

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

Институт Электронного обучения

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Кафедра Общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты

УДК 661.25.045.1.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Николай Викторович	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина Ася Александровна	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Николай Александрович	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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)
P7	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>
P8	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	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	информации.	
Общекультурные компетенции		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	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	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
	решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологии.	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..

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) Машины и аппараты химических производств
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Тихонов В.В.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич

Тема работы:

Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<u>25.04.2016г. № 3106/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Кожухотрубчатый теплообменник–производительностью 26 кг/с. Режим работы непрерывный. Сырьем производства является отработанная серная кислота. Товарная продукция- “Кислота серная“ по ГОСТ 2184-2013.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1) Введение: значения технологии серноокислотного производства для промышленности и населения, объём рынка.</p> <p>2) Краткие физико-химические основы технологии серноокислотного производства.</p> <p>3) Технологическая схема производства серной кислоты.</p> <p>4) Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты</p> <p>5) Вопросы социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов.</p> <p>6) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>7) Заключение (выводы).</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1) Технологическая схема производства серной кислоты (1 лист А1)</p> <p>2) Чертежи общего вида и выносных элементов теплообменника (2-3 лист А1)</p> <p>3) Точка безубыточности (4 лист А1)</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат химических наук Сечина Ася Александровна
Социальная ответственность	Доцент, кандидат технических наук Чулков Николай Александрович

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

Реферат

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тихонов Николай Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич		

РЕФЕРАТ.

Выпускная квалификационная работа содержит 124 стр., 12 рис., 18 табл., 29 источников, 4 чертежа, 2 приложения.

Ключевые слова: серная, кислота, кожухотрубчатый, теплообменник, регенерация

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения серной кислоты (H_2SO_4) на установке регенерации отработанной серной кислоты - РОСК

Цель работы: рассчитать и подобрать теплообменное оборудование установки регенерации отработанной серной кислоты для увеличения производственной мощности на 50% .

В данной работе был проведен технологический, конструктивный и прочностной расчет теплообменника.

Так-же представлены разделы по социальной ответственности и финансовому менеджменту.

ABSTRACT.

Final qualifying work consists of 124 page, 12 Fig., 18 table., 29 sources, 4 drawing 2 app.

Key words: sulfur, acid, shell and tube, heat exchanger, regeneration

The research object is a shell and tube heat exchanger for cooling sulfuric acid (H_2SO_4) in the regeneration unit spent sulfuric acid – ROSK.

Objective: to calculate and select heat transfer equipment installation regeneration of spent sulfuric acid to increase production capacity by 50% .

In this work, we have conducted technological, structural and strength analysis of the heat exchanger.

The sections on social responsibility and financial management.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Описание технологической схемы.	8
2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника ТН.	11
2.1 Тепловой расчет теплообменника.	11
2.1.1 Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости.	11
2.1.2 Расчет движущей силы процесса теплообмена.	14
2.1.3 Ориентировочный расчет поверхности теплообмена.	14
2.1.4 Подбор теплообменника.	14
2.1.5 Уточненный расчет поверхности теплообмена.	15
2.2 Конструктивный расчет теплообменника.	17
2.3 Механический расчет.	22
2.3.1 Определение температурных деформаций в корпусе теплообменника.	22
2.3.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.	23
2.3.3 Расчет толщины стенки распределительной камеры.	24
2.3.4 Расчет толщины стенки эллиптической крышки.	25
2.3.5 Расчет плоской крышки.	27
2.3.6 Расчет штуцеров.	28
2.3.7 Расчет фланцевого соединения.	29
2.3.7.1 Определение расчетных температур.	31
2.3.7.2 Определение эффективной ширины прокладки.	32
2.3.7.3 Определение податливости прокладки.	34
2.3.7.4 Определение расчетных параметров фланцев.	35
2.3.7.5 Определение угловой податливости фланцев.	37
2.3.7.6 Проверка прочности болтов и прокладки.	40
2.3.7.7 Расчет фланцев на статическую прочность.	41
2.3.7.8 Проверка углов поворота фланцев.	43
2.3.8 Расчет патрубков в обечайке и распределительной камере.	43

2.3.8.1	Расчет патрубков для штуцеров.	44
2.3.8.2	Расчет укрепления отверстий при внутреннем давлении.	46
2.3.8.3	Подбор стандартных штуцеров.	47
2.3.9	Проверочный расчет теплообменника.	48
2.3.9.1	Расчет трубной решетки.	48
2.3.9.2	Расчет коэффициентов изменения жесткости системы «трубы-кожух».	50
2.3.9.3	Определение усилий в элементах теплообменника.	51
2.3.9.4	Расчетные напряжения в трубных решетках.	56
2.3.9.5	Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к трубной решетке.	59
2.3.10	Расчет массы теплообменника.	62
2.3.11	Расчет стандартной седловой опоры теплообменника.	65
	Задание для раздела « Социальная ответственность».	77
3.	Социальная ответственность.	79
3.1	Производственная безопасность.	81
3.1.1	Анализ выявленных вредных факторов.	81
3.1.2	Оценка микроклимата в помещении.	83
3.1.3	Средства защиты.	84
3.1.4	Анализ выявленных опасных факторов.	88
3.1.5	Основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса.	91
3.2	Экологическая безопасность.	92
3.2.1	Защита гидросферы и литосферы.	92
3.2.2	Защита атмосферы.	93
3.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	94
3.3.1	Пожарная безопасность.	94
3.3.2	Противопожарные мероприятия.	98
3.3.3	Производственные аварии.	99
3.3.4	Стихийные бедствия.	100
3.3.5	Военно-социальные конфликты.	101
3.4	Заключение по разделу «Социальная ответственность».	102

Задание для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	103
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	104
4.1 Потенциальные потребители.	104
4.2 Инициация проекта.	104
4.3 Требуемые производственные мощности.	105
4.3.1 Определение потребности в инвестициях для повышения мощности производства.	109
4.3.2 Расчет численности промышленно-производственного персонала.	106
4.4 Расчет фонда заработной платы основного производственного персонала и ИТР.	110
4.5 Расчет амортизационных отчислений.	113
4.6 Определение финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	119
4.6.1 Оценка абсолютной эффективности.	119
4.6.2 План доходов и расходов при повышении мощности производства на 50%	119
4.6.3 Анализ безубыточности.	120
Заключение по дипломной работе.	123
Список используемых источников.	124
Спецификация.	126

ВВЕДЕНИЕ

Сведения о продукте.

Серная кислота H_2SO_4 — сильная двухосновная кислота, отвечающая высшей степени окисления серы (+6). При обычных условиях концентрированная серная кислота — тяжёлая маслянистая жидкость без цвета и запаха, с кислым «медным» вкусом. В технике серной кислотой называют её смеси как с водой, так и с серным ангидридом SO_3 . Если молярное отношение $\text{SO}_3 : \text{H}_2\text{O} < 1$, то это водный раствор серной кислоты, если > 1 — раствор SO_3 в серной кислоте (олеум).

По объёму производства и разнообразию применения серная кислота среди продуктов химической промышленности занимает первое место.

Серная кислота является одним из важнейших продуктов химической промышленности и имеет огромное народнохозяйственное значение. Крупнейшим потребителем серной кислоты является производство минеральных удобрений, ежегодно потребляющее миллионы тонн. Значительное количество серной кислоты расходуют в производстве соляной, плавиковой, фосфорной, уксусной и других кислот из солей, а также для концентрирования азотной кислоты. Серная кислота используется в металлургии для получения цветных металлов, в машиностроении — для травления металлов, в нефтеперерабатывающей промышленности — для очистки нефтепродуктов бензина, керосина и смазочных масел. Она необходима при изготовлении многих взрывчатых веществ (бездымного пороха, тротила, нитроглицерина и ряда других), искусственного волокна, пластических масс, красок, лекарственных веществ, кожевенной, парфюмерной и в других отраслях промышленности.

Ежегодно в стране образуется 2 млн. т отработанной серной кислоты, что составляет 10 % от общего её производства. Такие объёмы свидетельствуют о необходимости утилизации отработанной кислоты с целью экономного ресурсопользования и защиты окружающей среды.

В России насчитывается более 200 видов отработанной серной кислоты, содержащих около ста видов примесей, в том числе аккумуляторная кислота из отработанных свинцовых аккумуляторов.

Обезвреживание и утилизацию отработанной серной кислоты производят следующими способами:

- нейтрализацией растворов или их огневым обезвреживанием без использования образующихся продуктов;
- использованием (возможно после предварительного упаривания) загрязненных растворов в других технологических процессах;
- регенерацией отходов с получением товарной серной кислоты.

Основная масса отработанной серной кислоты и кислых гудронов подвергается регенерации.

В зависимости от состава отработанной кислоты применяют различные методы регенерации:

- термическое расщепление,
- экстрагирование органических примесей,
- адсорбцию,
- каталитическое окисление пероксидом водорода,
- коагулирование,
- выпаривание и др.

Наибольшее распространение у нас в стране получила регенерация серной кислоты огневым методом, при котором происходит высокотемпературное расщепление кислоты. Метод универсален и высокоэффективен. При огневом методе используется концентрированная серная кислота, поэтому при необходимости предварительно проводят упаривание отработанной кислоты до необходимой концентрации.

1. Описание технологической схемы.

В основе регенерации отработанной серной кислоты лежат два процесса-термическое расщепление отработанной серной кислоты и окисление сернистого ангидрида в серный ангидрид.

Процесс термического расщепления кислоты и окисление органических примесей проводят на установке регенерации серной кислоты «РОСК», при 950—1200 °С.

Установка РОСК состоит из

- 1) Печного отделения
- 2) Промывочного отделения
- 3) Отделение мокрой очистки газа
- 4) Сушильное отделение
- 5) Контактнo-абсорбционное отделение
- 6) Санитарная установка

Сернокислотные растворы с помощью форсунок распыляют в потоке продуктов сгорания топлива в огневом реакторе 2. Туда же с помощью воздуходувки 1 подается воздух. Органические примеси при этом окисляются с образованием CO_2 и H_2O , а серная кислота расщепляется с образованием SO_2 . Сернистый газ из огневого реактора поступает в котел-утилизатор 3, а из него — в систему очистки 4-11, где очищается от пыли, сернокислотного тумана и подвергается осушке. Горячий обжиговый газ очищается от пыли в циклоне 4 и сухом электрофилт্রে 5, промывается в промывном отделении в промывочных башнях 6,7 холодной серной кислотой с низкой концентрацией. В этих условиях газ охлаждается, основные примеси при этом образуют туман, который затем удаляется в электрофилтрах мокрой очистки газа 8 после чего газ подвергается осушке в сушильной башне 10 и брызгоулавителе 11, затем газ с помощью газодувки 12 через теплообменник 13 подается в узел получения кислоты 14-17. В контактном аппарате 14 сернистый ангидрид окисляется до серного ангидрида кислородом воздуха на катализаторе. Катализатор марки СВД (Сульфованадат-диатомитовая контактная масса-катализатор предназначен для окисления SO_2 . Его выпускают в виде цилиндрических гранул размером 3,5X8 мм или в виде колец с наружным диаметром 10 мм, высотой 8—10 мм и внутренним диаметром 3,5 мм. СВД получают сухим смешением компо-

нентов — природного диатомита с сульфо - или пиросульфована- датом калия)- ванадиевый. Поскольку реакция идет с выделением тепла, конструкция контактного аппарата предусматривает промежуточное охлаждение технологического газа холодильником 15. Последней стадией процесса получения серной кислоты является извлечение серного ангидрида из газовой смеси и превращение его в серную кислоту путем абсорбции серной кислотой в колоннах (абсорберах). Технологический газ 1 стадии контактирования из межтрубного пространства теплообменника 13 контактного отделения, содержащий до 10% триоксида серы (SO_3), поступает в олеумный абсорбер 16 (футерованный цилиндрический аппарат, заполненный керамическими кольцами. Абсорбция триоксида серы из технологического газа производится серной кислотой с концентрацией 97% массовой доли моногидрата. Перед подачей на орошение серная кислота, разогретая за счет тепла абсорбции триоксида серы, охлаждается в кожухотрубчатом теплообменнике. В олеумном абсорбере улавливается до 60% триоксида серы, содержащегося в технологическом газе. Технологический газ, с остаточным содержанием триоксида серы, после олеумного абсорбера , поступает в моногидратный абсорбер первой стадии 17. В зависимости от количественного соотношения воды и серного ангидрида получается серная кислота различной концентрации: олеум ($n > 1$), моногидрат ($n = 1$), серная кислота ($n < 1$). В хвостовых газах после абсорбции серного ангидрида содержится диоксид серы и туман серной кислоты, поэтому перед удалением хвостовых газов в атмосферу, предусмотрена их очистка в санитарной колонне и электрофильтре. Очищенные дымовые газы с помощью дымососа выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

Огневая регенерация серной кислоты из отходов позволяет одновременно с их обезвреживанием получать товарную продукцию высокого качества. Это приводит к сокращению расходов природного сырья и снижению затрат на производство серной кислоты на 25—30 % по сравнению с ее производством из первичного сырья (элементарной серы).

Для рентабельной регенерации серной кислоты из рассматриваемых отходов необходимо их предварительное обезвоживание (концентрирование). В связи с

отсутствием в отходах летучих веществ концентрирование можно осуществить методом упаривания в контактных теплообменниках за счет теплоты отходящего из огневого реактора сернистого газа. При этом одновременно происходит закалка газа.

Содержание воды в упаренном растворе зависит от температуры отходящих из огневого реактора газов и от содержания воды в исходном растворе. Если в исходном растворе имеется 60—70 % воды, то после упаривания его отходящими газами с температурой 950—1000 °С содержание воды снижается до 35—40 %. При огневой переработке таких растворов концентрация SO_2 в сухом сернистом газе — не менее 7 %. Сильно разбавленные растворы, содержащие более 80 % воды, после упаривания содержат ее не более 60 %. При огневой переработке таких растворов с целью получения сернистого газа с содержанием SO_2 не менее 6 % в качестве топлива используют серу или сероводород, а также обогащают кислородом дутьевой воздух.

Для более полного превращения SO_3 в SO_2 в огневом реакторе целесообразно двухступенчатое сжигание топлива.

В первой ступени термическое расщепление серной кислоты и сульфатов осуществляется в восстановительной газовой среде (в продуктах неполного горения топлива), а во второй ступени происходит дожигание продуктов неполного горения за счет подачи вторичного воздуха.

При огневой утилизации отработанных травильных растворов и гидролизной серной кислоты получают побочный продукт — порошкообразный оксид железа. В том случае, если травильные растворы не загрязнены различными примесями, получаемый оксид железа применяется в производстве красителей, активных катодных масс, ферритных порошков, полирующих паст и т. д. Загрязненный оксид железа используется как металлургическое сырье. В процессе регенерации травильных сернокислотных растворов образуется сульфат железа, который можно использовать непосредственно без дополнительной обработки как ядохимикат, а также для мелиорации почв и очистки сточных вод. Кроме того, этот продукт может использоваться после соответствующей переработки как сырье для получения серы и оксида железа.

2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

2.1. Тепловой расчет теплообменника

[1]

Тепловой расчет ведется по

Производительность 93,6 тонн/ч H_2SO_4

H_2SO_4 входит при давлении $P=1$ МПа при температуре $T_n = 78^{\circ}C$.

H_2SO_4 охлаждается до температуры $T_k = 50^{\circ}C$

Температура охлаждающей воды на входе $t_n = 21^{\circ}C$ на выходе $t_k = 48^{\circ}C$.

