\text{обж}} = 2.575 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\phi 2} := 5.279 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

где P_{62} – расчетная нагрузка на шпильки для обжатия прокладки и минимального нажатия шпилек, Н.

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{6M} := \max(P_{61}, P_{62}), \quad P_{6M} := (3.002 \cdot 10^5, 5.279 \cdot 10^5) = 5.279 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

где P_{6M} – расчетная нагрузка при затяжке фланцев, Н.

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{6p} := P_{6M} + (1 - 0.958) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{cn}}, \quad (4.5.14)$$

$$P_{6p} := 5.279 \cdot 10^5 + (1 - 0.958) \cdot (2.596 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^6) + 7.803 \cdot 10^4 + \frac{4 \cdot (1 - 0.31) \cdot |0|}{857} = 6.168 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

где P_{6p} – расчетная нагрузка на шпильки в рабочих условиях, Н.

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки:
Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке $\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6}, \quad \sigma_{61} := \frac{5.279 \cdot 10^5}{7.2 \cdot 10^3} = 73.32 \text{ МПа}$

- в рабочих условиях $\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6}, \quad \sigma_{61} := \frac{6.168 \cdot 10^5}{7.2 \cdot 10^3} = 85.6 \text{ МПа}$

где σ_{61} – напряжение в шпильках при затяжке, МПа;

σ_{62} – напряжение в шпильках при рабочих условиях, МПа.

Проверка условий прочности болтов (шпилек) при затяжке и в рабочих условиях

$$Us1_{1.1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{61} := 73.32 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} := 183.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{62} := 85.668 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.б} := 171 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}}, \quad q := \frac{\max(5.279 \cdot 10^5, 6.168 \cdot 10^5)}{\pi \cdot 857 \cdot 20} = 11.455 \quad (4.5.15)$$

где q – нагрузка, действующая на прокладку, МПа.

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

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

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

$$q := 11.455 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность:

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоский фланец при затяжке,

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M := 1 \cdot 5.279 \cdot 10^5 \cdot 16.5 = 8.71 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (4.5.16)$$

где M_M – расчетный изгибающий момент, Н·м.

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \min[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, (Q_d + Q_{FM}) \cdot e], \quad (4.5.17)$$

$$M_p := 1 \cdot \min[6.168 \cdot 10^5 \cdot 16.5 + (2.596 \cdot 10^5 + 0) \cdot 25.5, (2.596 \cdot 10^5 + 0) \cdot 25.5] = 6.619 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_p – расчетный изгибающий момент при рабочих условиях, Н·м.

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}}, \quad (4.5.18)$$

$$\sigma_{0M} := \frac{8.71 \cdot 10^6}{5.25 \cdot (6 - 1.0)^2 \cdot 800} = 82.964 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M, \quad (4.5.19)$$

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot 0.91 \cdot 65 + 69.282}{5.25 \cdot 65^2 \cdot 69.282 \cdot 800} \cdot 8.71 \cdot 10^6 = 1.048 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM}, \quad (4.5.20)$$

$$\sigma_{TM} := \frac{13.098 \cdot 8.71 \cdot 10^6}{65^2 \cdot 800} - 6.691 \cdot 1.048 = 26.74 \text{ МПа}$$

где R_M – радиальное напряжение, МПа;

T_M – окружное напряжение, МПа.

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}}, \quad (4.5.21)$$

$$\sigma_{0p} := \frac{6.619 \cdot 10^6}{5.25 \cdot (6 - 1.0)^2 \cdot 800} = 63.046 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_{д+F} + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_{д+F} - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сн}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right], \quad (4.5.22)$$

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{2.596 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^6 + \frac{4 \cdot |0|}{857}}{\pi \cdot (800 + 6) \cdot (6 - 1.0)}, \frac{2.596 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^6 - \frac{4 \cdot |0|}{857}}{\pi \cdot (800 + 6) \cdot (6 - 1.0)} \right]$$

$$= 20.503 \text{ МПа}$$

где $1_{pИ}$ 0_p – меридиональные изгибные напряжения во втулке, МПа;

0_{mp} – меридиональные мембранные напряжения во втулке, МПа;

σ_{0M} – меридиональное окружное мембранное напряжение во втулке, МПа.

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p, \quad (4.5.23)$$

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot 0.91 \cdot 65 + 69.282}{5.25 \cdot 65^2 \cdot 69.282 \cdot 800} \cdot 6.619 \cdot 10^6 = 0.797 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp}, \quad (4.5.24)$$

$$\sigma_{Tp} := \frac{13.098 \cdot 6.619 \cdot 10^6}{65^2 \cdot 800} - 6.691 \cdot 0.797 = 20.32 \text{ МПа}$$

где σ_{Rp} – радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, МПа;

σ_{Tp} – окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, МПа.

Проверка условий статической прочности фланцев

PR_1:= "Условия статической прочности в при затяжке НЕ выполняются"

PR_2:= "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR_3:= "Условия статической прочности выполняются"

$K_T := 1.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_T = 1$.

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max \left[\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{mp}| \end{array} \right] > K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 := "Условия статической прочности выполняются"

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 109.704 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 212.29 \text{ МПа}$$

$$\max \left[\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{mp}| \end{array} \right] = 83.548 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 194.35 \text{ МПа}$$

где $K_T = 1.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций;

Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad (4.5.24)$$

$$\Theta := 6.619 \cdot 10^6 \cdot 1.82 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{2.1 \cdot 10^5}{2.018 \cdot 10^5} = 1.254 \cdot 10^{-3}$$

где Θ – рассчитанный угол поворота фланца.

Допустимый угол поворота плоского фланца:

$$\Theta_D := 0.01$$

где Θ_D – допускаемый угол поворота.

$$UsI_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3\Theta_D \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_D \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$UsI_P = \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"}$$

Проверка условий статической прочности и проверка угла поворотов фланцев в соответствии с [16] подтвердила, что фланцевое соединение было подобрано верно. Их использование допустимо.