Дано:

$$P_{абс} := 1 \quad G_k := \frac{93.6 \cdot 1000}{3600} = 26 \quad \text{кг/с}$$

$T_n := 78$ температура серной кислоты на входе в теплообменник

$T_k := 50$ температура серной кислоты на выходе из теплообменника

$t_n := 21$ температура воды на входе в теплообменник

$t_k := 48$ температура воды на выходе из теплообменника

$c_{pк} := 1.34$ кДж/кгК удельная теплоемкость серной кислоты

[2]

2.1.1. Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости

Динамический коэффициент вязкости воды в зависимости от температуры:

$$T_{cp} := \frac{T_n + T_k}{2} = 64 \quad ^{\circ}C \quad t_{cp} := \frac{t_k + t_n}{2} = 34.5 \quad ^{\circ}C$$

$$v_{xt} := \begin{pmatrix} 34 \\ 35 \end{pmatrix} \quad v_{y\mu} := \begin{pmatrix} 0.7371 \\ 0.7225 \end{pmatrix}$$

[2]

$$\mu_B := \text{interp}(v_{xt}, v_{y\mu}, t_{cp}) = 0.7298 \quad \text{мПа}\cdot\text{с}$$

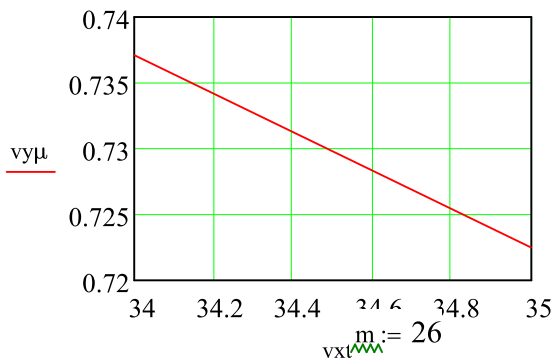


Рис. 2.1. График зависимости динамического коэффициента вязкости μ_B воды от t

Плотность воды в зависимости от температуры:

$$v_{xt} := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \end{pmatrix} \quad v_{yp} := \begin{pmatrix} 1000 \\ 998 \\ 992 \\ 983 \end{pmatrix}$$

$$\rho_B := \text{linterp}(v_{xt}, v_{yp}, t_{cp}) = 993.65 \text{ кг/м}^3$$

[2]

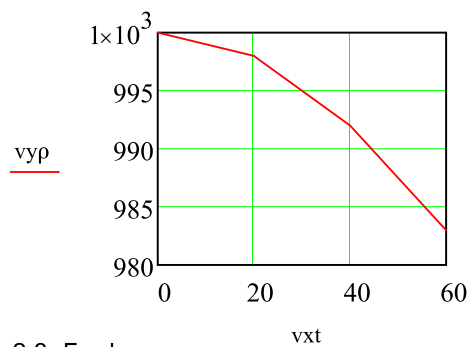


Рис. 2.3. График зависимости плотности ρ воды от t

Динамический коэффициент вязкости серной кислоты в зависимости от температуры:

$$v_{xT} := \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \end{pmatrix} \quad v_{y\mu} := \begin{pmatrix} 55 \\ 37 \\ 25.8 \\ 17.1 \\ 12.9 \\ 9.46 \\ 7.5 \\ 4.1 \\ \bar{\bar{}} \\ \bar{\bar{}} \\ \text{мПа}\cdot\text{с} \\ 2 \end{pmatrix}$$

[2]

$$\mu_K := \text{linterp}(v_{xT}, v_{y\mu}, T_{cp}) = 6.82$$

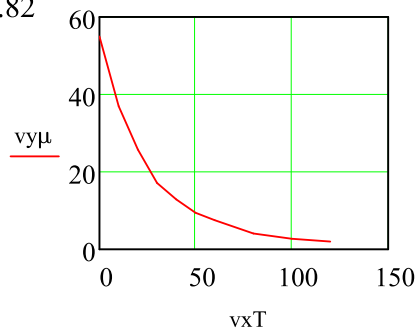


Рис.2.5.График зависимости μ серной кислоты от T

Плотность серной кислоты в зависимости от температуры:

$$v_{xT} := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \end{pmatrix} \quad v_{\rho} := \begin{pmatrix} 1857 \\ 1837 \\ 1817 \\ 1789 \\ 1779 \\ 1761 \\ 1742 \end{pmatrix}$$

[2]

$$\rho_K := \text{linterp}(v_{xT}, v_{\rho}, T_{cp}) = 1787$$

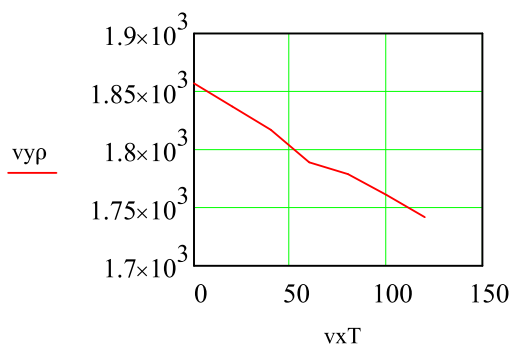


Рис.2.6.График зависимости ρ серной кислоты от T

Расчет теплоты охлаждения H_2SO_4 .

$$Q_{ох} := C_{pK} \cdot G_K \cdot (T_n - T_k) = 975.52 \quad \text{кДж/с}$$

$$Q_o := Q_{ох} = 975.52 \quad \text{кДж/с}$$

Расчет расхода воды:

$$C_{pB} := 4.18 \text{ кДж/кгК} \quad \text{удельная теплоемкость воды}$$

[2]

$$G_B := \frac{Q_o}{C_{pB} \cdot (t_k - t_n)} = 8.64363 \quad \text{кг/с}$$

2.1.2. Расчет движущей силы процесса теплообмена

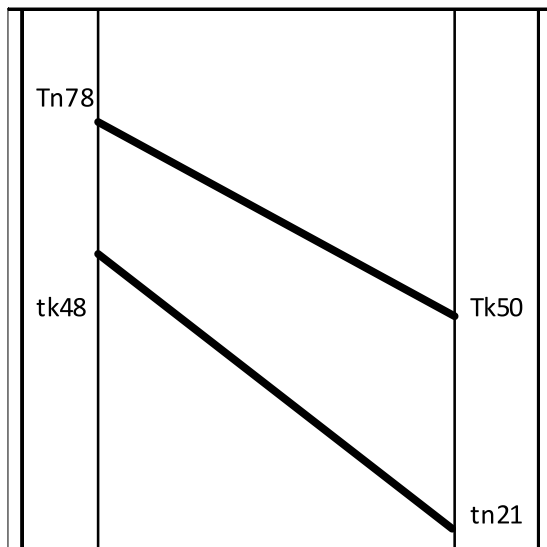


Рис.2.2. Температурный график процесса (противоток)

$$\Delta t_M := T_n - t_k = 30$$

$$\Delta t_G := T_k - t_n = 29$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}\right)} = 29.49717$$

2.1.3. Ориентировочный расчет поверхности теплообмена

Предварительно задаем коэффициент теплоотдачи. От жидкости к жидкости (вода) К лежит в диапазоне от 800-1700 кДж/м²*К, принимаем:

$$K_{min} := 800$$

$$K_{max} := 1700$$

кДж/м²*К

$$F_1 := \frac{Q_{ox} \cdot 1000}{\Delta t_{cp} \cdot K_{min}} = 41.33955$$

$$F_2 := \frac{Q_{ox} \cdot 1000}{\Delta t_{cp} \cdot K_{max}} = 19.45391$$

м²

$$F_{max} := F_1 = 41.33955 \text{ м}^2$$

2.1.4. Подбор теплообменника

Внутренний диаметр труб:

$$d_{BH} := 0.021 \text{ м}$$

Режим движения жидкости, предварительно принимаем число Рейнольдса:

$$\text{Re} := 12000$$

Требуемая скорость жидкости в трубе:

$$w_B := \frac{\text{Re} \cdot \mu_B \cdot 10^{-3}}{d_{BH} \cdot \rho_B} = 0.41969 \text{ м/с}$$

Объемный расход жидкости:

$$V_B := \frac{G_B}{\rho_B} = 0.0087 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

Требуемое число труб:

$$n := \frac{V_B}{0.785 \cdot w_B \cdot d_{BH}^2} = 59.87177$$

$$\text{Re} := 12000 \cdot \frac{60}{60} = 12000$$

2.1.5. Уточненный расчет поверхности теплообменника

$$\sigma_{CT} := 0.002 \quad \text{м} \quad \text{толщина стенок труб}$$

$$\lambda_{CT} := 46.5 \quad \text{Вт/м}^{\circ}\text{К} \quad \text{Коэффициент теплопроводности стенок труб}$$

$$r_{загр1} := 5800 \quad r_{загр2} := 5800$$

[1]

$$R := \frac{\sigma_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{r_{загр1}} + \frac{1}{r_{загр2}} = 0.00039$$

коэффициент зависящий от степени ассоциации жидкости:

для воды - $3.58 \cdot 10^{-8}$

$$A := 3.58 \cdot 10^{-8}$$

$$M_B := 18 \quad \text{кг/кмоль} \quad \text{молярная масса воды}$$

Коэффициент теплопроводности воды:

$$\lambda_B := A \cdot C_{pB} \cdot \rho_B \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_B}{M_B}} = 0.00057 \quad \text{кВт/м}^{\circ}\text{К}$$

значение поправочного коэффициента ϵ учитывающего влияние на коэффициент теплоотдачи отношения длины трубы L к ее диаметру d , приведены в таблице

Значение критерия Re	Отношение L/d				
	10	20	30	40	50 и более
$1 \cdot 10^4$	1,23	1,13	1,07	1,03	1
$2 \cdot 10^4$	1,18	1,10	1,05	1,02	1
$5 \cdot 10^4$	1,13	1,08	1,04	1,02	1
$1 \cdot 10^5$	1,10	1,06	1,03	1,02	1
$1 \cdot 10^6$	1,05	1,03	1,02	1,01	1

$$\epsilon_i := 1 \quad d_{BH} = 0.021 \text{ м} \quad \lambda_{\text{жк}} := 0.57 \text{ Вт/м*К} \quad \mu_B = 0.7298 \text{ мПа*с}$$

Определение критерия Прандтля:

$$Pr := c_{pB} \cdot \frac{\mu_B}{\lambda_B} = 5.35187$$

$$Pr_{CT} := 5.0315$$

Определения критерия Нуссельта:

$$Nu := 0.021 \cdot \epsilon_i \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0.25} = 80.44953$$

$$\alpha_1 := \frac{Nu \cdot \lambda_B}{d_{BH}} = 2183.63013$$

Коэффициент теплоотдачи для серной кислоты:

$$\lambda_K := 0.340$$

$$d := 0.025 \quad n = 59.87177$$

$$\alpha_2 := 3.78 \cdot \lambda_K \cdot \frac{\sqrt[3]{\rho_K^2 \cdot d \cdot n}}{\sqrt{\mu_K \cdot G_K \cdot 10^{-3}}} = 385.34986$$

$$K_{\text{жк}} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2}} = 290.62707$$

$$F_{\text{расч.}} := \frac{Q_{\text{ох}} \cdot 1000}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K} \quad F_{\text{расч}} := 102.7946 \quad \text{м}^2$$

2.2. Конструктивный расчет теплообменника

Исходя из заданной производительности аппарата и скорости движения жидкости по уравнению расхода определим площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_B}{w_B \cdot \rho_B} = 0.02073 \quad \text{м}^2 \quad [3]$$

Определяем количество трубок одного хода:

$$n := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_{\text{вн}}^2} = 59.87177 \quad [3]$$

Принимаем количество трубок равным:

$$n := 60$$

Расчетная длина 1-й трубки при одном ходе:

d_p расчетный диаметр стенки

$$d_H := 25 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

$$d_{\text{вн}} := 21 \cdot 10^{-3} \quad \text{м} \quad [3]$$

$$d_p := \frac{d_H + d_{\text{вн}}}{2} = 0.023 \quad \text{м}$$

$$L := \frac{F_{\text{расч}}}{d_H \cdot \pi \cdot n} = 21.81369 \quad \text{м} \quad [3]$$

Определение количества ходов:

l рабочая длина трубок:

$$l := 6 \quad \text{м}$$

$$z := \frac{L}{l} = 3.63562 \quad [3]$$

принимаем число ходов в теплообменнике z равное 4

[3]

$$z := 4$$

Определение общего числа трубок в теплообменнике:

$$n_{\text{общ}} := z \cdot n = 240$$

Определяем внутренний диаметр кожуха теплообменника:

Для многоходового:

$$\eta := 0.6$$

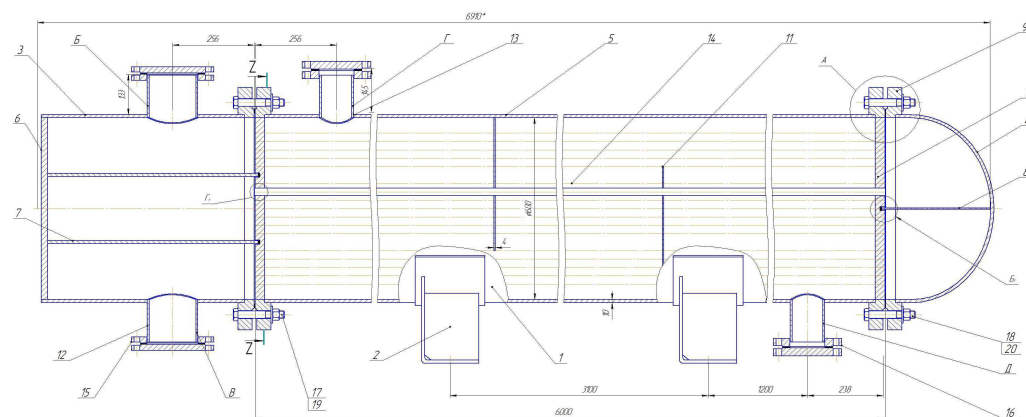
$$t := 1.2 \cdot 25 + 2 = 32 \quad \text{мм}$$

[3]

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 546.483 \quad \text{мм}$$

[3]

Исходя из полученных данных подберем теплообменник:



[4]

Рис. 2.7. "Горизонтальный теплообменник типа ТН с неподвижной трубной решеткой "

Теплообменник: ТН $D=600$, $L_1=6000$, $L=6940$, $l_0=3000$, $D_u=150$, $D_{u1}=100$, $H/2=530$, $h=525$, $A=520$, $l_2=1200$.

Внутренний диаметр аппарата: $D := 600$ мм;

Длина цилиндрической обечайки: $l_1 := 6000$ мм;

Крышка аппарата:

Диаметр крышки:

$D_{\text{кр}} := 600$ мм;

Высота отбортованной части крышки: $h_2 := 50$ мм;

Высота крышки: $H_k := 250 + h_2 = 300$ мм;

Длина аппарата :

$L := 6940$ мм;

[4]

Длина распределительной камеры:

$H_{\text{камеры}} := L - H_k - 1 = 640$ мм;

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя: $d_{\text{хол}} := 150$ мм;

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя: $d_{\text{гор}} := 100$ мм;

Рабочая температура холодного теплоносителя: $t_{\text{хол}} := 21$ °C;

Рабочая температура горячего теплоносителя: $t_{\text{гор}} := 78$ °C;

Выбор конструкционных материалов осуществляем с учетом рабочих температур, агрессивности сред. Выбираем сталь 10X17H13M2T

[17]

Основные характеристики стали определяем согласно [3]: допускаемое напряжение, предел текучести, модуль упругости.

Допускаемое напряжение материала стали 10X17H13M2T при температуре 20 градусов:

$\sigma_{Д20} := 184$ МПа.

[5]

Допускаемое напряжение стали ст10X17H13M2T при рабочей температуре холодного теплоносителя $t = 20$ °C:

$t_{\text{таб1}} := 20$ °C $\sigma_{\text{таб1}} := 184$ МПа; $\sigma_{t1} := 184$ МПа;

[5]

Допускаемое напряжение стали ст10X17H13M2T при рабочей температуре горячего теплоносителя $t = 78$ °C:

$t_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix}$ градусов $\sigma_{\text{таб2}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$ МПа;

$\sigma_{t2} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб2}}, \sigma_{\text{таб2}}, t_{\text{гор}}), 0.5) = 176.5$ МПа.

[5]

Диаметр труб аппарата: 25x2

Плотность рабочей среды:

$\rho_{\text{ср}} := 1785.1$ кг/м³;

[2]

Рабочее избыточное давление в трубном пространстве:

$P_{\text{тр}} := 0.5$ МПа;

Рабочее избыточное давление в межтрубном пространстве:

$P_{\text{мт}} := 0.3$ МПа.

Дополнительные параметры:

Коэффициент запаса устойчивости: $n_y := 2.4$ [5]

Вид сварного шва и способ сварки:

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковой доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу, длина контролируемых швов от общей длины 100% по табл. Д.1 ГОСТ Р 52857.1-2007 [5]

$\phi_p := 1$ - коэффициент прочности продольного сварного шва;

$\phi_T := 1$ - коэффициент прочности кольцевого сварного шва;

$\phi_k := 1$ - коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости.

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно : [6]

Скорость коррозии материала от действия заданной среды : [6]

$P := 0.1$ мм/год.

Срок эксплуатации аппарата:

$\tau := 10$ лет.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии : [6]

$c_1 := P \cdot \tau = 1$ мм.

Прибавка для компенсации минусового допуска : [6]

$c_2 := 0.2$ мм.

Технологическая прибавка : [6]

$c_3 := 0$ мм.

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.2$ мм. [6]

Расчет давлений:

Определить гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 градусов)

$\rho_{\text{вод}} := 998$ кг/м³. [2]

Плотность рабочей среды:

$\rho_{\text{жид}} := 1785.1$ кг/м³. [2]

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \text{ м/с}^2.$$

Высоту гидравлического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата:

$$H_{\text{гид}} := D = 600 \text{ мм.}$$

Давление гидравлического столба при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{гид1}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^9} = 0.00587 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Так как коэффициент заполнения аппарата при рабочем состоянии нам не известен, будем считать, что аппарат полностью заполнен (рассмотрим самые худшие условия которые могут быть).

Давление гидравлического столба при рабочих условиях:

$$P_{\text{гид2}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{ср}}}{10^9} = 0.0105 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Для дальнейшего расчета выберем максимально возможное гидравлическое давление которое может быть оказано на аппарат:

$$P_{\text{гид_мак}} := \max(P_{\text{гид1}}, P_{\text{гид2}}) = 0.0105 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{\text{рас1}} := (P_{\text{тр}} + P_{\text{гид_мак}}) = 0.5105 \text{ МПа.}$$

Давление при гидроиспытаниях :

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 0.66524 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Условное давление: (для горячего теплоносителя)

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 0.53219 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас2}} := (P_{\text{мт}} + P_{\text{гид_мак}}) = 0.3105 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т1}}} = 0.38812 \text{ МПа.} \quad [7]$$

Условное давление: (межтрубного пространства)

$$P_{\text{усл}2} := P_{\text{рас}2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{t1}} = 0.3105 \text{ МПа.}$$

2.3. Механический расчет

2.3.1. Определение температурных деформаций в корпусе теплообменника (необходимо для поверочного расчета элементов теплообменного аппарата)

Находим поперечное сечение всех труб и корпуса:

$$D_{\text{H}} := 0.610 \text{ м}$$

$$D := 0.6 \text{ м}$$

$$F_{\text{k}} := 0.785 \cdot (D_{\text{H}}^2 - D^2) = 0.0095 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{вн}} := 0.025 \text{ м}$$

$$d_{\text{вн}} := 0.021 \text{ м}$$

$$F_{\text{тр}} := 0.785 \cdot (d_{\text{H}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot 220 = 0.03178 \text{ м}^2$$

Находим температурные усилия:

коэффициент линейного расширения металла

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{C}^0$$

модуль упругости

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$Q_t := \frac{(\alpha \cdot T_{\text{ср}} - \alpha \cdot t_{\text{ср}}) \cdot E \cdot F_{\text{тр}} \cdot E \cdot F_{\text{k}}}{E \cdot F_{\text{тр}} + E \cdot F_{\text{k}}} = 0.76992$$

Определение температурных напряжений

$$\sigma_{\text{труб}} := \frac{Q_t}{F_{\text{тр}}} = 24.22888 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{корп.}} := \frac{Q_t}{F_{\text{k}}} = 81.05662 \text{ МПа}$$

Из полученных данных можно сделать вывод, что допускаемое напряжение намного больше температурных напряжений, в дальнейших расчетах будем рассматривать конструкцию теплообменника тип ТН.