4.6 Расчёт толщины трубной решётки:

Коэффициент прочности решетки:

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

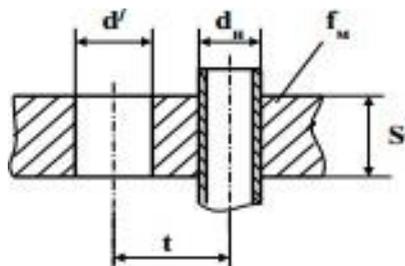


Рисунок 4.7 Схема к расчёту трубных решёток.

$$d_{отв} := 26 \text{ м}$$

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

$$\varphi_p := \frac{t - d_{\text{отв}}}{t}, \quad \varphi_p := \frac{32 - 26}{32} = 0.188 \quad (4.6.1)$$

Где φ_p – коэффициент ослабления.

Толщина стенки из условия надёжности развальцовки труб:

$$d_H := 25 \text{ мм}$$

$$P_{\text{раб.тр}} := 0.02$$

$$P_{\text{раб.мжт}} := 0.45$$

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

$$S_{\text{тр1}} := \text{ceil}\left(\frac{f_M}{t - d_{\text{отв}}}\right) + c, \quad S_{\text{тр1}} := \text{ceil}\left(\frac{123.75}{32 - 26}\right) + c = 22 \text{ мм} \quad (4.6.2)$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решётки:

$$Q_p := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - P_{\text{раб.тр}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 + Q_t, \quad (4.6.3)$$

$$Q_p := 0.45 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 800^2 - 0.02 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 800^2 + 1.235 = 1.452 \text{ МН}$$

где Q_t – температурная деформация соединения фланца с крышкой,
Н.

Расчётное давление:

$$P_p := \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D^2}, \quad P_p := \frac{4 \cdot 1.452}{\pi \cdot 800^2} = 2.888 \text{ МПа} \quad (4.6.4)$$

Толщина трубной решетки, если считать её плоской заземленной плитой:

$$S_{\text{тр2}} := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma \cdot \varphi_p}} + c, \quad (4.6.5)$$

$$S_{\text{тр2}} := \frac{800}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{2.888}{149.5 \cdot 0.188}} + 0.023 = 1.055 \text{ мм}$$

где $S_{\text{тр2}}$, – расчетная толщина крышки под перегородку в рабочих условиях и условиях испытания мм.

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

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

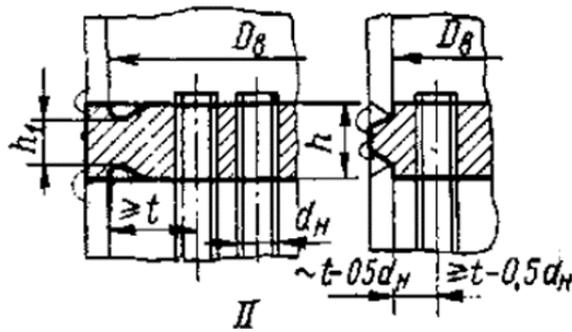


Рис. 4.8 Изображение вида трубной решетки типа II

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

$$c := 0.00 \quad K := 0.2$$

$$D_B := 0.995 \cdot D, \quad D_B := 0.995 \cdot 800 = 0.796 \text{ м}$$

$$h_{1p} := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma}}, \quad h_{1p} := 0.2 \cdot 0.796 \cdot \sqrt{\frac{2.888}{149.5}} = 0.031 \text{ м} \quad (4.6.6)$$

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$$\Phi_0 := \left| \frac{D_B - (N \cdot 0.026)}{D_B} \right| \quad (4.6.7)$$

$$\Phi_0 := \left| \frac{0.796 - (N \cdot 0.026)}{0.796} \right| = 11.543$$

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

$$K := 0.4 \quad D_B := D = 0.08$$

$$h_p := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\Phi_0 \cdot \sigma}}, \quad (4.6.8)$$

$$h_p := 0.2 \cdot 0.796 \cdot \sqrt{\frac{2.888}{11.543 \cdot 149.5}} = 0.015 \text{ м}$$

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

$$h_{CH} := 1.4 \cdot h_{1p} + c = 0.044 \text{ м} \quad h_{сер} := 1.4 \cdot h_p + c = 0.023 \text{ м}$$

В связи с тем, что трубы в трубную решетку крепятся развальцовкой увеличиваем толщину трубной решетки до 25 мм

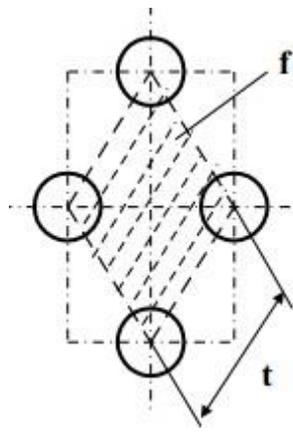


Рисунок 4.9 Схема к расчёту развальцовочного соединения.

Принимаем толщину трубной решетки 25 мм:

$$S_{\text{тр3}} := 0.025 \cdot 1000 = 25 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$S_{\text{тр}} := \max(S_{\text{тр1}}, S_{\text{тр2}}, S_{\text{тр3}}, 30) = 30 \text{ мм}$$

4.7 Расчёт развальцованного соединения:

Площадь трубной решетки:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4}, \quad (4.7.1)$$

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4} = 398.91 \text{ мм}^2$$

Осевое усилие:

$$Q_{\text{о.у}} := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - n \cdot d_{\text{нар}}^2) + P_{\text{раб.тр}} n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{вн}}^2 = 0.144 \text{ Н} \quad (4.7.2)$$

Усилие, действующее на 1 трубку:

$$q := \frac{Q_{\text{о.у}}}{n}, \quad q := \frac{0.144}{465} = 3.1 \cdot 10^{-4} \text{ МН}$$

где q – усилие, действующее на трубу, МН

$Q_{\text{о.у}}$ – усилие, которое действует как со стороны трубного пространства, так и межтрубного, МН;

n – общее число труб, шт.

Температурное усилие, приходящее на одну трубу:

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2) = 1.445 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2$$

где f_T – площадь поперечного сечения трубы, мм^2 .

Температурные напряжения в трубе:

$$\sigma_T := 22.262$$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T, \quad q_T := 22.262 \cdot 1.445 \cdot 10^{-4} = 3.217 \cdot 10^{-3}$$

где q_T – температурное усилие, приходящее на одну трубу, МН;

σ_T – температурное напряжение трубы, МПа.

Суммарное усилие:

$$q_c := q \pm q_T, \text{ МН} \quad (4.7.3)$$

В формуле принимают со знаком плюс, когда корпус нагрет больше, чем трубы, и со знаком минус, если трубы нагреты больше, чем корпус.

В нашем случае:

Средняя температура трубного пространства:

$$t_{\text{ср.в}} := 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура межтрубного пространства:

$$t_{\text{ср.б}} := 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_c := q \pm q_T, \quad q_c := 3,751 \cdot 10^{-4} + 3.217 \cdot 10^{-3} = 3.592 \cdot 10^{-3} \text{ МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{нар}}} = 4.776 \cdot 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

где σ_0 – удельная нагрузка от давления.

Удельная нагрузка на развальцовку от действия суммарного усилия с учетом давления и температурных напряжений:

$$\sigma_0 := \frac{q_c}{\pi \cdot d_{\text{нар}}} = 0.046 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Проверка условия прочности:

$Us1 :=$ "Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок" $\sigma_0 \leq 0$.
 "Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок" $\sigma_c \leq 0$.
 "Условие не выполняется, необходим другой способ развальцовки" otherwise

$Us1 =$ "Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"

4.8 Расчёт опор.

Расчёт опор ведётся согласно методике, указанной в [17,29.2]

Реакция опор:

$$P_A := 0.5 \cdot G_{ап} = 0.038 \text{ МН} \quad P_B := 0.5 \cdot G_{ап} = 0.038 \text{ МН}$$

Приведенная длина аппарата: $H := 0$ $h := 0.06$ $S_{эк} := 0.003$

$$L_{пр} := L_{об} + L_{в.к} (H + h + S_{эк}) \cdot 2, \quad (4.8.1)$$

$$L_{пр} := L_{об} + L_{в.к} (0 + 0.06 + 0.003) \cdot 2 = 6.786 \text{ м}$$

Расстояние между опорами:

$$l_1 := 0.207 \cdot L_{пр}, \quad l_1 := 0.207 \cdot 6.786 = 1.405 \text{ м}$$

$$l := L_{пр} - 2 \cdot l_1, \quad l := 6.786 - 2 \cdot 1.405 = 3.977 \text{ м}$$

Расчётный изгибающий момент от силы тяжести:

$$M_u := 0.0105 \cdot G_{ап} \cdot L_{пр}, \quad (4.8.2)$$

$$M_u := 0.0105 \cdot 0.076 \cdot 6.786 = 5.468 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести:

$$\sigma_u := \frac{M_u}{0.8 \cdot D^2 (s_{об} - c)}, \quad (4.8.3)$$

$$\sigma_u := \frac{5.468 \cdot 10^{-3}}{0.8 \cdot 800^2 (s_{об} - c)} = 5.34 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Выберем ширину опоры:

$$b := 0.2 \cdot D, \quad b := 0.2 \cdot 800 = 0.16 \text{ м}$$

Момент сопротивления расчётного сечения стенки корпуса над опорой:

$$W := \frac{[b + 8 \cdot (s_{об} - c)] \cdot (s_{об} - c)^2}{6}, \quad (4.8.4)$$

$$W := \frac{[0.16 + 8 \cdot (s_{об} - c)] \cdot (s_{об} - c)^2}{6} = 1.173 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Напряжение на изгиб в стенке аппарата от действия реакции опоры:

$$\sigma_U := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot D}{W}, \quad (4.8.5)$$

$$\sigma_U := \frac{0.02 \cdot 0.038 \cdot 800}{1.173 \cdot 10^{-7}} = 5.233 \cdot 10^3 \text{ МН/м}^2$$

$$\sigma_{и.д} := 170 \text{ МН/м}^2$$

Для стали 16ГС допускаемое напряжение при изгибе:

$$\text{Ргов}' := \begin{cases} \text{"не требуется усилить стенку над опорой"} & \text{if } \sigma_{и.д} \geq \sigma_U \\ \text{"требуется усилить стенку над опорой"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Ргов}' = \text{"требуется усилить стенку над опорой"}$$

Требуемый момент сопротивления усиленного сечения элемента стенки:

$$W := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot D}{\sigma_{и.д}}, \quad (4.8.6)$$

$$\sigma_U := \frac{0.02 \cdot 0.038 \cdot 800}{170} = 3.612 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$4 \cdot \sigma_{и.д} = 680 \text{ МПа} < \sigma_U = 5.233 \cdot 10^3 \text{ Мпа}$$

$$S_H := 1.6 \cdot S_{об}, \quad S_H := 1.6 \cdot 6 = 9.6 \text{ м}$$

$$S_H := 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётная площадь поперечного сечения стенки корпуса:

$$F_c := [b + 8 \cdot (s_{об} - c)] \cdot (s_{об} - c), \quad (4.8.7)$$

$$F_c := [16.5 + 8 \cdot (6 - 3)] \cdot (6 - 3) = 3.52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Расчётная площадь сечения накладки:

$$F_H := (b + 4 \cdot S_H), \quad F_H := (16.5 + 4 \cdot 10 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (4.8.8)$$