2.3.2. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением

Определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t2}} - P_{рас2}}{D} \right), \left(\frac{P_{и2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20}} - P_{и2}}{D} \right) \right) = 0.00063 \quad \text{мм} \quad [6]$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 1.20063 \quad \text{мм} \quad [6]$$

Принимаем толщину для цилиндрических аппаратов: из ряда стандартных толщин ГОСТ 19903-74

$$s_1 := 5 \quad \text{мм} \quad c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.2 \quad \text{мм} \quad D := 600 \quad \text{мм} \quad [8]$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} \quad [6]$$

Пров₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.316 \quad \text{МПа} \quad [6]$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_{и2} \end{cases} \quad [6]$$

Пров₂ = "Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"

2.3.3. Расчет толщины стенки распределительной камеры

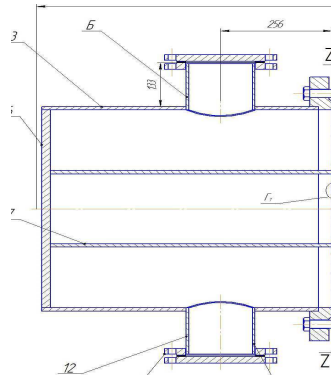


Рисунок 2.8. Распределительная камера кожухотрубчатого теплообменника

Расчетная толщина стенки распределительной камеры при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{рас1} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - P_{рас1}} \right), \left(\frac{P_{и1} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{D20} - P_{и1}} \right) \right) = 1.08659 \quad \text{мм} \quad [6]$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 2.28659 \quad \text{мм} \quad [6]$$

Принимаем толщину для цилиндрических аппаратов: из ряда стандартных толщин ГОСТ 19903-74 [8]

$$s_2 := 5 \quad \text{мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \end{cases} \quad [6]$$

Пров₃ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допустимого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{D20} \cdot \phi_p \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 2.316 \quad \text{МПа.} \quad [6]$$

Проверка условия прочности стенок цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для распределительной камеры выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₄ = "Условие прочности стенки для распределительной камеры выполняется"

Толщина перегородки распределительной камеры:

$$s_{\text{толщина_перегородки}} := s_2 = 5 \quad \text{мм.}$$

$$H_{\text{камеры}} := L - H_K - 1 = 640 \quad \text{мм.}$$

2.3.4. Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата

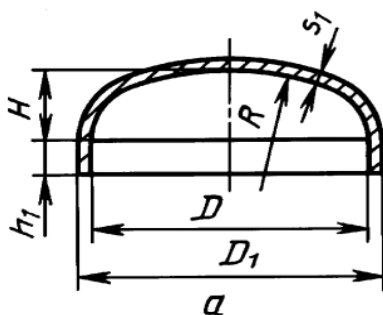


Рис.2.9. Эскиз крышки эллиптической отбортованной стальной

Основные конструктивные параметры эллиптической крышки определяем согласно :

[6]

Диаметр днища:

$$D_{\text{дн}} := 600 \quad \text{мм.}$$

Высота отбортованной части днища:

$$h_1 := 50 \quad \text{мм.}$$

Высота днища:

$$H_{\text{д}} := 250 + h_1 = 300 \text{ мм.}$$

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических оболочек)

$$D := 600 \quad \text{мм}$$

$$R := D = 600 \quad \text{мм.}$$

Расчет толщины стенки днища (крышки) под действием внутреннего давления:

25

$$s_{p3} := \max \left(\left(\begin{array}{l} P_{pac1} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - 0.5 \cdot P_{pac1}} \\ P_{и1} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20} - 0.5 \cdot P_{и1}} \end{array} \right) \right) = 1.08561 \quad \text{мм.} \quad [6]$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и3} := s_{p3} + c = 2.28561 \quad \text{мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину днища (крышки) :

$$s_3 := 5 \quad \text{мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

[6]

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \left| \begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{s_3}{D} \\ 0.2 \leq \frac{H_{д}}{D} \leq (\end{array} \right. \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₅ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_3 - c)}{R + (s_3 - c)} = 2.316 \quad \text{МПа.} \quad [6]$$

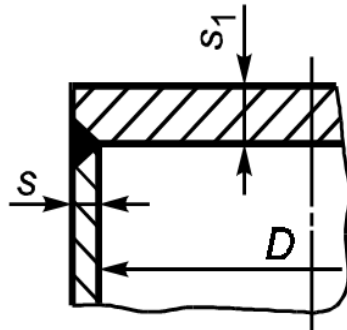
Проверка условия прочности стенки днища (крышки):

$$\text{Пров}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"} & \text{if } P_{д3} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д3} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₆ = "Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"

2.3.5. Расчет плоской крышки [6]

$$K := 0.45$$



[6]

Рис. 2.10. Эскиз констукции плоской крышки теплообменника.

Нахождение расчётной и исполнительной толщины стенки плоского круглого днища

Коэффициент К в зависимости от конструкции днищ и крышек определяется по таблице 4 выбирается из ГОСТ :

[6]

т.к. в крышке нет отверстий принимаем d1 и d2 равным 0:

$$d1 := 0 \quad d2 := d1$$

$$K_0 := \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{d1 + d2}{D}\right)^3}{1 - \left(\frac{d1 + d2}{D}\right)}}$$

[6]

$$K_0 = 1$$

Расчет исполнительной толщины плоской крышки

$$s_p := K \cdot K_0 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{рас2}}{(\phi_T) \cdot \sigma_{t1}}} = 11.09132 \text{ мм}$$

[6]

$$s_{кр} := \text{Ceil}(s_p + c, 1) = 13 \text{ мм}$$

Принимаем толщину плоской крышки:

$$s_{кр} := 20 \text{ мм}$$

27

Плоское круглое днище проверяем на условие закрепления согласно ГОСТ :

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие закрепления днища выполняется"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{s_{кр} - c} < 0.5 \\ \text{"Условие закрепления днища НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U_{sl} = "Условие закрепления днища выполняется"

Проверочный расчёт элементов корпуса от действия внутреннего давления:

Для плоского круглого днища в рабочем состоянии величина допускаемого давления:

$$P_{д2} := \left(\frac{s_{кр} - c}{K \cdot K_0 \cdot D} \right)^2 \sigma_{t1} \cdot (\phi_T) = 0.89208 \text{ МПа}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{рас2} \leq P_{д2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U_{sl} = "Условие прочности выполняется"

При гидравлических испытаниях:

Для плоского круглого днища:

$$P_{и2} := \left(\frac{s_{кр} - c}{K \cdot K_0 \cdot D} \right)^2 \sigma_{Д20} \cdot (\phi_T) = 0.89208 \text{ МПа}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{рас2} \leq P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U_{sl} = "Условие прочности выполняется"

2.3.6. Расчет штуцеров для аппарата

Штуцера горячего теплоносителя:

Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров

Для серной кислоты принимаем: $\omega_{шт} := 2 \text{ м/с}$

$$d_{вншт} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{шт} \cdot \rho_{ср}}} = 0.09629 \text{ м}$$

Принимаем $d_{\text{вн}}$ штуцера горячего теплоносителя равным:

$$d_{\text{вн}} := 0.1 \text{ м}$$

Истинная скорость течения горячего теплоносителя:

$$\omega := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot d_{\text{вншт}}^2} = 1.85447 \text{ м/с}$$

Штуцера холодного теплоносителя:

Для воды принимаем $\omega := 2.5 \text{ м/с}$

$$d_{\text{вн}} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{\text{шт}} \cdot \rho_{\text{вод}}}} = 0.11519 \text{ м}$$

Принимаем $d_{\text{вн}}$ штуцера холодного теплоносителя равным:

$$d_{\text{вн}} := 0.15 \text{ м}$$

$$\omega := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot d_{\text{вншт}}^2} = 1.47425 \text{ м/с}$$

2.3.7. Расчет фланцевого соединения

Расчет проведен по программе разработанной на кафедре ОХТ НИ ТПУ по ГОСТ Р 52857.4-2007

Исходные данные для расчета:

Материал обечаек и фланцев - сталь 10Х17Н13М2Т

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПК кислотостойкий.

$D := 600 \text{ мм}$; Внутренний диаметр фланца

$D := 780 \text{ мм}$; Наружный диаметр фланца

$t_{\text{гор}} := 78 \text{ } ^\circ\text{C}$. Рабочая температура

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t := t_{\text{гор}} \cdot 0.96 = 74.88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта:

$$\sigma_b := 230 \text{ МПа};$$

$h_{II} := 3$ мм; Толщина прокладки
 $d := 24$ мм; Диаметр болта (рекомендуемый)
 $b_{II} := 25$ мм; Ширина прокладки
 $S_0 := 10$ мм; Толщина втулки фланцев
 $h := 36$ мм; Толщина тарелки фланца
 $D_6 := 725$ мм; Диаметр окружности расположения болтов
 $D_{сII} := 630$ мм; Расчетный диаметр прокладки
 $F := 1.903 \times 10^5$ Н; Внешняя осевая сила

$M := 0$ Н*мм; Внешний изгибающий момент
 $c_0 := 1$ мм; Прибавка на коррозию
 $n := 20$ шт; Количество болтов

Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа

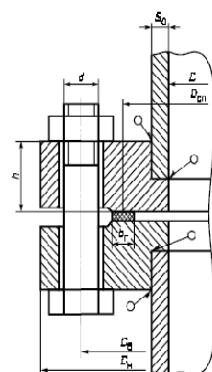


Рис.2.11."Фланцевые соединения с плоскими фланцами, с гладкой уплотнительной поверхностью"

Выбор крепежных элементов:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix} \quad [5]$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma = 230 \text{ МПа.}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката

$$\eta_{\text{лв}} := 1 \quad [5]$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф}} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 10X17H13M2T при рабочей температуре:

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

Допускаемое напряжение для стали 35X при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_{20} := 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 230 \text{ МПа.} \quad [5]$$

Модуль упругости для стали 35X при температуре испытания $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{20} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа} \quad [5]$$

Коэффициент линейного расширения стали 35X при $t = 20 - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_{\phi} := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К.} \quad [10]$$

2.3.7.2. Определение эффективной ширины плоской прокладки

$$b_{\text{лв}} := 12 \text{ мм.}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\text{лв}} & \text{if } b_{\text{лв}} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\text{лв}}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

$$b_0 = 12 \text{ мм.}$$

Таблица 1, характеристики основных типов прокладок.

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент m	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия $K_{обж}$	Условный модуль сжатия прокладки $E_n \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из: резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20,0 ¹⁾	130,0	0,90	0,02

По таблице 1, выбираем характеристики прокладки изготовленной из стали паронита:

$m := 2.5$ Прокладочный коэффициент

$q_{обж} := 20$ МПа; Удельный коэффициент обжатия прокладки

$q_d := 130$ МПа; Допускаемое удельное давление

[10]

$K_{обж} := 0.9$ Коэффициент обжатия

$E_n := 0.02 \cdot 10^5$ МПа. Условный модуль сжатия прокладки

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5 \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad P_{обж} = 2.37504 \times 10^5 \text{ Н};$$

[10]

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

$$R_{II} := \begin{cases} \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{II1} & \text{if } P_{II1} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

[10]

$$R_{II} = 39499.12515 \quad \text{Н};$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек):

$$f_{\bar{\sigma}} := 324 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\bar{\sigma}} := n \cdot f_{\bar{\sigma}} \quad A_{\bar{\sigma}} = 6480 \text{ мм}^2. \quad [10]$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P_{\text{н1}} \quad Q_{\text{д}} = 2.0737 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad [10]$$

$$Q_{\text{FM}} = 1.903 \times 10^5 \text{ Н.}$$

2.3.7.3. Определение податливости прокладки

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad y_{\text{п}} = 5.68411 \times 10^{-8} \text{ мм/Н.} \quad [10]$$

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

$$L_{\bar{\sigma}0} := 82 \text{ мм.}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\bar{\sigma}} := \begin{cases} L_{\bar{\sigma}0} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{\bar{\sigma}0} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_{\bar{\sigma}} = 88.72 \text{ мм.} \quad [10]$$

Податливость болтов:

$$y_{\bar{\sigma}} := \frac{L_{\bar{\sigma}}}{E_{20\sigma} \cdot A_{\bar{\sigma}}} \quad y_{\bar{\sigma}} = 6.39783 \times 10^{-8} \text{ мм/Н.} \quad [10]$$

2.3.7.4. Определение расчетных параметров фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 77.45967 \text{ мм.} \quad [10]$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.3 \quad [10]$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

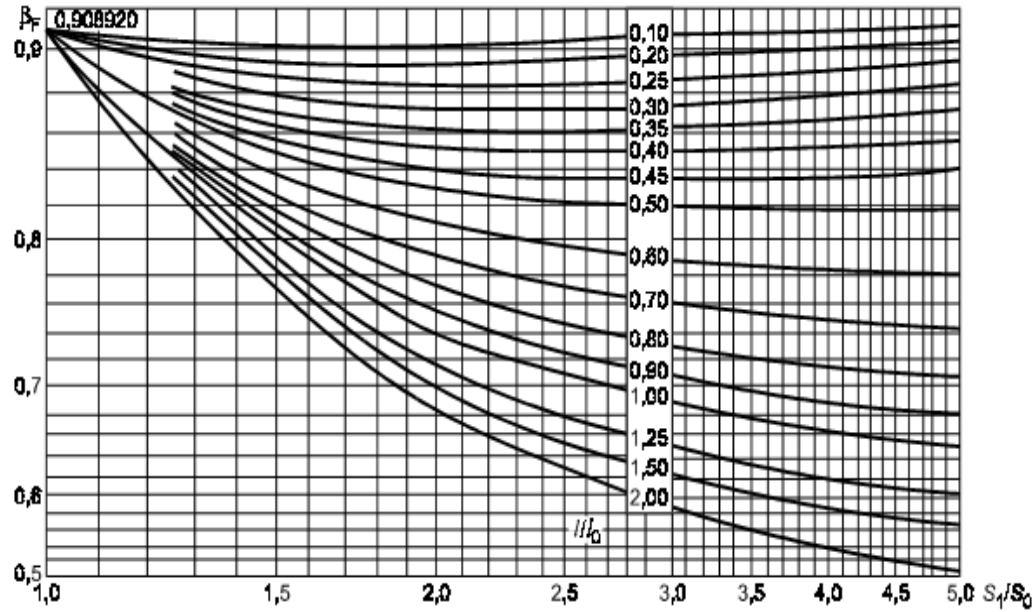
$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.79571 \quad [10]$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 8.29932 \quad [10]$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 7.6211 \quad [10]$$

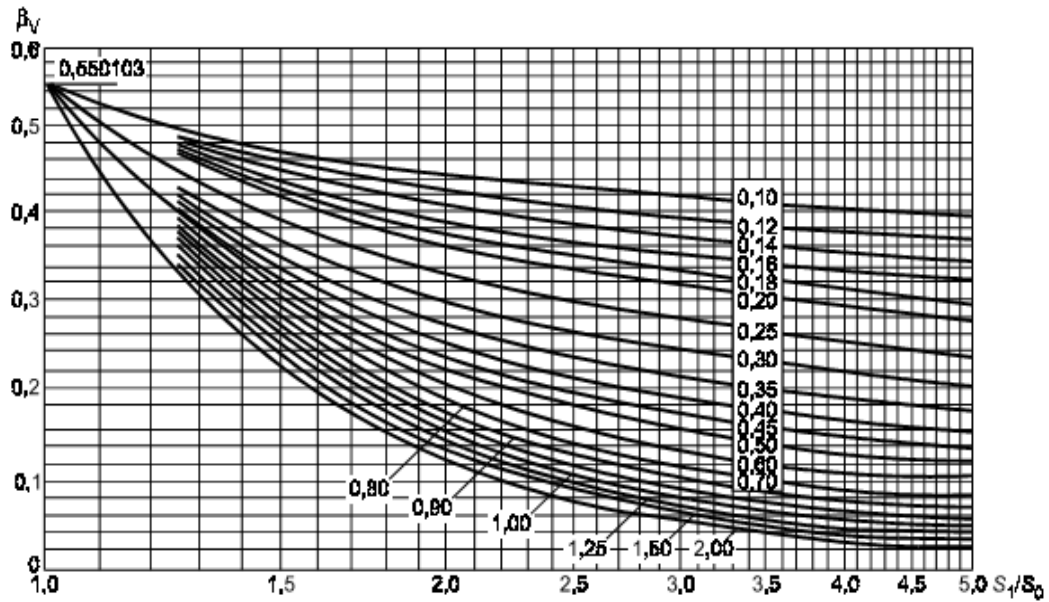
$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.89855 \quad [10]$$

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



[10]

Рис.2.12. К определению коэффициента β_F .