Момент инерции площади Fc:

$$J_c := \frac{F_c \cdot (s_{об} - c)^2}{12}, \quad (4.8.9)$$

$$J_c := \frac{3.52 \cdot 10^{-4} \cdot (6 - 3)^2}{12} = 1.173 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4$$

Момент инерции площади F_H:

$$J_H := \frac{F_c \cdot (S_H)^2}{12}, \quad (4.8.10)$$

$$J_H := \frac{3.52 \cdot 10^{-4} \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2}{12} = 1.667 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Расстояние от нижней поверхности накладки до центра тяжести площади F_C+F_H:

$$y := \frac{F_c \cdot [S_H + 0.5 \cdot (s_{об} - c)] + 0.5 \cdot F_H \cdot S_H}{F_c + F_H}, \quad (4.8.11)$$

$$y := \frac{3.52 \cdot 10^{-4} \cdot [10 \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot (s_{об} - c)] + 0.5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{3.52 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3}} = 5.898 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса:

$$W_y := \frac{J_c + J_c + F_c \cdot [S_H + 0.5 \cdot (s_{об} - c) - y]^2 + F_c \cdot (y - 0.5 \cdot S_H)}{y} = 4.673 \cdot 10^{-6} \quad (4.8.12)$$

$$P_{рох}' := \begin{cases} \text{"прочность обеспечена"} & \text{if } W_y \geq W \\ \text{"прочность НЕ обеспечена"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{рох}' = \text{"прочность обеспечена"}$$

Прочность будет обеспечиваться, если между опорами и корпусом подложить подкладной лист толщиной 10 мм.

Расчёт массы аппарата.

$$c := c \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мм прибавка на коррозию}$$

масса обечайки:

$$L_{об} := 6 \text{ м} \quad \text{длина обечайки}$$

$$D_H := 0.812 \text{ м} \quad \text{наружный диаметр обечайки}$$

$$D := 0.8 \text{ м} \quad \text{внутренний диаметр обечайки}$$

$$\rho_{ст} := 7800 \text{ кг/м}^3 \text{ плотность стали}$$

$D_{об} := 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ толщина стенки обечайки

$$m_{об} := \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст}, \quad (4.8.13)$$

$$m_{об} := \frac{\pi}{4} (0.812^2 - 0.8^2) \cdot 6 \cdot 7800 = 711.02 \text{ кг}$$

масса эллиптического днища и крышки:

$$m_{кр} := 24 \text{ кг}$$

$$V_{емк} := 140 \cdot 10^{-3} = 0.14 \text{ м}^3$$

где $V_{емк}$ - объем емкость;

масса трубок: $d_{вн} := 0.021 \text{ м}$ внутренний диаметр трубок

$d_{нар} := 0.025 \text{ м}$ наружный диаметр трубок

$$m_{тр} := N \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} \right], \quad (4.8.14)$$

$$m_{тр} := N \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (0.025^2 - 0.021^2) \cdot 6 \cdot 7800 \right] = 2.597 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

массы штуцеров и фланцев корпуса:

$$M_{ш.и.ф} := (m_{н250 \cdot 3.5} + m_{ф250}) + (m_{н250 \cdot 4} + m_{ф250}) + (m_{н70 \cdot 2} + m_{ф65}) \\ + (m_{н20 \cdot 1} + m_{ф15}) + m_{ф800} \cdot 4 = 259.22$$

масса трубных решеток:

$$S_{тр} := S_{тр} \cdot 10^{-3} = 0.03 \text{ м} \quad \text{толщина трубной решётки}$$

$$d_{отв} := d_{отв} \cdot 10^{-3} = 0.026 \text{ м} \quad \text{диаметр отверстий в трубной решётке}$$

$$V_{реш} := \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S_{тр} \right) N \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_{отв}^2 \cdot S_{тр} \right),$$

$$V_{реш} := \left(\frac{\pi}{4} \cdot 0.8^2 \cdot 0.03 \right) N \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 0.026^2 \cdot 0.03 \right) = 8.963 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{тр.р} := 2(V_{реш} \cdot \rho_{ст}), \quad M_{тр.р} := 2(8.963 \cdot 10^{-3} \cdot 7800) = 139.828 \text{ кг}$$

масса входной камеры:

$$L_{в.к} := 250 \cdot 10^{-3} = 0.25 \text{ м}$$

$$m_{в.к} := \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D^2) \cdot L_{в.к} \cdot \rho_{ст}, \quad m_{в.к} := \frac{\pi}{4} (0.812^2 - 0.8^2) \cdot 0.25 \cdot 7800 = 29.626 \text{ кг}$$

масса воды при гидроиспытаниях:

$$L := L_{об} + L_{в.к}, \quad L := 6 + 0.25 = 6.25$$

$$V_B := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \right) + V_{\text{емк}}, \quad V_B := \left(\pi \cdot \frac{0.8^2}{4} \cdot 3.977 \right) + 0.14 = 3.282 \text{ м}^2$$

$$\rho_B := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m_B := V_B \cdot \rho_B, \quad m_B := 3.282 \cdot 1000 = 3.282 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

где L – длина аппарата, м.

Общая масса аппарата:

По полученной нагрузке на одну сторону аппарата выбираем подходящий тип опор. Выбор производим в соответствии с данными, указанными в [18, табл. 29.12]. На рисунке 4.10 представлена опора горизонтальных аппаратов.

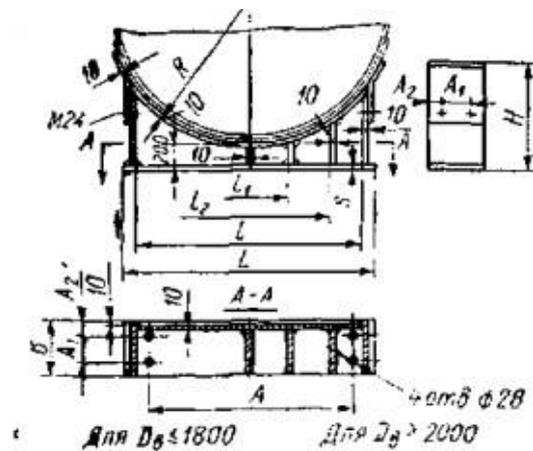


Рисунок 4.10. Опоры горизонтальных аппаратов

$$M_{\text{ап}} := (m_{\text{об}} + 2m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + M_{\text{ш.и.ф}} + M_{\text{тр.р}} + m_{\text{в.к}}) = 3.785 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$M := M_{\text{ап}} \cdot 1.2 + m_B = 7.823 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$G_{\text{ап}} := g \cdot M = 7.675 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$G_{\text{ап}} := G_{\text{ап}} \cdot 10^{-6} = 0.077 \text{ МН}$$

Принимаем количество опор: $k=2$

Нагрузка на одну сторону:

$$G_{\text{наг}} := \frac{G_{\text{ап}}}{k}, \quad G_{\text{наг}} := \frac{0.077}{2} = 0.038 \text{ МН}$$

$$G_{\text{наг}} := G_{\text{наг}} \cdot 10^2 = 3.837$$

По полученной нагрузке на одну сторону аппарата выбираем подходящий тип опор. Выбор производим в соответствии с данными,

указанными в [18, табл 29.12]. На рисунке 4.6 представлена опора горизонтальных аппаратов.

Тип	$G \cdot 10^2$, МН (мс)	D_0	L	l	l_1	l_2	B	H	A	A_1	A_2	R	s	Масса, кг
	17	800	750	705				440	500			422		67,9

В таблице 4.6 указаны основные сведения об выбранной опоре.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Задачей дипломной работы является подбор и расчёт кожухотрубчатого теплообменника. Эта работа выполняется для того, чтобы заменить пластинчатый теплообменник, установленного в узле термостатирования реакторов получения полипропилена. Необходимость этой деятельности обусловлена тем, что пластинчатый теплообменник не справляется со своей задачей и дорог в обслуживании.

Для проведения сравнительного анализа экономических и технических характеристик кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников необходимо выделить основные критерии, по которым можно судить

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В данной работе продуктом и целевым рынком являются:

Продукт: теплообменник, он относится к наиболее распространенным аппаратам. Его применяют для нагрева продукта. В данном случае, теплообменник необходим для того, чтобы нагреть обессоленную нефть.

Ближайшими конкурентами по переработки нефти в России является такие предприятия как Александровский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), Томский нефтеперерабатывающий завод (Томский НПЗ), Газпромнефть-Омский НПЗ, Яйский нефтеперерабатывающий завод (Яйский НПЗ).

5.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Более низкая стоимость аппарата по сравнению с импортными производителями.	Сл1. Сложность в обслуживании аппарата (монтаж и ремонт).
С2. Энергоэффективность технологии.	Сл2. Высокая металлоёмкость.
С3. Возможность работы с взрывоопасными веществами.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Возможности механической	

очистки межтрубного пространства.	
Возможности	Угрозы
В1. Возможность увеличения поверхности теплопередачи	У1. Высокая конкуренция рынка.
В2. Возможность использования аппарата в местах с пониженной температурой.	У2. Угроза перекоса и заклинивания механизма «плавающей головки».
В3. Развитие потребительской способности рынка на выпускаемый продукт.	У3. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 5.3–5.6.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	0	+
	В2	+	+	+	-
	В3	+	+	+	+

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	+
	В2	-	-	-
	В3	-	-	-

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	С4

проекта	У1	-	+	-	-
	У2	-	+	-	-
	У3	-	+	-	-

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сильные стороны проекта</p> <p>С1. Более низкая стоимость аппарата по сравнению с импортными производителями.</p> <p>С2. Энергоэффективность технологии.</p> <p>С3. Возможность работы с взрывоопасными веществами.</p> <p>С4. Возможности механической очистки межтрубного пространства</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Сложность в обслуживании аппарата (монтаж и ремонт).</p> <p>Сл2. Высокая металлоёмкость. Сл3. Большое количество конкурентных производителей данного аппарата.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Возможность увеличения поверхности теплопередачи</p> <p>В2. Возможность использования аппарата в местах с пониженной температурой.</p> <p>В3. Развитие</p>	<p>Направления развития</p> <p>1.Использование развитых поверхностей теплообмена как внутри труб, так и в межтрубном пространстве.</p> <p>2.Аппарат работает как при очень низких, так и при очень высоких температурах. 3.Развитие торговых отношений.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>1.Создание новой технологии, которая бы исключила сложности при ремонте.</p> <p>2.Использование альтернативных материалов.</p> <p>3. Привлечение новых клиентов.</p>

потребительской способности рынка на выпускаемый продукт.		
Угрозы У1. Высокая конкуренция рынка. У2. Угроза перекоса и заклинивания механизма «плавающей головки». У3. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации. рынок.	Угрозы развития 1. Продвижение товара на мировой рынок за счет высокой производительности и дешевой стоимости. 2. Избегать резкие скачки температуры и давления. 3. Использование подходящего фланца или замена прокладок., являются более привлекательными мировом рынке.	Уязвимости: 1. Использование более простых конструкций аппарата. Например, использование теплообменник с неподвижными трубными решётками. 2. Замена материала может повысить себестоимость теплообменника. 3. Повышение цен на выпускаемую продукцию

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение

трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году (2022 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожс}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11

Продолжение Таблицы 5.9

4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

Таблица 5.10 – Диаграмма «Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти»

№	Вид работ	Исп	T _{кi'} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		█											
4	Выбор методов исследования	Исп2	6		█											

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7												
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9												
7	Проведение эксперимента	Исп2	25												
8	Обработка полученных данных	Исп2	18												
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5												
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13												

Примечание:

 – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы «Разработка теплообменника для конденсации паров бензиновой фракции в процессе ректификации нефти» (таблица 5.10).