[10]

Рис.2.13. К определению коэффициента β_V .

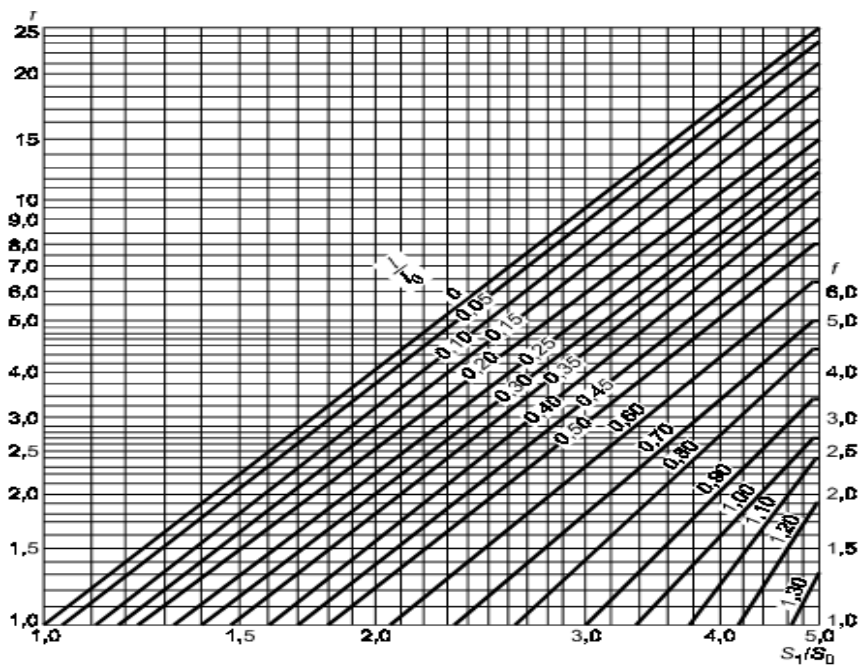


Рис.2.14. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца .

[10]

Из рисунка 2.12,2.13 ,2.14 определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

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

[10]

1.28. Коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 1.19157$$

[10]

2.3.7.5. Определение угловая податливости фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}$$

$$y_\phi = 2.53393 \times 10^{-10} \text{ 1/Н*мм.}$$

[10]

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\text{фн}} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\text{б}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{н}}} \quad [10]$$

$$y_{\text{фн}} = 4.51016 \times 10^{-11} \text{ 1/Н*мм.}$$

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

$$C_{\text{F}} := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_{\text{F}} = 1 \quad [10]$$

Приведенный диаметр плоского фланца: $D_{\text{пр}} := D \text{ мм.}$

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

$$b := 0.5(D_{\text{б}} - D_{\text{сп}}) \quad [10]$$

$$b = 47.5$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad [10]$$

$$e = 10 \text{ мм.}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_{\text{э}} := S_0 \quad [10]$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{20\text{б}}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad [10]$$

$$\gamma = 7.93939 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} \quad [10]$$

$$\alpha = 1.14545$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.90341 \quad [10]$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20) \right] \quad [10]$$

$$Q_t = 6309.32955 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{б1}} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right] \quad [10]$$

$$P_{\text{б1}} = 4.9501 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 2.37504 \times 10^5 \quad \text{Н;} \quad [10]$$

$$P_{\text{б2}} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20\text{б}}) \quad [10]$$

$$P_{\text{б2}} = 5.9616 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{бМ}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) \quad [10]$$

$$P_{\text{бМ}} = 5.9616 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \quad [10]$$

$$P_{\text{бр}} = 5.44629 \times 10^5 \text{ Н.}$$

2.3.7.6. Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа.} \quad [10]$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б2}} = 84.04773 \text{ МПа.} \quad [10]$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа; } \sigma_{\text{д.б}} = 230 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{206} = 230 \text{ МПа; } \sigma_{\text{б2}} = 84.04773 \text{ МПа.}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 25.10101 \text{ МПа.} \quad [10]$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_{\text{д}} \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 25.10101 \text{ МПа. } q_d = 130 \text{ МПа.}$$

2.3.7.7. Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\text{бМ}} \cdot b \quad M_M = 2.83176 \times 10^7 \text{ Н*мм.} \quad [10]$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{\text{бр}} \cdot b + (Q_d + Q_{\text{FM}}) \cdot e, |Q_d + Q_{\text{FM}}| \cdot e] \quad [10]$$

$$M_p = 2.98466 \times 10^7 \text{ Н*мм.}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad [10]$$

$$\sigma_{0M} = 488.99071 \text{ МПа.}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 47.7529 \text{ МПа.} \quad [10]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 91.36796 \text{ МПа.} \quad [10]$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой

втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0p} = 515.39352 \text{ МПа.} \quad [10]$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0\text{MP}} := \max \left[\frac{Q_{\text{д}} + F + \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_{\text{д}} + F - \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad [10]$$

$$\sigma_{0\text{MP}} = 23.05691 \text{ МПа.}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{Rp}} := \frac{1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{\text{Rp}} = 50.33129 \text{ МПа} \quad [10]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{\text{Tp}} := \frac{\beta_{\text{Y}} \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_{\text{Z}} \cdot \sigma_{\text{Rp}} \quad \sigma_{\text{Tp}} = 96.30132 \text{ МПа.} \quad [10]$$

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 $K_T = 1$.

$$K_T := 1.3$$

$$U_{\text{sl_3}} := \begin{cases} \text{PR_1} & \text{if } \max(|\sigma_{0\text{M}} + \sigma_{\text{RM}}|, |\sigma_{0\text{M}} + \sigma_{\text{TM}}|) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{20} \\ \text{PR_2} & \text{if } \max \left(\left(\left(|\sigma_{0\text{p}} - \sigma_{0\text{MP}} + \sigma_{\text{Tp}}| \right) \right), \left(\left(|\sigma_{0\text{p}} - \sigma_{0\text{MP}} + \sigma_{\text{Rp}}| \right) \right), \left(|\sigma_{0\text{p}} + \sigma_{0\text{MP}}| \right) \right) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{\text{д.ф}} \\ \text{PR_3} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 580.35866 \text{ МПа}; \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 299 \text{ МПа};$$

$$\max \left(\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \end{array} \right) = 588.63794 \text{ МПа}; \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 299 \text{ МПа}.$$

2.3.7.8. Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta_{д} := 0.013 \quad \text{допускаемый угол поворота приварного встык фланца} \quad [10]$$

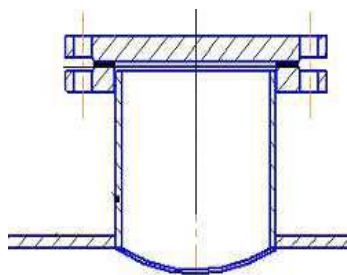
$$\Theta := M_p \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 0.00753 \quad [10]$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_{д} \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_{д} \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

2.3.8. Патрубки в обечайке и распределительной камере



[11]

Рис.1.15. Расчетная схема для штуцера

2.3.8.1. Расчет патрубков для штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя: $d_{\text{хол}} = 150$ мм;

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя: $d_{\text{гор}} = 100$ мм.

Материал для патрубков назначаем конструктивно: ст10Х17Н13М2Т (корпус аппарата изготовлен из такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии)

Рабочая температура холодного теплоносителя: $t_{\text{холод}} := 21$ °C

Рабочая температура горячего теплоносителя: $t_{\text{гор}} := 78$ °C

Длину патрубка назначаем конструктивно (чтобы было легко монтировать аппарат, и не было трудностей при его транспортировке)

Длина патрубка для горячего теплоносителя: $l_{\text{гор}} := 150$ мм;

Длина патрубка для холодного теплоносителя: $l_{\text{хол}} := 150$ мм.

Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p4} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1}} - P_{\text{рас1}}}{P_{\text{и1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{D20}} - P_{\text{и1}}} \right) \right) = 0.27165 \text{ мм.} \quad [6]$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 1.47165 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину патрубка:

Труба 159х6-ст10Х17Н13М2Т

[12]

$$s_4 := 6 \text{ мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

[12]

$$\text{Пров}_7 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_4 - c}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_4 - c}{d_{\text{хол}}} > 0.1 \end{cases}$$

Пров₇ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_4 - c)}{d_{хол} + (s_4 - c)} = 11.41085 \text{ МПа.} \quad [4]$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_8 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для патрубка холодного тепл. выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д4} < P_{и2} \end{cases}$$

Пров₈ = "Условие прочности стенки для патрубка холодного тепл. выполняется"

Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя, согласно:

$$s_{p5} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot \frac{d_{гор}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t2}} - P_{рас2}}{P_{и2} \cdot \frac{d_{гор}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20}} - P_{и2}} \right) \right) = 0.10558 \text{ мм.} \quad [6]$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 1.30558 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину патрубка:

Труба 109х6-ст10Х17Н13М2Т

[12]

$$s_5 := 6 \text{ мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_{11} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_5 - c}{d_{гор}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_5 - c}{d_{гор}} > 0.1 \end{cases}$$

Пров₁₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_5 - c)}{d_{гор} + (s_5 - c)} = 16.85496 \text{ МПа.} \quad [4]$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_{12} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка горячего теплоносителя выполняется"} & \text{if } P_{д5} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д5} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₁₂ = "Условие прочности стенки патрубка горячего теплоносителя выполняется"

2.3.8.2. Расчет укрепления отверстия при внутреннем давлении [11]

$$D_p := D = 600 \quad \text{мм.}$$

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

$$d_{\text{хол}} := d_{\text{хол}} + 2 \cdot c = 152.4 \quad \text{мм.}$$

$$d_{\text{гор}} := d_{\text{гор}} + 2 \cdot c = 102.4 \quad \text{мм.}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{1\text{хол}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{хол}} + 2 \cdot c) \cdot (s_4 - c)} = 33.80828 \text{ мм;} \quad [11]$$

$$l_{1\text{гор}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{гор}} + 2 \cdot c) \cdot (s_5 - c)} = 27.71284 \text{ мм.} \quad [11]$$

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

$$d_{0\text{хол}} := 2 \cdot \left(\frac{s_4 - c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_4 - c)} = 1810.67692 \quad \text{мм;} \quad [11]$$

$$d_{0\text{гор}} := 2 \cdot \left(\frac{s_5 - c}{s_{p5}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_5 - c)} = 4793.80495 \quad \text{мм.} \quad [11]$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров холодного теплоносителя:

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплонос. не требуется"} & \text{if } d_{\text{рх}} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплоносителя необходим"} & \text{ot} \end{cases}$$

Расч_{отв1} = "Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплонос. не требуется"

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров горячего теплоносителя:

[11]

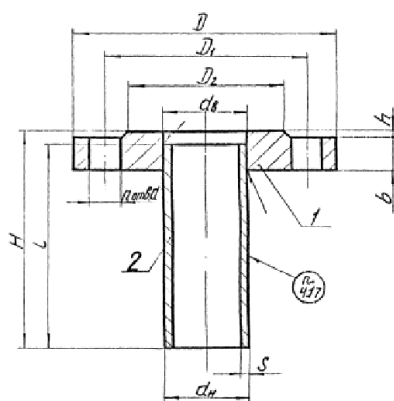
$$\text{Расч}_{\text{отв2}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теп. не требуется"} & \text{if } d_{\text{проп}} < d_{0\text{го}} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя необходим"} & \text{other} \end{cases}$$

Расч_{отв2} = "Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теп. не требуется"

2.3.8.3. Подбор стандартных штуцеров для аппарата

Штуцера горячего теплоносителя:

Подбор стандартных штуцеров осуществляем исходя из давления и принятой толщины патрубков, диаметра условного прохода.



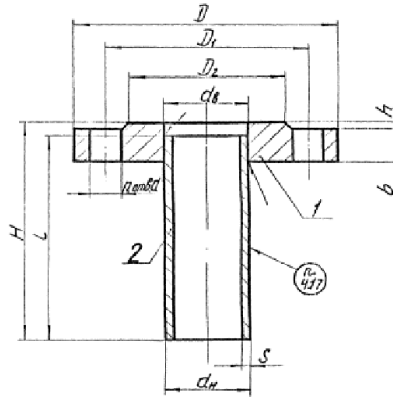
[13]

Рис.2.16.Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа

Таблица 2 Основные размеры штуцеров горячего теплоносителя.

D_y	d_o	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	$d_{\text{н}}$	S	Масса, кг
100	110	215	180	158	23	3	18	8	160	145	108	6	7,1

Штуцера холодного теплоносителя:



[13]

Рис.2.17. Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа

Таблица 3 Основные размеры штуцеров холодного теплоносителя.

D_y	d_8	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	$d_{н}$	S	Масса, кг
150	161	260	225	202	17	3	18	8	150	133	159	6	9,2

2.3.9. Поверочный расчет теплообменника ТН по ГОСТ 52857-2007

2.3.9.1. Расчет трубной решетки

Принимаем длину труб аппарата равной 6 метрам согласно
Поскольку в исходных данных не были указаны параметры для расчета конструктивных размеров аппарата, а именно длины труб, площади поперечного сечения, число труб в аппарате. Задаемся сами этими параметрами, исходя из конструктивных соображений.

[4],[14]

$l_{\text{труб}} := 6000 \text{ мм.}$

Число труб:

$n_{\text{тр}} := 240 \text{ труб}$

Для трубной решетки используем материал Сталь 10X17Н13М2Т

Допускаемое напряжение трубной решетки:

$\sigma_{\text{реш}} := 184 \text{ МПа.}$

[5]

Модуль упругости:

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

[5]

Для труб используется материал: Сталь 10X17H13M2T

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{градусов} \quad \sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix} \text{ МПа} \quad [5]$$

$$\sigma_{\text{тр120}} := \text{Floor}\left(\text{interp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{хол}}), 0.5\right) = 183.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{тр120}} := 1.01 \cdot 10^5 \text{ Па} \quad [5]$$

Внутренний диаметр аппарата: $D := 600 \text{ мм};$

Диаметр трубы внутренний: $d_{\text{тр}} := 21 \text{ мм};$

Толщина стенки трубы: $s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм};$

Диаметр трубы наружный: $d_{\text{нр}} := 25 \text{ мм};$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 300 \text{ мм.}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 579 \quad [14]$$

Расчет трубной решетки: согласно [15]

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 0.51813 \quad [15]$$

Шаг расположения труб, располагаются по равнобедренному треугольнику:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нр}} + 2 = 32 \text{ мм.} \quad [15]$$

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_p := \frac{t - 21}{t} = 0.34375 \quad [15]$$

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{и2}}}{\sigma_{\text{реш}} \cdot \phi_p}} + c = 11.20015 \text{ мм.} \quad [15]$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_{\text{тр}} := 25 \text{ мм.}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:
- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_{\text{м}} := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.88814 \quad [15]$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_{\text{т}} := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.92107 \quad [15]$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.
Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_{\text{у}} := \frac{E_{\text{тр}} \cdot 120 \cdot (\eta_{\text{т}} - \eta_{\text{м}})}{l_{\text{труб}}} = 0.55435 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3} \quad [15]$$

Модуль упругости кожуха при температуре 78 градусов:

$$E_{\text{кож}} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа.} \quad [5]$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_{\text{у}} \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 1.79144 \quad [15]$$

2.3.9.2. Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками $K_{\text{р1}} = K_{\text{q1}} = 0$

$$K_{\text{q1}} := 0 \quad K_{\text{р1}} := 0 \quad [15]$$

K_{q} - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы;

$$K_{\text{q}} := 1 + K_{\text{р1}} = 1 \quad [15]$$

$K_{\text{р}}$ - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии давления:

$$K_{\text{р}} := 1 + K_{\text{q1}} = 1 \quad [15]$$

Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$s_p := 25 \quad \text{толщина трубной решетки, мм.}$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

$$\eta_T = 0.92107$$

Таблица 4 Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

η_T	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
ψ_0	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.85 \end{pmatrix} \quad \psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0.59 \\ 0.68 \end{pmatrix} \quad [15]$$

Коэффициент прочности перфорированной трубы

$$\psi_0 := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}, (\eta_T) \right], 0.005 \right] = 0.805$$

$$E_p := 2 \cdot 10^5 \quad \text{модуль продольной упругости материала трубной решетки, МПа}$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{реш}}} = 0.00689 \quad [15]$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 3.98733 \quad [15]$$

2.3.9.3. Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

K_ϕ - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н*мм;

$$K_\phi := 1 \quad \text{Н*мм.} \quad [15]$$

- Максимальное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{мак1}} := 0.67 \text{ МПа.}$$

- Максимальное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{мак2}} := 0.63 \text{ МПа.}$$

R1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} + \frac{D}{2} = 345 \text{ мм.} \quad [15]$$

m_{cp} — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{n_{тр} \cdot (d_{нр} - 2 \cdot s_{тр})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.01184 \quad [15]$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6} \quad \text{коэффициент линейного расширения кожуха,} \\ \text{ГОСТ P52857.1-2007 таблица Г.1, 1/С}$$

$$\alpha_T := \alpha_K \quad \text{так как материал идентичен}$$

$$p_0 := [\alpha_K \cdot (t_{гор} - 20) - \alpha_T \cdot (t_{хол} - 20)] \cdot K_y \cdot l + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \rho \cdot K_q)] \cdot P_{и2} - \\ - [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \rho \cdot K_p)] \cdot P_{мак1}$$

$$p_0 := 2.53036 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 5.88513 \times 10^6 \quad [15]$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 определяют по таблице 5.