5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении образца, нанесенного с покрытием нефть. Результаты расчета затрат представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Затраты на получение образца, нанесенного с покрытием нефть.

Наименование основных материалов и сырья	Количество			Цена за ед., тыс. руб.			Затраты на материалы, Зм, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Нефть, тон	1	1,5	2	30,48	30,48	30,48	35052	52578	70104
Катализатор риформинга, тон	0,04	0,05	0,06	47,8	47,8	47,8	2198,8	2748,5	3298,2
Итого, руб.	Исполнение 1			Исполнение 2			Исполнение 3		
	37250,8			55326,5			73402,2		

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 5.12 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	%	Цена оборудования, тыс. руб.	Амортизация	
1.Теплообменник	7	20	0,16	0.05	410	273.3	
2.Колонна	1	15	0,1	0.06	4700	2350	
3.Холодильник	4	15	0,16	0.06	900	720	
4.Насос	8	7	0,1	0.14	300	350	
Итого:						3693.3 руб.	

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического

персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (5.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

- для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (5.11)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$z_{мс}, руб$	k_{np}	k_{δ}	k_p	$z_m, руб$	$z_{\delta n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$z_{\delta n} = k_{\delta n} \cdot z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

– для инженера:

$$z_{\delta n} = k_{\delta n} \cdot z_{осн} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}, \quad (5.13)$$

где $k_{\delta n}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$z_{внеб} = k_{внеб} (z_{осн} + z_{\delta n}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.} \quad (5.14)$$

– для инженера:

$$z_{внеб} = k_{внеб} (z_{осн} + z_{\delta n}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.}, \quad (5.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 5. 15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
3693,3	73402,2	148391	22258,7	51194,9	248883,1

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей} 1 \div 5) \cdot k_{np}, \quad (5.16)$$

где k_{np} – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование структурно-фазового состояния и физикомеханических свойств защитных нанокompозитных покрытий системы кожухотрубчатый теплообменник на поверхности кремния» по форме, приведенной в таблице 5.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 5.16 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИР	6117.5	4626.3	15945	Пункт 4.2.3.1
2. Затраты на специальное оборудование	20921	22959.8	43453	Пункт 4.2.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258.7	22258.7	22258.7	Пункт 4.2.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	51194.9	51194.9	51194.9	Пункт 4.2.3.4
6. Накладные расходы	49776.6	49776.6	49776.6	Пункт 4.2.3.5
	298659.7	299177.3	331019.2	Сумма ст. 1-6

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Просветляющие покрытия на основе кожухотрубчатый теплообменник;
- 2) Композиционные материалы на основе кожухотрубчатый теплообменник, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 375281$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 395866,8$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 413942,5$ руб.

$$I_{\text{фин.исп.1}} = \frac{375281}{413942,5} = 0,907$$

$$I_{\text{фин.исп.2}} = \frac{395866,8}{413942,5} = 0,956$$

$$I_{\text{фин.исп.2}} = \frac{413942,5}{413942,5} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{фин.исп1}} = \frac{4.65}{0,907} = 5,13$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{фин.исп2}} = \frac{3.80}{0,956} = 3.97$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{фин.исп3}} = \frac{4.05}{1} = 4.05$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 5.18).

Таблица 5.18 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,90	0,91	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4.05
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 68,5 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 13,5 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 298659.7 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,90, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

6 Социальная ответственность

В последние годы все большее значение приобретают требования мирового сообщества и практически всех государств к социальной стороне деятельности организаций. Это в равной мере относится к организациям всех типов, размеров и форм собственности вне зависимости от их географического размещения, сферы деятельности, культурных и национальных традиций.

Возникло и прочно утвердилось понятие о социальной ответственности организаций, которая в общем случае включает производство продукции и оказание услуг надлежащего качества, удовлетворение интересов потребителей, соблюдение прав персонала на труд, выполнение требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности и охране окружающей среды, ресурсосбережению, участие в социальных мероприятиях и поддержке инициатив местного сообщества, добросовестное ведение бизнеса.

В результате многие организации стремятся представить органам власти, контрольным и надзорным органам, общественности и средствам массовой информации документальные свидетельства своего ответственного отношения к социальной стороне собственной деятельности.

Как известно, самым весомым свидетельством выполнения каких-либо требований в интересующей общество области деятельности принято рассматривать соблюдение стандартов, действующих в этой области, особенно, если оно подтверждено через сертификацию.

Объектом рассмотрения раздела является теплообменник подогрева, бензина

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Условия труда по степени вредности и опасности делятся на четыре класса – оптимальные, допустимые, вредные и опасные условия труда. Условия труда при работе с данными устройствами относятся к третьему классу, в котором условиями труда превышают уровни воздействия вредных

и опасных производственных факторов, установленные нормативами условий труда. Условия труда в рабочем месте регламентируются Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (далее ТК РФ), имеющим приоритетное значение перед другими действующими федеральными законами, связанными с трудовыми отношениями [19].

В соответствии со статьей 100 ТК РФ режим рабочего времени работника цеха должен предусматривать пятидневную рабочую неделю с двумя выходными днями. Время начала и окончания работы, время перерывов, число смен и чередование рабочих и не рабочих дней устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством. Работнику должен предоставляться ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней согласно статье 115 ТК РФ. В соответствии со статьей 133 работнику гарантирована месячная заработная плата (отработавшего за этот период норму рабочего времени и выполнившего нормы труда), не ниже минимального размера оплаты труда.