Таблица 5 Коэффициенты Φ_1 , Φ_2 , Φ_3

ω	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Φ_1	2	2,0	2,06	2,28	2,79	3,58	4,5	5,39
Φ_2	0	0,02	0,19	0,62	1,32	2,16	2,94	3,59
Φ_3	0	0,19	0,76	1,65	2,75	3,76	4,65	5,36

ω	4	5	6	7	8	9	10	> 10
Φ_1	6,19	7,65	9,08	10,51	11,94	13,36	14,78	$\sqrt{2\omega}$
Φ_2	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,2	10,21	ω
Φ_3	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,5	$\sqrt{2\omega}$

безразмерный параметр системы решетка - трубы.

$$\omega = 3.98733$$

$$\omega_{-1} := \begin{pmatrix} 3.6 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{1_таб} := \begin{pmatrix} 5.39 \\ 6.18 \end{pmatrix} \quad [15]$$

$$\Phi_1 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-1}, \Phi_{1_таб}, \omega), 0.05) = 6.15$$

$$\omega_{-2} := \begin{pmatrix} 3.6 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{2_таб} := \begin{pmatrix} 3.59 \\ 4.13 \end{pmatrix} \quad [15]$$

$$\Phi_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-2}, \Phi_{2_таб}, \omega), 0.05) = 4.1$$

$$\omega_{-3} := \begin{pmatrix} 3.6 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{3_таб} := \begin{pmatrix} 5.36 \\ 6.0 \end{pmatrix} \quad [15]$$

$$\Phi_3 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-3}, \Phi_{3_таб}, \omega), 0.05) = 5.95$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляются по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = -1.6899$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 2.15751 \quad [15]$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = -6.92858$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 3.0829$$

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

- для изгибающего момента:

s_{1k} - толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм

$$s_{1k} := 5 \quad \text{мм} \quad s_{2k} := 4 \quad \text{мм.}$$

β_1 - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм;

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.03357 \quad 1/\text{мм.} \quad [15]$$

β_2 - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.03753 \quad 1/\text{мм.} \quad [15]$$

h_1 - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_1 := 50 \quad \text{мм.}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 2377.18294 \quad [15]$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 2042.40595 \quad [15]$$

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) = 24631.77321 \text{ Па.} \quad [15]$$

расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{мак2}} = 0.63 \text{ МПа.}$$

$$M_{\text{II}} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 351.96032 \text{ Н*мм.} \quad [15]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\text{II}} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 375.2565 \text{ Н.} \quad [15]$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\text{II}} + (a - a_1) \cdot Q_{\text{II}} = -1.04345 \times 10^5 \text{ Н*мм.} \quad [15]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_n \cdot Q_{\text{II}} = 194.43342 \text{ Н.} \quad [15]$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляются по формулам:

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = -9.7338 \times 10^6 \text{ Н.} \quad [15]$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 21 \text{ мм.} \quad [15]$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 9628.19609 \text{ мм}^4.$$

приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу, мм;

$l_{\text{пр}}$ — вычисляются по формулам.

$$l_{\text{пр}} := l_{\text{труб}} = 6000 \text{ мм}$$

$$i := s_p \quad [15]$$

$$M_T := \frac{E_{\text{тр}} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -12095.72102$$

Усилия в кожухе вычисляются по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{и2}} - Q_{\text{п}} = -317.03842 \text{ Н.} \quad [15]$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{\text{п}} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{\text{п}}) - \frac{P_{\text{мак1}}}{2 \cdot \beta_1^2} = -2.10441 \times 10^5 \text{ Н*мм.} \quad [15]$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F_{\text{мм}} := \pi \cdot D \cdot Q_K = -5.97603 \times 10^5 \text{ Н.} \quad [15]$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

D_H - наружный диаметр фланца; $D_H = 780$ мм.

s_p - толщина трубной решетки; $s_p = 25$ мм.

$s_{1p} := s_p = 25$ мм.

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 90 \text{ мм.} \quad [15]$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 45 \text{ мм.} \quad [15]$$

2.3.9.4. Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{II}|}{(s_{1p} - c)^2} = 3.72813 \text{ МПа.} \quad [15]$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c} = 15.76708 \text{ МПа.} \quad [15]$$

V - коэффициент, определяемый по таблице 6, в зависимости от ω и n_B : $V := 0.813$

$\omega = 3.98733$

n_B - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = -0.27058 \quad [15]$$

Таблица 6 Коэффициент В

n_B	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥ 10
1,0	0,843	0,972	1,041	0,991	0,964	1,029	1,071	1,117
0,9	0,829	0,943	1,000	0,949	0,940	1,000	1,040	1,083
0,8	0,815	0,914	0,960	0,908	0,910	0,971	1,009	1,051
0,7	0,800	0,886	0,920	0,871	0,884	0,944	0,979	1,020
0,6	0,786	0,858	0,880	0,836	0,860	0,918	0,951	0,990
0,5	0,771	0,829	0,840	0,804	0,839	0,894	0,925	0,963
0,4	0,757	0,801	0,799	0,777	0,819	0,871	0,900	0,938
0,3	0,742	0,773	0,761	0,754	0,802	0,852	0,878	0,915
0,2	0,728	0,744	0,732	0,737	0,789	0,835	0,860	0,896
0,1	0,714	0,716	0,714	0,727	0,780	0,823	0,846	0,882
0	0,700	0,702	0,709	0,725	0,776	0,816	0,837	0,874
-0,1	0,703	0,707	0,716	0,732	0,778	0,815	0,835	0,873
-0,2	0,705	0,712	0,723	0,741	0,787	0,821	0,841	0,876
-0,3	0,708	0,717	0,730	0,750	0,796	0,828	0,846	0,879
-0,4	0,711	0,722	0,738	0,759	0,805	0,835	0,852	0,882
-0,5	0,713	0,728	0,745	0,768	0,814	0,842	0,857	0,884
-0,6	0,716	0,733	0,753	0,777	0,823	0,850	0,863	0,887
-0,7	0,718	0,738	0,760	0,786	0,832	0,857	0,869	0,890
-0,8	0,721	0,743	0,768	0,795	0,841	0,864	0,874	0,893
-0,9	0,723	0,748	0,775	0,804	0,849	0,871	0,880	0,895
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	0,858	0,878	0,885	0,898

где A - коэффициент, определяемый по таблице 6 в зависимости от ω и m .

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -3.69575$$

[10]

$$A := 0.812$$

Таблица 7 Коэффициент А

m_A	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥ 10
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	0,858	0,878	0,885	0,898
-0,9	0,656	0,683	0,712	0,740	0,781	0,797	0,802	0,811
-0,8	0,586	0,613	0,641	0,668	0,705	0,716	0,720	0,724
-0,7	0,516	0,543	0,570	0,596	0,638	0,646	0,647	0,647
-0,6	0,446	0,473	0,500	0,524	0,551	0,555	0,554	0,550
-0,5	0,376	0,403	0,429	0,451	0,474	0,474	0,471	0,463
-0,4	0,306	0,333	0,358	0,379	0,397	0,393	0,388	0,376
-0,3	0,236	0,262	0,287	0,307	0,320	0,313	0,305	0,289
-0,2	0,166	0,192	0,214	0,235	0,250	0,243	0,239	0,230
-0,1	0,096	0,121	0,138	0,148	0,157	0,159	0,158	0,155
0	0,144	0,164	0,182	0,191	0,196	0,197	0,192	0,184
0,1	0,214	0,234	0,256	0,264	0,270	0,276	0,270	0,264
0,2	0,284	0,304	0,329	0,337	0,340	0,345	0,341	0,337
0,3	0,354	0,374	0,398	0,406	0,409	0,416	0,415	0,403
0,4	0,424	0,444	0,467	0,475	0,478	0,484	0,484	0,471
0,5	0,494	0,514	0,537	0,545	0,548	0,554	0,554	0,542
0,6	0,564	0,584	0,607	0,615	0,618	0,624	0,624	0,614
0,7	0,634	0,654	0,677	0,685	0,688	0,694	0,694	0,688
0,8	0,704	0,724	0,747	0,755	0,758	0,764	0,764	0,763
0,9	0,773	0,793	0,817	0,825	0,828	0,834	0,834	0,830
1,0	0,843	0,872	1,041	0,991	0,964	1,029	1,071	1,117

M_{\max} — максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки.

$$((B \cdot |M_a|)) = 84832.16132 \quad \text{Н*мм.}$$

$$A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 22925.75382 \quad \text{Н*мм.} \quad [15]$$

$$M_{\max} := 3.994 \times 10^4 \quad \text{Н*мм.}$$

- изгибные:

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\Phi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 423.0631 \text{ МПа.} \quad [15]$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\Phi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 8.16947 \text{ МПа.} \quad [15]$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 83.43116 \text{ МПа.} \quad [15]$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 87440.69198 \quad [15]$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{P_{\max} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 52.89474 \text{ МПа.} \quad [15]$$

изгибные:

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 26232.20759 \text{ МПа.} \quad [15]$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_{HP} - s_{TP}) \max(|P_{\max 2}|, |P_{\max 1}|, |P_{\max 2} - P_{\max 1}|)}{2 \cdot s_{TP}} = 3.8525 \quad \text{МПа.} \quad [15]$$

$\sigma_{др}$ - допускаемое напряжение для материала решетки, МПа;

$$\sigma_{др} := 184 \quad \text{МПа.}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров}_{\text{труб_реш}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [15]$$

Пров_{труб_реш} = "Условие прочности выполняется"

Проверка прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$$\sigma_{Д200} := 184 \quad \text{МПа.}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{Д200} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [15]$$

Пров_{кож} = "Условие выполняется"

2.3.9.5. Расчёт трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке

условие статической прочности труб

$$\text{Пров}_{\text{ст_прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{TP120} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [15]$$

Пров_{ст_прочности} = "Условие выполняется"

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

Задаем конструктивно:

l_{1R} — максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм; $l_{1R} := 520$ мм;

l_{2R} — максимальный пролет трубы между перегородками, мм;

$$l_{2R} := 520 \text{ мм.}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

$$l_R := \max(l_{2R}, 0.7l_{1R}) = 520 \text{ мм.}$$

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Тр120}}{E_{Тр120}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{Тр} - s_{Тр})} = 1.51653 \quad [15]$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Тр120}}{E_{Тр120}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{Тр} - s_{Тр})} = 1.31355 \quad [15]$$

$\varphi_T := 0.8$ из рисунка 2.18.

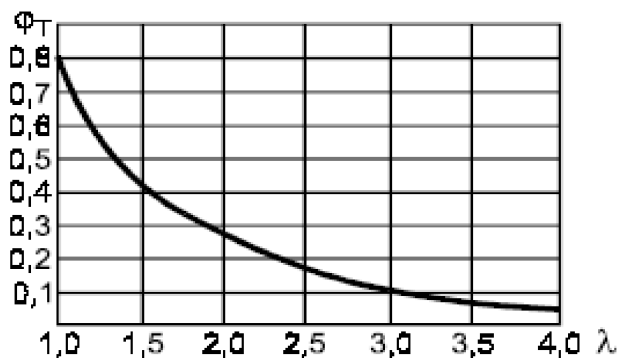


Рис. 2.18. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

При отсутствии более точных данных допускается вычислять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой по формулам:

Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой:

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 540.4234 \text{ м}^2. \quad [15]$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{\text{рас1}} \cdot f = 275.8842$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \text{ Па}; \quad [15]$$

$$q_{\text{тр}} := \frac{Q}{n_{\text{тр}}} = 264.875 \text{ Н}; \quad [15]$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_T := 4.853 \times 10^8 \text{ Па}. \quad [15]$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_{\text{вн}} := 0.025 \text{ м}; \quad d_{\text{вн}} := 0.021 \text{ м}.$$

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{вн}}^2 - d_{\text{вн}}^2) = 0.00014 \text{ м}^2.$$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 70132.28608$$

Суммарное усилие:

$$q_c := q - q_T = -69867.41108. \quad [15]$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}} = 3372.4932 \text{ Н/м}; \quad [15]$$

$$\sigma_{0д} := 0.04 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

$$\text{Пров}_{\text{прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0д} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [15]$$

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

2.3.10. Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D := 0.6 \text{ м.}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_{1w} := 0.01 \text{ м.}$$

Толщина стенки распределительной камеры:

$$s_{2w} := 0.01 \text{ м.}$$

Толщина стенки днища:

$$s_{3w} := 0.01 \text{ м.}$$

Высота отбортовки крышки:

$$h_{1w} := 0 \text{ м.}$$

Высота отбортовки днища:

$$h_{2w} := 0.05 \text{ м.}$$

Длина трубной решетки:

$$l_w := 0.05 \text{ м.}$$

$$D_{\text{труб}} := 0.6 \text{ м.}$$

Высота распределительной камеры:

$$H_{\text{камеры}} := 0.62 \text{ м.}$$

Плотность среды:

$$\rho_{\text{ср}} := 1785.1 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность материала сталь 10X17H13M2T:

$$\rho_{\text{мет}} := 7950 \text{ кг/м}^3.$$

Длина обечайки:

$$L_w := 6 \text{ м.}$$

Вес трубной части обечайки: (часть на которую действует межтрубное давление)

$$G_{\text{ц}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot L_w \cdot \rho_{\text{мет}} = 914.1092 \text{ кг}$$

Высота эллиптического днища без отбортованной части оболочки:

$$H_{д.без.от.} := 0.25 \text{ м.}$$

Высота эллиптической крышки без отбортованной части оболочки:

$$H_{к.без.от.} := 0.25 \text{ м.}$$

Внутренний объем эллиптической крышки без отбортовки :

$$V_{д1} := \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D_{дн}}{2} \cdot \frac{D_{дн}}{2} \cdot \frac{H_{д.без.от.}}{2}}{2} = 0.02356 \text{ м}^3.$$

[9]

Наружный объем эллиптической крышки без отбортовки:

$$V_{д2} := \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D_{дн} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{D_{дн} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{(H_{д.без.от.} + s_3)}{2}}{2} = 0.02617 \text{ м}^3.$$

[9]

Объем металла днища аппарата без отбортовки:

$$V_{д} := V_{д2} - V_{д1} = 0.0026 \text{ м}^3.$$

Объем металла крышки аппарата без отбортовки:

$$V_{к} := V_{д} = 0.0026 \text{ м}^3.$$

Вес эллиптического днища (крышки) аппарата без отбортовки:

$$G_{д.эл} := V_{д} \cdot \rho_{мет} = 20.696 \text{ кг}$$

Вес отбортованной части днища аппарата:

$$G_{д.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.2 \cdot \rho_{мет} = 30.47 \text{ кг}$$

Масса отбортованной части днища аппарата:

$$G_{к.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.05 \cdot \rho_{мет} = 7.6175 \text{ кг}$$

Масса днища аппарата:

$$G_{\text{д}} := G_{\text{д.эл}} + G_{\text{д.отб}} = 51.166 \text{ кг}$$

Масса днища аппарата:

$$G_{\text{кр}} := G_{\text{д.эл}} + G_{\text{к.отб}} = 28.31408 \text{ кг}$$

Масса распределительной камеры:

$$G_{\text{распред_камеры}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H_{\text{камеры}} \cdot \rho_{\text{мет}} = 94.45795 \text{ кг}$$

Масса пустого аппарата:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{д}} + G_{\text{кр}} + G_{\text{ц}} + G_{\text{распред_камеры}} = 1088.04805 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри корпуса при самых худших рабочих условиях:

$$G_{\text{жид1}} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{\text{камеры}} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{\text{д1}} \right] \cdot \rho_{\text{ср}} = 3551.5824 \text{ кг}$$

Масса аппарата заполненного жидкостью при самых худших рабочих условиях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 4639.63057 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри корпуса при условиях гидроиспытания:

$$G_{\text{жид2}} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{\text{камеры}} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{\text{д1}} \right] \cdot \rho_{\text{вод}} = 1985.59149 \text{ кг}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при условиях гидроиспытания:

$$G_{\text{ап3}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид2}} = 3073.63953 \text{ кг}$$

2.3.11. Расчет стандартной опоры аппарата

[18]

Выбор стандартных опор ведется согласно

[16]

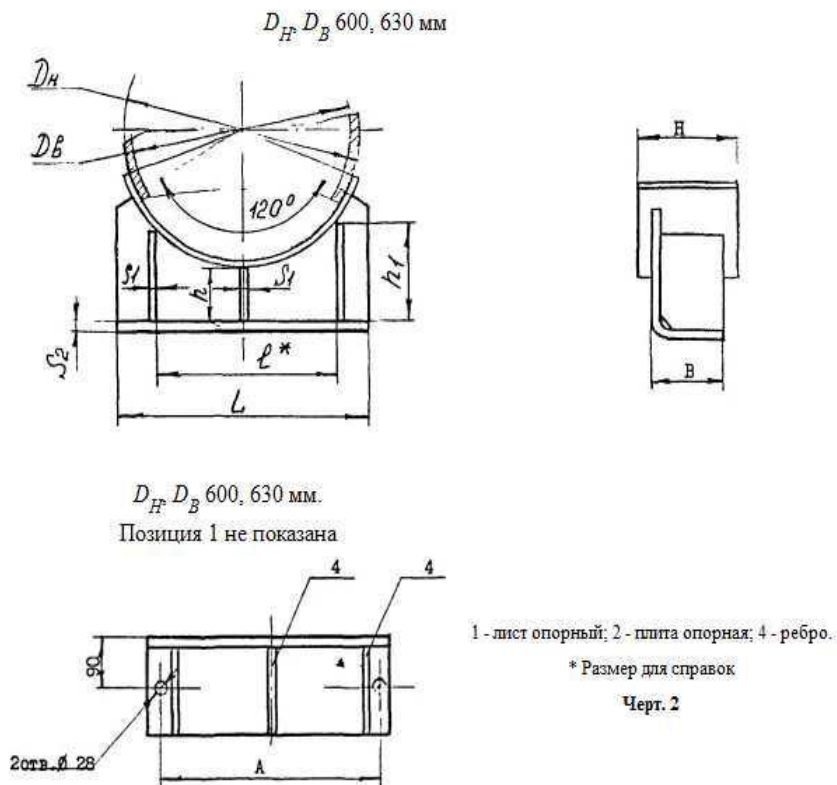


Рис.2.19. Конструкция седловой опоры.