Согласно ТК РФ работникам категории 3 также предусматриваются [19]:

- Обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты [статья 221 ТК РФ];
- Предварительные и периодические медицинские осмотры для работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда [статья 213 ТК РФ].

На рабочем месте проводятся инструктажи и стажировки для получения работниками допуска к самостоятельной работе. Кроме того действует Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». В соответствии со статьей 4 работниками гарантированы права на обеспечение по страхованию; экономическая заинтересованность субъектов страхования на улучшении условий и

повышении безопасности труда, снижении производственного травматизма и профессиональной заболеваемости; обязательность регистрации в качестве страхователей лиц, нанимающих работников, подлежащих обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний; обязательность уплаты страхователями страховых взносов[20].

Основные эргономические требования согласно ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» частям 2.1 – 2.7 для обеспечения безопасности, а также создания комфортной среды для работников цеха в производственных условиях рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного слоя; организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работника или наклон его вперед не более чем на 15° ; для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к столу, станку или машине должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине[21].

6.2 Производственная безопасность

В данном разделе анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при изготовлении и эксплуатации проектируемого экстрактора. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для рабочей среды представлены в таблице 6.1[22]:

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте [22]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
Отклонение параметров микроклимата	2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. 3. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003.
Повышенный уровень шума	4. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 5. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.	6. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. 7. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

6.2.1 Анализ опасных и вредных факторов

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Недостаточное освещение негативно действует на зрение, снижает работоспособность работников и может являться причиной головной боли и бессонницы. Основные причины плохой освещенности в рабочей зоне:

- отсутствие контроля за соблюдением норм искусственной освещенности;
- неправильное расположение ламп общего и местного освещения;
- недостаточное количество ламп и их регулярная замена;
- нерегулярная чистка плафонов ламп.

В соответствии с разделом 7 «2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение» на пункте 2 «Освещение помещений производственных и складских зданий» для общего освещения производственных помещений следует использовать светодиоды и энергоэффективные разрядные источники света. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения. При этом, освещенность от общего освещения должна быть не менее 200 лк [23].

Освещение рабочей зоны должно быть оптимальным по величине, а его спектр должен быть максимально приближен к солнечному освещению, лучше всего соответствующему физиологии человека. Чрезмерно высокая освещенность так же, как и недостаточная, вызывает быстрое утомление глаз и снижение видимости.

Отклонение параметров микроклимата. Следующие параметры характеризуют микроклимат в рабочей зоне: влажность, температура, тепловое излучение и скорость движения воздуха. Работа персонала относится к классу средних работ IIб – интенсивность 201 – 250 ккал/час (233

– 290 Вт), работы, связанные с ходьбой, перемещением, переноской грузов весом до 10 кг с умеренным физическим напряжением. В таблице 6.2 представлены допустимые величины показателей микроклимата в рабочей зоне [24].

Таблица 6.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Энергозатраты, ккал/час	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	201 – 250	17 – 19	16 – 20	60 – 40	≥ 0,2
Теплый	201 – 250	19 – 21	18 – 22	60 – 40	≥ 0,2

Повышенный уровень шума. Шум с физиологической точки зрения – это любой нежелательный для человеческого слуха звук, который негативно влияет на здоровье. Шум влияет на нервную систему и может становиться причиной возникновения многих опасных болезней. Шум создается работающими оборудованьями. В таблице 6.3 представлены допустимые значения уровней звукового давления [27].

Таблица 6.3 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука.

Назначение помещений или территории	Уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Экв. уровень звука, дБА	Максимальный уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		

Производственные помещения	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	95
----------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Повышенное значение напряжение в электрической цепи, замыкание которое может пройти через тело человека. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него комплексное воздействие, являющееся совокупностью биологического, электролитического, термического и механического воздействий, что вызывает как местное и общее повреждения тканей и органов [28].

Существуют критические значения сетевого переменного тока, воздействующего на организм:

- 0,6 – 1,5 мА – ток начала ощущения (в точках прикосновения);
- 10 – 20 мА – порог не отпускающего тока;
- 100 мА – ток фибрилляции тока;
- 5 А и более вызывает у человека асфиксацию.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие СКЗ:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности и др.

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Первым шагом в обеспечении безопасности работающих на рабочей зоне является организация обучения всех работников правилам техники безопасности. Работники также будут периодически проверяться на знание правил техники безопасности.

Недостаточная освещенность рабочей зоны. При несоответствии искусственного освещения установленным нормам и правилам необходимо проводить такие мероприятия как увеличение число ламп в рабочей зоны, замена ламп на более мощные или реконструирование осветительных установок.

Отклонение параметров микроклимата. Для достижения необходимых параметров микроклимата рабочей зоны необходимо обеспечить надлежащий тепло- и воздухообмен, вентиляцию помещения в теплое время года и отопление в холодное, изолировать источники высокой и низкой температуры [25].

Повышенный уровень шума. К средствам индивидуальной защиты от воздействия шума относятся одноразовые и много разовые вкладыши и защитные наушники с активным шумоподавлением. Коллективная защита заключается в планировке помещения, позволяющей снизить воздействие шума [26].

Электрический ток. При эксплуатации установок важную роль в обеспечении безопасности работника играют электротехнические средства защиты. Контроль выполнения требований электробезопасности должен проводиться на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации.

6.3 Экологическая безопасность

В данном разделе рассматриваются результаты воздействия материалов с окружающей средой и возможные решения к этим эффектам.