Параметры и размеры опор типа 1

Диаметр аппарата		Допускаемая нагрузка на опору, кН (тс)		Размеры, мм														Масса*, кг		Масса листа подкладного, кг
				Исполнение				R	L	L ₁	ℓ	B	B ₁	h	h ₁	A	A ₁	Исполнение		
				1	2	1	2											1	2	
D_H	D_B	Исп. 1	Исп. 2	1	2	1	2													
-	600	40 (4,0)	80 (8,0)	6	10	10	14	314	600	620	306	180	300	190	230	450	200	25,2	36,5	8,8
								322		312										
								332		315										
630	-							325		312	25,0									

* Масса опор дана без учета листа опорного и листа подкладного.

Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением

Исходные данные:

$\rho := 7850$ плотность материала, кг/м³

$H := 250$ высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$L := 6050$ длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$D := 600$ внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$p_{rab} := 0.7$ внутреннее избыточное или наружное давление, МПа

$\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;

$E := 2.15 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа

$b := 180$ ширина седловой опоры, мм;

$s_2 := 10$ исполнительная толщина подкладного листа, мм;

$b_2 := 220$ ширина подкладного листа, мм;

$\sigma_t := 184$ допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{mm} := 240$ предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{20} := 184$ допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

$a := 1530$ длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;

$e := a + H$ длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;

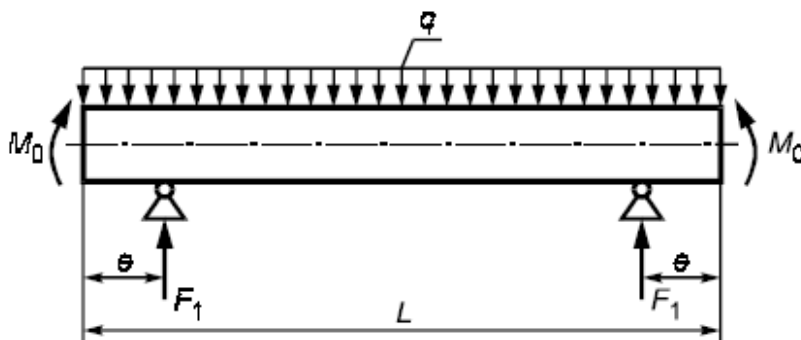
$t_{\text{rab}} := 50$ рабочая температура в аппарате, °C;

$c := 1$ сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$ угол охвата седловой опоры, °;

$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$ угол охвата сосуда подкладным листом, °.

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



условие нагружения:

$z :=$

условие работы аппарата:

$o :=$

Расчётные данные:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{\text{rab}}, 20) & \text{if } o = 1 \\ 20 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$t = 50$ °C

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по **ГОСТ Р 52857.1-2007** при расчётной температуре $t=50^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_d := \begin{cases} \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5) & \text{if } o = 1 \\ \text{Floor}\left(\frac{\sigma_T}{1.1}, 0.5\right) & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$\sigma_d = 184 \quad \text{МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := \begin{cases} p_{\text{rab}} & \text{if } o = 1 \\ 1.25 \cdot p_{\text{rab}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$p = 0.7 \quad \text{МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p}$$

$$s_w := \text{floor}(s_r + c + 1)$$

$$s = 3 \quad \text{мм}$$

Допускаемое наружное давление

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

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

$$p_d = 0.01185 \text{ МПа}$$

Вес аппарата:

$$A_k := 1.24 \cdot D \quad \text{- площадь эллиптической крышки и днища}$$

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L \quad \text{- площадь корпуса}$$

$$\underline{G} := \begin{cases} A_k \leftarrow 1.24 \cdot D \\ A_1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A_1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{cases}$$

$$G = 2632.26827 \quad \text{Н}$$

Проверка применимости формул:

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

Prov = "Формулы применимы"

Нагрузки на корпус аппарата:

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 0.41237 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 9278.23018 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие:

$$\underline{F_1} := \frac{G}{2}$$

$$F_1 = 1316.13413 \quad \text{Н}$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{4} - M_0$$

$$M_1 = 6.43992 \times 10^5 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Максимальный момент между опорами:

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

$$M_{12} = -1.23432 \times 10^5 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 616.48685 \quad \text{Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_d := \begin{cases} M_p \leftarrow \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \\ M_E \leftarrow \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \\ M_d \leftarrow \frac{M_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_p}{M_E} \right)^2}} \end{cases}$$

$$M_d = 7.58777 \times 10^7 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Дополнительные вычисления:

K9 - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

$$x := \frac{L}{D} \quad y := \frac{D}{(s - c)}$$

$$w1 := -0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

$$w2 := \left[0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) + 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 + 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2 \right]$$

$$W3 := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x-1) \cdot y - 0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x-1) \cdot x$$

$$W4 := 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x-1) \cdot x^3 + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x-1) \cdot y^3$$

$$K_9 := \max(1.6 + W1 + W2 + W3 + W4, 1)$$

$$K_9 = 1.23346$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка1 = "Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"

Примем: $\overset{s}{w} := 10$ мм

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

$$p_V := \begin{cases} 0 & \text{if } z = 1 \\ p & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_V}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка2 = "Условие устойчивости выполняется."

Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s-c)}{D}} \quad \gamma = 0.88384$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} \quad \beta_1 = 2.22904$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла.

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} \quad \sigma_{\text{mx}} = 0.25307 \quad \text{МПа}$$

вид обечайки:

$$u := \boxed{}$$

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

$$b := \begin{cases} b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$\delta := \begin{cases} \delta_1 & \text{if } u = 1 \\ \delta_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

F_{d2} - допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении.

F_{d3} - допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении

Предельные напряжения изгиба σ_{i2} , σ_{i3} :

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

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

$$K_2 = 1.25$$

K_{10} -коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

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

K_{12} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.98159$$

K_{14} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.6344$$

K_{16} -коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.98422$$

K_{17} -коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.34641$$

K_{15} -коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища

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

K_{11} -коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} \quad K_{11} = 0.44862$$

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

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

$$v_{212} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{\text{mx}}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d}$$

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

$$K_{112} = 1.25114$$

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

$$K_{122} = 0.6693$$

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

$$K_{113} = 1.29407$$

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

$$K_{123} = 0.73396$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1,2} = 0.6693$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1,3} = 0.73396$$

$$\sigma_{i2} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 153.93906 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 168.81177 \quad \text{МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 2.90413 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 4.06923 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q}{Q_d} \right)^2 \leq 1$$

где F_e - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 2923.71494 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

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

$$Q_d = 7.57378 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot (w) \cdot \sigma_d \quad F_d = 3.16831 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_4 = "Условие устойчивости выполняется."

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Разработка теплообменного аппарата с целью повышения производительности производства.	Теплообменный аппарат ТН. Используется для охлаждения серной кислоты. Производительность – 26 кг/с. Рабочая температура процесса – 50°C. Давление в аппарате – атмосферное.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации теплообменного аппарата в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - вибрация и шум - производственное освещение <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - газоопасные работы - молниезащита и защита от статического электричества - основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса
2. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> - защита гидросферы и литосферы; - защита атмосферы;

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - пожарная безопасность - производственные аварии - стихийные бедствия - военно-социальные конфликты
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич		

3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Стороны ставят в числе приоритетных целей Соглашения создание условий, содействующих формированию структурно развитой, обеспечивающей нужды страны и населения, конкурентоспособной экономики на базе рабочих мест, позволяющих использовать материальные и человеческие ресурсы эффективно с точки зрения интересов всех субъектов экономики; обеспечение нового, более высокого уровня жизни граждан Российской Федерации, прежде всего за счет кардинального повышения эффективности государственного управления и **социальной ответственности** всех субъектов экономики, внедрения принципов достойного труда на основе подходов Международной организации труда.

Сведения об основных опасностях производства, обусловленных особенностями используемого оборудования и условиями его эксплуатации.

Под **социальной ответственностью** понимают комплекс законодательных и соответствующих им социально-экономических мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранения здоровья и работоспособности в процессе труда. Нефтехимическая промышленность характеризуется большим разнообразием производственных отраслей. В связи с этим большое внимание уделяется охране труда.

Целями составления настоящего раздела «Социальная ответственность» является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве и снижение вредных воздействий на окружающую среду. Объектом исследования является установка РОСК, и ее вредные факторы, оказывающее вредное воздействие на человека и окружающую среду.

Описание рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования на предмет возникновения

1. Вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, эл. магнитные поля, ионизирующие излучения);

- выхлопы газообразных продуктов от дыхательных клапанов дренажных емкостей, неблагоприятный аэрозольный состав воздуха в рабочих помещениях, дымовые газы факела;

- вибрация и шум от насосов компрессорного блока.

2. Опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)

- для перекачки H_2SO_4 , вентиляции помещений используется динамическое оборудование имеющее электропривод с напряжением питания 380 В;

- процесс ведется под избыточным давлением (до $10,0 \text{ кгс/см}^2$);

- давление нагнетания насосов ЦНС составляет до $16,0 \text{ кгс/см}^2$;

- применением для отогрева трубопроводов и подготовки оборудования к ремонту водяного пара с температурой до $160 \text{ }^\circ\text{C}$;

- необходимостью обслуживания оборудования находящегося на отметках до +18 м от поверхности земли;

- наличием надземной сети кислото - и газопроводов;

- наличием факельной установки для сжигания газа;

- наличием автодорог на территории установки;

- возможностью образования взрывоопасных концентраций углеводородов при проведении зачистных или ремонтных работ в емкостях;

- возможностью накопления зарядов статического электричества при движении топочных газов по трубопроводам и т.д.

3. Негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)

- загрязнение сточных, талых вод H_2SO_4 ;

- загрязнение почвы (грунта) отработанным катализатором, отработанной H_2SO_4 ;

- выбросы в атмосферу вредных газов (SO_3 , H_2S);

4. Чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

- Возникновение пожара в случае неисправности, нарушения технологического производства;
- Возникновение пожара в случае природных явлений (удар молнии);

К наиболее опасным местам на установке РОСК ОНПЗ:

- склад отработанной H_2SO_4 ;
- печное отделение;
- компрессорное отделение;
- сушильно-абсорбционное отделение;
- электрощитовые;
- контактное отделение;
- склад готово H_2SO_4 .

3.1. Производственная безопасность

3.1.1 Анализ выявленных вредных факторов:

Химические вещества, используемые в технологии производства, и отходы продукции производства оказывают негативное воздействие на состояние здоровья человека. Виды химических веществ и продуктов производства, и их поражающие факторы приведены в табл. 5.3.

Таблица 3.1 – Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, продукции и отходов производства

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Газ (топливный)	100	п	IV	
Кислота серная+	1	а	II	
Трехоксид серы	20	п	IV	0

Условные обозначения: п - пары и (или) газы; а - аэрозоль; п+а - смесь паров и аэрозоля; 0 - вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; + - требуется специальная защита кожи и глаз; А - вещества, способные вызывать аллергические заболевания; К - канцерогены; Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны РОСК не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК): максимально разовых рабочей зоны (ПДК_{МР.РЗ}) и среднесменных рабочей зоны (ПДК_{СС.РЗ}).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии. (РЗ-ГН 2.2.5.1313–03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.» Минздрав России, 1998.)

Как видно из табл. 3.1 вещества относятся к 2,4 группам опасным и малоопасным. Не стоит забывать об их токсичном воздействии на организм человека. Каждый день на производстве, работники сталкиваются с этими веществами: обливают и пачкают одежду и кожный покров в кислоте, вдыхают пары «газящих» аппаратов и газа с факельной установки, при работе и ремонте оборудования.

Мероприятия по снижению рисков воздействия вредных веществ на организм человека:

- искусственная вентиляция помещений;
- приборы для замеров ПДК вредных агентов, оборудование сигнализации;
- выдача защитной спецодежды, спецобуви и защитных приспособлений от нефтепродуктов согласно отраслевым нормам ;
- оборудование в комнатах отдыха душевых кабинок;
- выдача работникам молока или молочных продуктов;
- индивидуальные средства защиты (каска, специальные очки, перчатки, респираторы, спец. крема, противогазы с подачей воздуха).
- предусмотрен аварийный комплект СИЗ

Производственные метеоусловия регламентируются "Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СанПиН 2.2.4.548 – 96

В производственных помещениях поддерживается температура в теплый период года: 20 – 22°C, а в холодный период 22 – 24°C, относительная влажность воздуха 30 – 60 %, скорость воздуха 0,2 – 0,7 м/с.

Для обеспечения нормального микроклимата и поддержания теплового равновесия между телом человека и окружающей средой, в цехе проводится ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых и трудоемких работ, выполнение которых сопровождается избыточным теплообразованием в организме человека;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами, что исключает необходимость пребывания работающих в зоне инфракрасного излучения;
- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов, коммуникаций и других источников, излучающих на рабочие места конвекционное и лучистое тепло.

Теплоизлучающее оборудование установлено на открытых площадках. Теплоизоляция осуществлена с таким расчетом, чтобы температура наружных стенок теплоизлучающего оборудования не превышала 45°C;

- источники интенсивного влаговыделения снабжены крышками;
- организация рационального водно-солевого режима с целью профилактики перегрева. Для этого к питьевой воде добавляют небольшое количество (0,2 – 0,5%) поваренной соли и насыщают ее углекислым газом (сатурируют). Питье подсоленной воды приводит к более быстрому восстановлению водно-солевого равновесия, утоляет жажду, компенсирует потоотделение и уменьшает потерю массы; углекислый газ придает воде вкус и улучшает секрецию желудочного сока;

3.1.2 Оценка микроклимата в помещении

Микроклимат в помещении, в котором температура воздуха на рабочем месте ниже нижней границы допустимой (СанПиН 2.2.4.548—96), является вредным. Класс вредности определяется по среднесменным величинам температуры воздуха, указанным в табл. 3.2 В таблице приведена температура воздуха применительно к оптимальным величинам скорости его движения (по СанПиН 2.2.4.548—96).

При увеличении скорости движения воздуха на рабочем месте на 0,1 м/с от оптимальной температуры воздуха, приведенную в табл. 1, следует повысить на 0,2 °С.

Таблица 3.2 – Классы условий труда по показателю температуры воздуха при работе в помещении с охлаждающим микроклиматом

Категория работ*	Общие энерготраты, Вт/м2*	Классы условий труда						
		Оптимальный	Допустимый	Вредный**				Опасный
		1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Пб	145 (130-160)	16-18,9*	21.1-27*	13	11	9	7	-
Ш	177 (161-193)	15-16,9*	20.1-26*	12	10	8	6	-

* В соответствии с приложением 1 к СанПиН 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Отопительная и вентиляционная системы настроены на поддержание температуры воздуха в границах 20-24 °С в рабочем помещении. Отслеживается состояние здоровья рабочих, по мере появления жалоб и ухудшения здоровья рабочих, пересматриваются, и разрабатываются оптимальные условия в помещении.

Оценка микроклимата в холодный (зимний) период года при работе на открытой территории и в неотапливаемых помещениях

Рассматриваемый климатический регион относится к II(III) поясу - 18 °С и 3,6 м/с.

Таблица 3.3– Классы условий труда по показателю температуры воздуха, °С (нижняя граница), для открытых территорий в зимний период года применительно к категории работ

Климатический регион (пояс)	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный (экстремальный)
		2	3.1	3.2	3.3	
II (III)	-17,2	-18,8	-21,4	-23,6	-26,5	<26,5
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	-20,9	-23,6	-27,6	-30,6	-33,6	<-33,6

В числителе - температура воздуха при отсутствии регламентированных перерывов на обогрев; в знаменателе - при регламентированных перерывах на обогрев (не более чем через 2 часа пребывания на открытой территории).

3.1.3 Средства защиты.

Индивидуальные средства защиты

Использование на ЦППН жидких и газообразных углеводородов, влияющих на организм человека, вызывает необходимость применения индивидуальных средств защиты по ГОСТ 12.4.011-89. На ЦППН все виды работ производятся в спецодежде, спецобуви и обязательно в каске.

В соответствии с законодательством РФ о труде по ГОСТ 12.4.011-89, обслуживающий персонал ЦППН обеспечивается средствами индивидуальной защиты (СИЗ):

Для защиты обслуживающего персонала от возможных вредных и опасных производственных и метеорологических факторов используются различные приспособления и одежда:

1. спецодежда зимняя и летняя, предназначенная для защиты рабочих от вредного воздействия нефти и нефтепродуктов, а также от холода;
2. спецобувь, предназначенная для предохранения ног от механических повреждений, от опасностей и вредностей производства, защиты от низких температур;
3. головные уборы для защиты головы от механических повреждений (каска, подшлемник), холода и атмосферных осадков;

4. рукавицы для предохранения рук от механических повреждений, загрязнений, от холода;
5. защитные очки для защиты глаз от механических повреждений, ожогов, пыли и лучистой энергии;
6. противогазы, для защиты органов дыхания и зрения (фильтрующие с коробкой марки "А" и шланговые типа ПШ-1;2 применяются в воздухе с малым содержанием кислорода (менее 18% объемных));
7. предохранительные пояса, при производстве работ связанных с опасностью падения с высоты.
8. для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, резиновые фартуки и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками.
9. фильтрующие противогазы марки БКФ при объемной доле свободного кислорода более 18% и суммарной, объемной доле вредных газообразных веществ не более 0,5%.
10. для защиты от несорбирующихся веществ применяются самоспасатели марок СШ-20м, СПИ-40. Для защиты при внутренней чистке аппаратов водой высокого давления, применяется гидрокостюм.
11. для защиты кожи используются дерматологические средства.
12. для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются защитные наушники.