Литосфера. Данный аппарат(экстрактор) используется для экстрагирования биологически-активных веществ из растительного сырья. Источником загрязнения является кора, которая после экстрагирования не найдет полезное применение. Если кора не утилизируется должным образом, существует риск загрязнения источников воды. Существуют несколько способов безопасной переработки коры, это включает сжигание, вывоз на свалку и приготовление удобрения.

Гидросфера. В качестве экстрагента для экстракции будет использован водяной пар. После экстракции, водяной пар конденсируют в холодильнике. Эта вода все еще содержит остатки процесса экстракции, и если она смешается с питьевой водой, она может загрязнить источник питьевой воды. Для обеспечения безопасного пользования гидросферой применяются следующие мероприятия:

- улучшение настройки оборудования, чтобы вода повторно использовалась для следующего процесса;
- возможное выявление других процессов в производстве, которые требуют использования воды такой температуры.

Атмосфера. Этот процесс оказывает незначительное негативное воздействие на атмосферу, так как основным экстрагентом является водяной пар. Следует проявлять большую осторожность при исследовании состава растительного сырья, так как некоторые из них могут содержать элементы, которые при нагревании выделяют газы, загрязняющие воздух.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При конструировании и эксплуатации экстрактора для растительного сырья возможными чрезвычайными ситуациями (далее ЧС) являются пожар, взрывы, обрушение производственных зданий, землетрясение и наводнение.

К ЧС техногенного характера относятся пожар и взрывы; к природным относятся землетрясение и ураганы. В данном пункте будет рассмотрена наиболее типичная ЧС – пожар. В процессе производственного цикла существует опасность возгорания. Причиной возгорания может являться замыкание в электросети оборудования и несоблюдения правил пользования электрооборудованием.

Согласно СП 12.13130.2009, рабочая зона относится к категории В4 (пожароопасные). Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом

воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.

В целях ликвидации или локализации возгорания на первоначальной стадии применяются средства, которые обычно используются до прибытия пожарной бригады. Эти средства называют первичными средствами пожаротушения.

К первичным средствам пожаротушения относятся огнетушители. Типов огнетушительный бывает довольно большое множество (Например огнетушитель водо-пенный ОХВП-10). Используются для тушения пожара при отсутствии электроэнергии; углекислотные и порошковые огнетушители применяются для ликвидации возгорания различных электроустановок, которые находятся под напряжением до 1000 В.

Вывод по разделу:

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы были рассмотрены факторы безопасного проектирования и эксплуатации экстрактора для растительного сырья. Все выше описанные мероприятия в совокупности способны повысить безопасность технологического процесса на производстве и снизить вред, наносимый окружающей среде и человеку, при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Согласно ПУЭ, в отношении опасности поражения людей электрическим током помещение принадлежит к помещениям без повышенной опасности потому, что отсутствуют условия, создающие особую электро-опасность [31].

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, работа персонала относится к классу средних работ Пб – интенсивность 201 – 250 ккал/час (233 – 290 Вт), работы, связанные с ходьбой, перемещением, переноской грузов весом до 10 кг с умеренным физическим напряжением [32].

Согласно СП 12.13130.2009, рабочая зона относится к категории В1-В4 (пожароопасные). Основная установка (экстрактора) относится к группе ГН (умеренная пожароопасность), так как в ней подается пар и перерабатывается кора, которая после переработки утилизируется способом сжигания [33].

В экстракторе перерабатывается кора осины. Объект принадлежит к категории III (Критерии отнесения объектов, оказывающих незначительное негативное воздействие на окружающую среду), так как основной источник сырья – отходы.

Заключение

В результате проделанной работы был проведен технологический расчёт, целью которого явилось определение поверхности теплообмена.

Проведён конструктивный расчёт, где был подобран стандартный теплообменник, а также штуцера для входа и выхода теплоносителей.

Проведён механический расчёт, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки, эллиптического днища, распределительной камеры и плоской круглой крышки. Также в механическом расчёте были рассчитаны температурные деформации, подобраны фланцы и прокладки для обечаек и днищ, подобраны продольные и поперечные перегородки. Кроме того, была рассчитана толщина трубной решетки, рассчитано развальцовочное соединения. Фланцевые соединения были рассчитаны на прочность и герметичность, проведён расчёт необходимости укрепления отверстий.

Для аппарата были рассчитаны стандартные опоры.

Выбрана и рассчитана изоляция теплообменника. Произведен гидравлический расчёт данного теплообменника.

Кроме того, в дипломной работе представлены разделы: «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Список использованных источников

1. ГОСТ 51858-2020 нефть общие технические условия.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с., ил
3. ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.
4. Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – 3-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2008. – 752 с.
5. Сталь 16ГС. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/16GS?
6. ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. –Введ. 2016-09.01. – М.: Сортамент, 2015. –11 с.
7. ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.- Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-38 с.
8. В.М.Беляев, В.М.Миронов В. В. Тихонов. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 95 с.
9. Каталог продукции [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://www.esbk.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
10. ГОСТ 31842-2012. Теплообменники кожухотрубчатые.

Технические

- требования. – Введ. 1979-01.01. – М.:Изд-во стандартов, 1988.- 11 с.
11. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2017. – 26 с.
12. ГОСТ Р 53677-2009. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2011. — 48 с.
13. ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. М.: Изд-во стандартов, 2017. — 44 с.
14. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры
15. 10.ГОСТ Р 52857.2-2007. Расчет обечаек и днищ. - Введ. 2009-27.12. – М.:Стандартинформ, 2008-41 с.
16. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартинформ, 2011-40с.
17. А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Л., «Машиностроение», 1970г., 752с.1.
18. Ю.И. Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерскийи др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.:Химия, 1991. — 496 с.
19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
20. Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
21. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
22. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

23. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
24. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
25. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003.
26. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
27. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
28. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
29. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
30. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
31. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации
32. электроустановок.
33. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
34. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