Средства коллективной защиты

С целью защиты от воздействия вредных газов и паров углеводородов производственные помещения снабжены приточной и вытяжной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021-75. На случай аварии предусмотрена аварийная система вентиляции.

В производственных помещениях и на открытых установках предусмотрены датчики сигнализации предельных концентраций углеводородов.

С целью защиты обслуживающего персонала от шумов и вибрации здания и сооружения выполнены согласно санитарным нормам.

Предусмотрено:

1. производственные помещения имеют систему водяного отопления, освещения и вентиляции (механическую и естественную) по ГОСТ 12.4.021-75;
2. состав воздуха блок-боксов насосов внешней и внутренней откачки, ГРП ПТБ, БРХ постоянно контролируется датчиками загазованности с выходом сигнала (светового и звукового) в операторную. При превышении содержания взрывоопасных паров выше 5-20% от НКПВ происходит включение вытяжной вентиляции;
3. контроль состояния воздушной среды открытых площадок осуществляется датчиками загазованности с выходом сигнала (светового и звукового) в операторную и переносным газоанализатором;
4. для защиты от шума и вибрации динамического оборудования блок-боксы, в которых они расположены, изготовлены из звукопоглощающих материалов, оборудование надежно закреплено и периодически центруется и балансируется;
5. оборудование заземлено, распределительные щиты и пульты закрыты;
6. от воздействия химических факторов оборудование и установки герметизируют;
7. изоляция трубопроводов с повышенной и пониженной температурой;
8. основные параметры работы оборудования выведены в операторную;
9. предусмотрено дистанционное управление пуском и остановкой оборудования;
10. разработан план ликвидации аварийных ситуаций и проводятся учебно-тренировочные занятия с персоналом для отработки правильных действий.
11. применение звукопоглощающих кожухов на компрессорах;
12. шумопоглощающая изоляция трубопроводов;
13. установка вентиляторов на виброоснове.

3.1.4 Анализ выявленных опасных факторов

Газоопасные работы.

Обеспечение взрывобезопасности

К газоопасным работам относятся работы, при проведении, которых имеется или не исключена возможность выделения в рабочую зону, определяемую в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, взрыво- и пожароопасных или вредных паров, газов и других веществ, способных вызвать взрыв, загорание, оказать вредное воздействие на организм человека, а также работы при недостаточном содержании кислорода в воздухе рабочей зоны (объемная доля ниже 20 %).

На предприятии, разработан перечень газоопасных работ, предусматривающих отдельное указание газоопасных работ:

- проводимые с оформлением наряда-допуска;
- проводимые без оформлением наряда-допуска, но с обязательной регистрацией таких работ перед их началом в журнале;
- вызванные необходимостью ликвидации или локализации возможных аварийных ситуаций или аварий.

Перечень газоопасных работ периодически (не реже 1 раза в год) пересматривается и утверждается.

На проведение газоопасных работ оформляется наряд-допуск, предусматривающий разработку и последующее комплекс мероприятий по подготовке и проведению работ.

Наряд-допуск составляется и подписывается начальником цеха или лицом его замещающим, согласовывается: с отделом охраны труда и промышленной безопасности, с начальником ведомственной пожарной охраны или лицом его замещающим, со взаимосвязными цехами при необходимости. Наряд-допуск оформляется в двух экземплярах.

Ответственность за организацию безопасного проведения газоопасных работ в цехе несет лицо назначенное за безопасное подготовку и проведение данных газоопасных работ.

Ответственный за проведение газоопасных работ несет ответственность за правильность и полноту принятых мер безопасности, достаточную квалификацию лиц, назначенных исполнителями работ, полноту и качество их инструктажа, техническое руководство работой и соблюдение работающими мер безопасности.

Газоопасные работы, выполняемые по наряду-допуску, разрешается проводить бригадой, состоящей не менее чем из двух человек, не считая лица, ответственного за проведение газоопасных работ. В случаях выполнения газоопасных работ внутри колодцев, емкостях, резервуаров, аппаратах, фильтрах и т.д., траншеях, котлованов глубиной более 1м, в коллекторах и т.д. состав бригады должен быть не менее трех человек, не считая лица, ответственного за проведение газоопасных работ.

Наряд-допуск на проведение газоопасных работ выдается на каждое место и вид работ каждой бригаде, проводящей такие работы, и действителен в течение одной смены. Если работа оказалась не законченной, а условия ее проведения не ухудшилось и характер работ не изменился, наряд-допуск может быть продлен на следующую смену.

Молниезащита и защита от статического электричества.

Все мероприятия по защите от поражения электротоком, молниезащита и защита от статического электричества на производстве выполнены в соответствии с РД 34.21.122-88. «Инструкцией по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений»

Для обеспечения безопасности людей и сохранности зданий, сооружений и оборудования от разрушения, загорания и взрывов при прямых ударах молнии на установке РОСК установлена молниезащита II

Для взрывоопасных и пожароопасных зданий и сооружений выполнена защита:

- от прямых ударов молнии;
- от вторичных ударов молнии;
- от заносов высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации;
- от статического электричества

Защита от прямых ударов молнии на установке выполнена стержневыми молниеприемниками и заземлением металлической кровли зданий.

Предупреждение опасностей, связанных с искровыми разрядами статического электричества и вторичного проявления молний, на установках обеспечиваются мероприятиями, предусмотренными отраслевыми правилами и нормами ГОСТ 12.4.124-83:

1. Оборудование и трубопроводы, расположенные на установке и эстакаде, представляют собой на всем протяжении непрерывную цепь и присоединяются к заземляющим устройствам.

2. В отдельных случаях для обеспечения непрерывности цепи, разорванной фланцевыми парами с паранитовыми прокладками, для снижения сопротивления осуществлена тщательная зачистка не менее двух шпилек и установка медных скоб между фланцами и гайками шпилек.

3. Штуцера аппаратов, по которым движутся жидкие диэлектрики, имеют опуски до дна аппарата.

4. Все блоки установки защищены молниеотводами зоны, действия которых перекрывают друг друга.

5. Все оборудование и трубопроводы установки заземлены на границах площадок не менее двух раз.

6. Контур заземления, предназначенный для защиты от проявлений статического электричества и одновременно от вторичных проявлений молний, имеет сопротивление не более 10 Ом.

7. Осмотр и измерение сопротивления заземляющих устройств производится не реже одного раза год в соответствии с инструкцией и графиком, утвержденными главным инженером предприятия. В результате измерений сопротивления оформляется протокол. Измерение сопротивления заземляющих устройств проводятся электрохимической лабораторией (ЭТЛ) в летний и зимний периоды год

3.1.5 Основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса

Технологический процесс на установке «РОСК» ведется непрерывно в закрытых аппаратах. Отвод газов производится по закрытой схеме через санитарные установки на факел, а оборотной воды на БОВ.

Контроль за параметрами и управление технологическим процессом осуществляется дистанционно по приборам, установленным в операторной, со световой и звуковой сигнализацией достижения предельно допустимых и аварийных значений.

Регулирование основных параметров, определяющих безопасность ведения технологического процесса, осуществляется в автоматическом режиме. При достижении аварийных значений параметров процесса, определяющих его взрывопожароопасность, происходит остановка отдельного оборудования или срабатывание исполнительных механизмов предотвращающих развитие аварийной ситуации (открытие предохранительных клапанов, остановка насосов).

Для оперативного воздействия на технологический процесс имеется возможность дистанционного управления:

- пуском и остановкой насосного оборудования, вентиляционной установки в насосной и УУГ

С целью своевременного обнаружения разгерметизации оборудования и загазованности территории, насосная оборудована датчиками загазованности, сигнал от срабатывания которых выведен на пульт управления в операторную и заблокирован с включением вытяжной вентиляции. Контроль за состоянием воздушной среды открытых площадок осуществляется путем анализа газовой среды (ГВС) переносным газоанализатором.

Производственные помещения установки имеют необходимое освещение и оборудованы системами электрического отопления, вентиляции и сигнализации загазованности. Установленное в них оборудование надежно закреплено, имеет герметичное уплотнение фланцевых соединений трубопроводов и вращающихся частей механизмов во избежание утечек продукта, ограждение вращающихся и

движущихся частей насосов, посты управления и приборы контроля, за параметрами работы, защитное заземление.

Оборудование открытых площадок имеет необходимые для обслуживания площадки и переходы. Территория установки имеет внешнее ограждение, оборудована пешеходными дорожками и проездами, наружным освещением, знаками безопасности.

3.2 Экологическая безопасность

Мероприятия по охране окружающей среды ограничивающие вредное воздействие процессов производства и выпускаемой продукции на окружающую среду

Окружающую среду на «РОСК» главным образом загрязняют: отработанная H_2SO_4 , производственная H_2SO_4 , сажа. Влияние H_2SO_4 на природу определяется ее токсичностью.

3.2.1 Защита гидросферы и литосферы

H_2SO_4 оказывает влияние на природные воды. Несмотря на хорошую растворимость в воде, небольшого количества H_2SO_4 достаточно, чтобы резко ухудшилось качество воды.

Одновременно с загрязнением поверхностных вод меняется состав и почвенно-грунтовых вод. Содержание отдельных веществ может повышаться на 1—2 порядка. Основными солями в этих водах являются хлориды. Обнаруживаются и органические поллютанты, в том числе ПАУ.

Загрязнение может затрагивать (продолжительностью 3—4 года) пласты подземных вод питьевого назначения. Минерализация их под влиянием загрязнения может повышаться на 1—2 порядка.

Следствием загрязнения H_2SO_4 является деградация растительного покрова происходит замедление роста растений либо полное исчезновение растительности, хлороз, некроз, нарушение функции фотосинтеза и дыхания. Обволакивая корни растений, тяжелые нефти и нефтепродукты резко снижают поступление влаги, что приводит к гибели растения. Вследствие этого происходит обеднение видового состава

растительности, формирование ее специфических ассоциаций вдоль технических объектов, изменение нормального развития водных организмов. Изменяется химический состав растений, в них происходит накопление органических (включая ПАУ) и неорганических загрязняющих веществ. Растения в результате погибают.

В почвах изменяется состав почвенных обитателей, в водоемах обедняется видовой состав и численность ихтиофауны вплоть до полного замора рыб, в наземных экосистемах изменяется численность птиц и млекопитающих.

Для исключения попадания вредных веществ на почву предусмотрено:

- обвалование и ограждение бордюрным камнем площадок, где возможен разлив продукта;
- оборудование объекта сливной и канализационной системой;
- для сбора утечек и сливов установлены подземные емкости с насосной откачкой;
- обвалование резервуарного парка;
- защита емкостей и трубопроводов от коррозии: изоляцией усиленного типа, катодная защита;
- капитальный ремонт и замена морально и физически устаревшего оборудования, снижается вероятность аварийных ситуаций;
- при незначительном попадании H_2SO_4 на почву, производится механическая очистка почвенного покрова при помощи извести.

3.2.2 Защита атмосферы

Еще одна группа веществ, поступление которых связано с выбросами газов источником которых являются факелы. В число этих веществ входят: различные углеводороды, включая сажу, оксиды серы, азота, сероводород.

В воздух выбрасывается большое число веществ разных классов опасности.

Оксиды серы и азота при оседании на почву могут образовывать слабые кислотные соединения. При этом происходит подкисление почвенной среды. Большая часть растений, непригодная к жизни в данной среде, погибает. Долгое воздействие сажи на

организм человека приводит к образованию болезней дыхательной системы, вплоть до рака легких.

С целью охраны воздушного бассейна выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу:

- полная герметизация системы сбора и транспорта нефти;
- опорожнение и дренаж технологических ёмкостей в закрытую систему с последующим возвращением жидких продуктов в технологический процесс;
- оснащение предохранительными клапанами всей аппаратуры, в которой может возникнуть давление, превышающее расчётное, с учётом требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»;
- помещение насосной снабжено системой датчиков-газоанализаторов для контроля за наличием горючих газов в помещении с сигнализацией в операторную;
- для сбора утечек с сальников насосов установлена подземная емкость с насосной откачкой;
- установка трубных расширителей на факельном газопроводе высокого и низкого давления с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;
- сброс газов от предохранительных клапанов СН-1,2,УБС, СГ-2,ВГС производится в факельную систему;
- высота факелов выбрана с учетом нормативной тепловой нагрузки и рассеивания вредных веществ при выбросе в атмосферу согласно ГОСТ 17.2.302.78;

3.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.3.1 Пожарная безопасность

Технологическая площадка характеризуется большой плотностью размещения оборудования, разветвленной сетью обвязочных технологических трубопроводов, множеством фланцевых соединений и арматуры. Компоновка оборудования может способствовать распространению пожара сверху вниз и наоборот. Для возникновения

пожара, взрыва необходимо наличие трех факторов: горючего вещества, окислителя и источника загорания. Все эти факторы в достаточном количестве присутствуют на установке «РОСК». Для обеспечения пожарной безопасности «РОСК» решающее значение имеет предотвращение возникновения ситуации ведущих к появлению очага и развитию пожара горючей смеси (топочный газ) или парогазовоздушной смеси. При эксплуатации объекта в соответствии с утвержденным регламентом поведения аналитического контроля за работой оборудования согласно графика, своевременности осуществления планово-предупредительного ремонта и ревизии оборудования обеспечивается высокий уровень пожарной безопасности «РОСК».

Основные проблемы пожарной безопасности «РОСК» связаны с выходом топочных газов на выходе из печи. При нарушении безопасного технологического режима возникает возможность образования пожаровзрывоопасной смеси внутри, в закрытых помещениях, на открытых площадках.

Для обнаружения пожара, помещения и установки РОСК оборудованы автоматической пожарной сигнализацией с выводом сигнала на приемно-контрольный прибор, расположенный в помещении операторной. Пожарная сигнализация не является установкой пожаротушения.

К основным причинам пожаров в нефтяной промышленности относятся:

- нарушение технологического процесса и неисправность оборудования (арматуры, трубопроводов);
- отказ в работе технологического и электрооборудования, устройств контроля, управления и защиты;
- неосторожное обращение с огнем и электроприборами;
- короткое замыкание электрических проводов и возникновение разрядов, вызываемых статическим электричеством;
- нарушение правил пожарной безопасности при производстве электрогазосварочных и других огневых работ.

Проект «РОСК» выполнен с учетом взрывопожароопасных свойств топочных газов при соблюдении действующих норм и правил.

Основное оборудование «РОСК» размещено на открытой площадке.

Выделяющиеся горючие газы рассеиваются естественными воздушными потоками, при этом концентрация этих веществ снижается до безопасного уровня. Взрывы и пожары возможны только при больших газовыделениях, связанных с крупными авариями.

Пожары при утечке газа развиваются по следующей схеме: - утечка газа – образование облака взрывоопасной газозвушной смеси - воспламенение газозвушной смеси от постороннего источника - горение, либо взрыв.

То обстоятельство, что при аварийном выбросе взрывоопасных веществ, концентрации на расстоянии от места возрастают не мгновенно, дает возможность принять меры против возможных взрывов на соседних объектах.

Пожаробезопасность установки обеспечена рядом противопожарных мероприятий:

- все наружные площадки обеспечены осветительной аппаратурой;
- используемое технологическое электрооборудование принято во взрывозащищенном исполнении;
- технологические трубопроводы проложены надземно на несгораемых опорах;
- электрооборудование технологических площадок выбрано с учетом категории и зоны взрывоопасности;
- выполнена защита зданий, сооружений оборудования и технологических трубопроводов от статического электричества;
- дыхание емкостного оборудования, резервуаров выполнено через дыхательные клапана с огнепреградителями;
- подземные емкости комплектуются насосными агрегатами с торцовыми уплотнениями;
- для предотвращения аварийного разлива площадки с емкостным оборудованием ограждены бордюром камнем;
- для защиты оборудования от превышения давления на каждом аппарате, работающем под давлением, установлено два предохранительных клапана (рабочий и резервный);

- объем КИПиА позволяет полностью держать под контролем технологические процессы подготовки и откачки нефти, подготовки газа, подтоварной воды. Предусмотрена предаварийная звуковая и световая сигнализация при отклонении технологических параметров от нормы;

- управление электроздвижками, регулирующими клапанами выполнено по месту и дистанционно со щита операторной, что дает возможность при необходимости быстро вмешаться в возникшую нештатную ситуацию;

- контроль наружных технологических площадок предусматривается периодически переносными газоанализаторами типа СГГ – 20;

- предусмотрен контроль загазованности, аварийная сигнализация при достижении концентрации газов 20% от НКПВ: в закрытых помещениях насосных, оперативного узла учета нефти, блока учета газа, блоков дозирования реагентов, замерных установок автоматическими газоанализаторами ГСМ-03, СТМ-10. Газоанализаторы сблокированы с системами вентиляции для автоматического включения при концентрации газов 10% от НКПВ;

- тепловая изоляция для оборудования и трубопроводов «РОСК» выполнена из негорючих материалов;

- территория «РОСК», ограждается по всему периметру, на основном въезде на территорию предусматривается проходная, исключая проникновение посторонних;

- ко всем технологическим сооружениям предусмотрены подъездные дороги.

Снижение взрывоопасных, токсичных веществ на площадках размещения оборудования до безопасных концентраций достигается рассеиванием их в окружающей атмосфере.

Соединения трубопроводов выполнены сваркой, фланцевые соединения используются в местах установки арматуры и в местах присоединения к оборудованию.

Для безопасной и безаварийной работы оборудования сооружений производится постоянный контроль за состоянием аппаратов, трубопроводов, арматуры.

3.3.2 Противопожарные мероприятия

Пенотушение и противопожарное водоснабжение

Пенотушение предусмотрено от передвижной пожарной техники. На объекте смонтирован противопожарный водопровод и пенопровод.

Противопожарное водоснабжение «РОСК» предусмотрено от водовода низкого давления.

Пенораствор подается:

- в компрессорную пожарными рукавами через пеногенератор ГПСС-600, передвижной пожарной техникой;

Пенопровод окрашен в красный цвет.

Водовод для охлаждения РВС подключен к напорному водоводу, проложен надземно на опорах с уклоном. Предусмотрены «спускники» на пенопроводах и водоводах для выпуска оставшейся воды после пожара, также предусмотрен воздушник.

Применение противопожарных средств:

В случае пожаров или возгорания применяются следующие средства пожаротушения:

- пожарные гидранты;
- пенотушение;
- первичные средства пожаротушения (пожарный щит).

На территории «РОСК» установлены пожарные щиты, ящики с песком и кошмой

Автоматическая установка пожарной сигнализации, система оповещения и управления эвакуацией

Состоит из:

- прибор приемно-контрольный охранно-пожарный (ППКОП) – «Корунд-20СИ»;
- прибор приемно-контрольный пусковой охранно-пожарный (ППКПОП) – «Вэрс ПК-4»;
- извещатели дымовые пожарные ИП 212-58 (ПКУ);

- извещатели тепловые пожарные ИП 102-2х2 (насосная нефти), ИП 103-1В (РВС), ИП 101-07е (БРХ-2,5(подача деэмульгатора), БРХ-2,5(подача метанола), ИП 101-4 «Гранат» (БУН);
- извещатели пожарные ручные ИПР;
- система речевого оповещения «Спикер», «А-120»;
- громкоговорители рупорные «12ГР-41В» (территория «РОСК»).

Установка предназначена для обнаружения пожара, обработки, представления в заданном виде извещения о пожаре.

Система оповещения и управления эвакуацией предназначена для сообщения информации о возникновении пожара и необходимости эвакуации.

Схема работы установки:

1. ППКОП выдает световой и звуковой сигнал «Внимание» при срабатывании первого пожарного извещателя в шлейфе, вызванного превышением порогового значения контроля среды.
2. При срабатывании второго пожарного извещателя в шлейфе ППКОП выдает световой и звуковой сигнал «Пожар», происходит запуск речевого оповещения в операторной и на территории объекта.
3. Для ручного оповещения о пожаре предусмотрены ручные пожарные извещатели расположенные на территории объекта.
4. При срабатывании двух пожарных извещателей или ИПР в БУН ППКПОП «Вэрс ПК-4» формирует сигнал на включение автоматической установки пожаротушения в БУН (запуск модулей порошкового пожаротушения «Буран-8» установленных по месту).

3.3.3 Производственные аварии

Аварии на РОСК могут произойти из-за утечки взрывоопасной смеси через неплотности оборудования и трубопроводов, несоблюдения норм технологического режима, повреждения оборудования, замыкания электрооборудования и т.п.

При возникновении пожара обслуживающему персоналу необходимо:

- локализовать очаг возгорания;
- сообщить начальнику смены, позвонить по телефону в пожарную часть;
- не входить в зону задымления при видимости менее 10 м;
- при движении через горящее пространство накрыться с головой мокрым куском плотной ткани;
- тушение электрооборудования и электропроводки осуществляется только после их обесточивания, либо используя углекислотный огнетушитель;
- производство остановить, на щите в операторной нажать кнопку «стоп», что приведет к обработке команды (программы) «стоп» в автоматическом режиме;
- взрывоопасные участки отглушить.

При утечке вредных веществ необходимо быстро покинуть зону выброса перпендикулярно направлению ветра (движению облака газа). При необходимости использовать самоспасатель.

3.3.4 Стихийные бедствия

Возможные стихийные бедствия:

- Ураганы - ветры большой силы и значительной продолжительности, скорость воздушного потока 32 м/сек;
- Наводнение;
- Снежные заносы и обледенения;
- Оползни;
- Пожары.

Стихийные бедствия - это такие явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушают нормальную жизнедеятельность людей и работу объектов, к ним относятся:

- землетрясения - наиболее опасные и разрушительные стихийные бедствия.

Область возникновения подземного удара является очагом землетрясения, в пределах которого происходит высвобождение накапливающейся энергии;

- наводнение - временное затопление значительной части суши в результате действия сил природы. Наводнения могут быть вызваны: выпадением обильных осадков или интенсивным таянием снега;
 - снежные лавины, заносы и обледенения - одно из проявлений стихийных сил в зимний период. Они возникают в результате обильных снегопадов, которые могут продолжаться от нескольких часов до нескольких суток;
 - бури и ураганы - возникают при прохождении глубинных циклонов и представляют собой движение воздушных масс. Несут большие разрушения.
- В случае перечисленных стихийных бедствий необходимо на ЦППН произвести аварийную остановку и срочно эвакуироваться согласно плана эвакуации.

3.3.5 Военно-социальные конфликты

В случае военного конфликта производство останавливается, и весь обслуживающий персонал экстренно эвакуируется. Людям выдаются средства индивидуальной защиты. Решение об эвакуации принимает начальник ГО - глава администрации Омской области.

Для исключения военно-социальных конфликтов на предприятии необходимо усовершенствовать условия труда. Главной задачей повышения надежности производства является создание безопасного оборудования, технологий и орудий труда. В результате автоматизации установки ликвидировано большинство тяжелых и опасных работ, значительно уменьшилась профессиональная заболеваемость.

3.4 Заключение по разделу «Социальная ответственность».

В данном разделе был проведен анализ опасных производственных факторов. Также были рассмотрены основные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение технологического процесса установки «РОСК», в соответствии с нормативными документами.

Улучшение условий труда, повышение его безопасности влияет на результаты производства - на производительность труда, количество и себестоимость выпускаемой продукции. Эти улучшения приводят к снижению производственного травматизма, что приводит к уменьшению затрат на оплату льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда, на оплату последствий такой работы на лечения, переподготовку работников производств в связи с текучестью кадров по причинам, связанными с условиями труда.

Улучшение условий труда приводит к социальным результатам -улучшению здоровья трудящихся, повышению степени удовлетворенности трудом, укреплению трудовой дисциплины, повышению престижа ряда профессий, росту производственной и общественной активности и улучшению ряда других показателей, характеризующих более высокую степень социального развития трудящихся.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка расходов на установку и монтаж теплообменного аппарата ТН	<i>Рассчитать общие затраты на приобретение оборудования, его установку и монтаж, расчет амортизационных отчислений</i>
2. Оценка расходов на оборотные средства	<i>Рассчитать общие затраты на оборотные средства</i>
3. Оценка расходов на оплату труда рабочим	<i>Расчет численности рабочих, установление графика сменности работы, расчет баланса эффективного рабочего времени одного рабочего, расчет годового фонда заработной платы</i>
4. Расчет себестоимости	<i>Расчет себестоимости на единицу продукции и весь объем продукции. Расчет точки безубыточности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Анализ безубыточности

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина Ася Александровна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Золотарев Алексей Николаевич		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители.

Серная кислота широко применяется в производстве цветных и редких металлов, а также в металлообрабатывающей промышленности. Получение ряда красителей (для тканей), лаков и красок (для зданий и машин) лекарственных веществ и некоторых пластмасс также связано с применением серной кислоты. При помощи серной кислоты производят этиловый и другие спирты, некоторые эфиры, ПАВ, ряд ядохимикатов для борьбы с вредителями сельского хозяйства и сорными травами.

Потребителями являются предприятия нефтеперерабатывающей, и химической отрасли.

4.2. Инициация проекта

Таблица 4.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «Газпромнефть_ОНПЗ»	Оптимизация/усовершенствование существующей технологии

Таблица 4.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка рекомендаций по оптимальному использованию ресурсов для получения продукта с необходимым набором качеств
Ожидаемые результаты проекта:	Повышение ресурсоэффективности установки регенерации отработанной кислоты.
Критерии приемки результата проекта:	Снижение себестоимости получаемого продукта без потери качества
Требования к результату проекта:	Требование:
	Целевой продукт соответствует требованиям ГОСТ
	Повышение ресурсоэффективности за счет оптимизации параметров
	Возможность реализации на конкретной установке

4.3 Требуемые производственные мощности:

Для расчёта производственной мощности предварительно устанавливаем:

- а) режим работы отделения;
- б) эффективный фонд времени оборудования.

Режим работы отделения характеризуется непрерывной рабочей неделей, цех работает в 2 смены, продолжительность смены 12 часов. Календарный фонд времени работы оборудования $T_{\text{кал}}$ равен 365 дням или 8 760 часам.

Номинальный фонд времени работы оборудования $T_{\text{ном}}$ при работе по непрерывной неделе составляет:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}},$$

где $T_{\text{вых}} = 108$ дн. — количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 12$ дн. - количество праздничных дней в году.

В нашем случае оборудование работает и в выходные и праздничные дни, соответственно, при расчете номинального фонда рабочего времени их в учет не принимаем.

Эффективный фонд рабочего времени оборудования равен номинальному времени за вычетом остановок на плановый ремонт $-T_{\text{ппр}}$, техосмотры $-T_{\text{то}}$ и аварийные остановки $-T_{\text{авост}}$, производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой плано-предупредительного ремонта (ППР) и определяется по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}} - T_{\text{авост}}$$

$T_{\text{н}}$ — номинальный фонд работы оборудования;

$$T_{\text{н}} = T_{\text{кал}} = 365 \text{ дней} \times 24 \text{ часа} = 8760 \text{ часов}$$

$T_{\text{ппр}}$ — время простоя в плановых ремонтах;

$$T_{\text{ппр}} = 20 \text{ дней} \times 24 \text{ часа} = 480 \text{ часов};$$

$T_{\text{то}}$ — время технологических остановок;

$$T_{\text{то}} = 2 \text{ раза в год} \times 2 \text{ дня} \times 24 \text{ часа} = 96 \text{ часов};$$

$T_{\text{авост}}$ — время простоя в аварийной остановке;

$$T_{\text{авост}} = 1 \text{ день} \times 24 \text{ часа} = 24 \text{ часа};$$

Эффективный фонд времени оборудования составляет:

$$T_{\text{эфф}} = 365 \text{ дней} - 20 \text{ дней} - 4 \text{ дня} - 1 \text{ день} = 340 \text{ дней} \times 24 \text{ часа} = 8160 \text{ часов}$$

На основе расчетов составляем баланс времени работы оборудования

Таблица 4.2 Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество	
	дней	(часов)
Календарный фонд времени	365	(8760)
Номинальный фонд рабочего времени	365	(8760)
Простой оборудования в ремонтах	25	(600)
Эффективное время работы оборудования за год	340	(8160)

Увеличения мощности добиваемся путем увеличения интенсивности подачи сырья в единицу времени.

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где, $P_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования (расчет основан на данных работы основного оборудования, контактного аппарата)

До увеличения мощности производства:

$$P_{\text{час}} = 62,5 \text{ т/час};$$

После увеличения мощности производства на 50%:

$$P_{\text{час}} = 93,5 \text{ т/час};$$

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования;

n – количество однотипного оборудования;

$$n = 1;$$

Производственные мощности до увеличения мощности производства:

$$M = 8160 \text{ часа} \times 62,5 \text{ т/час} \times 1 = 510000 \text{ т}$$

Производственные мощности после увеличения мощности производства на 50%:

$$M = 8160 \text{ часов} \times 93,6 \text{ т/час} \times 1 = 763000 \text{ т/год}$$

Таким образом, за 1 год предприятие произведет 763000 т серной кислоты.

Наименование показателя	Величина показателя по годам	
	1-ый год	2-ой год
1. Объем производства, т./год	510000	763000
2. Цена за единицу продукции, руб./ед.	6500	

4. Объем продаж, руб.	331500000	4959500000
-----------------------	-----------	------------

Таблица 4.3 Производственная программа выпуска продукции

4.3.1 Определение потребности в инвестициях для повышения мощности производства:

В этом разделе необходимо определить сумму инвестиций для осуществления проекта по увеличению производственной мощности. Итоговые данные целесообразно обобщить в форме табл.4.4.

Таблица 4.4 Объекты и направления инвестиций для повышения мощности производства:

Наименование объекта	Кол-во	Цена за Единицу	Общая стоимость	Подробно
1. Приобретение оборудования и других основных фондов			8600000	табл.4.5
2. Расходы на монтаж и наладку оборудования			2322000	табл.4.6
3. Организационные расходы			177660	7% от п.2
Всего инвестиций	11099660			

Таблица 4.5– Потребность в основных фондах для повышения мощности производства:

Основные фонды	Кол-во единиц	Общая стоимость
	Шт.	Руб.
Теплообменники:		
а) для охлаждения печного газа	1	800000
б) для охлаждения олеума(серной кислоты)	3	3000000
в) для нагрева (охлаждения) сернистого газа	4	4800000
Итого	8	8600000

Таблица 4.6. Расходы на наладку и монтаж оборудования для повышения мощности производства:

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Значение
1. На монтаж оборудования	22	1892000

2. На вспомогательное оборудование	5	430000
3. Всего		2322000

Таблица 4.7. Потребность в оборотных средствах для повышения мощности производства:

Годы	Наименование оборотных средств	Ед. изм	Объем выпуска продукции в год,	Норма расхода на 1 продукции, нат.ед.	Цена за единицу сырья, материалов, топлива, энергии, руб.	Кол-во оборотных средств на весь годовой выпуск, нат.ед.	Затраты на оборотные средства, руб.
1	1.Сырье						
	1.1. Деокид серы	тонн	510000	0,328	1000	167280	167280000
	2.Материалы						
	2.1. Ванадиевый катализатор	тонн	510000	0,0003	100000	153	15300000
	3.Топливо						
	3.1. Топочный газ	м ³	510000	2,3	4,31	1173000	5055630
	4.Энергия	кВт*ч	510000	48	4,5	24480000	110160000
5.Незавершенное производство	тонн	100000					
6. Готовая продукция на складе	тонн	410000		6500		2665000000	
2	1.Сырье						
	1.1. Деокид серы	тонн	763000	0,328	1000	250264	250264000
	2.Материалы						
	2.1. Ванадиевый катализатор	тонн	763000	0,0003	100000	228,9	22890000
	3.Топливо						
	3.1. Топочный газ	м ³	763000	2,3	4,31	1754900	7563619
	4.Энергия	кВт*ч	763000	48	4,5	36624000	164808000
5.Незавершенное производство	тонн	100000					
6.Готовая продукция на складе	тонн	663000		6500		4359500000	

4.3.2 Расчет численности промышленно-производственного персонала

Расчет численности промышленно-производственного персонала производим по следующим основным категориям:

- Рабочие: аппаратчик, оператор, машинист;
- ИТР: начальник участка, механик участка;

Для определения численности рабочих, необходимо установить годовой фонд работы одного среднесписочного рабочего. Он зависит от принятого режима работы цеха и продолжительности рабочего дня. Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Баланс эффективного времени

одного среднесписочного работника по 12 часовому сменному графику

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2.	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none">• Выходные	183	2196
3.	Номинальный фонд рабочего времени	182	2184
4.	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none">• очередные и дополнительные отпуска• невыходы по болезни• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства• выполнение государственных и общественных обязанностей	42 - - -	492 - - -
5.	Эффективный фонд рабочего времени	140	1680

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности.

При расчете численности рабочих определяем сменный состав рабочих, явочную, штатную и списочную численность рабочих.

Сменный состав ($Ч_{СМ}$) рабочих определяем по формуле:

$$Ч_{СМ} = n / H_{обс},$$

где: $\text{Ч}_{\text{СМ}}$ — численность рабочих, в одной смене

$n = 41$ — количество обслуживаемых аппаратов;

$N_{\text{обс}} = 5$ — число аппаратов, обслуживаемых одним рабочим (норма обслуживания).

$$\text{Ч}_{\text{СМ}} = 41/5 \approx 8 \text{ чел.}$$

Явочное число ($\text{Ч}_{\text{ЯВ}}$) рабочих определяем по формуле:

$$\text{Ч}_{\text{ЯВ}} = \text{Ч}_{\text{СМ}} \cdot S$$

Где $\text{Ч}_{\text{ЯВ}}$ — явочное число рабочих;

$S = 2$ — число смен в сутках;

$$\text{Ч}_{\text{ЯВ}} = 8 \cdot 2 = 16$$

Коэффициент подмены определяем по формуле:

$$K_{\text{под}} = T_{\text{КАЛ.}} / T_{\text{НОМ.}}$$

$$K_{\text{под}} = 4380 / 2184 = 2.$$

Списочная численность:

$$\text{Ч}_{\text{СП}} = \text{Ч}_{\text{ЯВ}} \cdot K_{\text{под}}$$

$$\text{Ч}_{\text{СП}} = 16 \cdot 2 = 32 \text{ чел.}$$

Расчет численности основных производственных рабочих представлен в таблице 4.9

Таблица 4.9. Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{\text{обс}}$	Число единиц оборудования, n	Число смен в сутки, S	Явочная чис-ть, $\text{Ч}_{\text{ЯВ}}$	Эффект.время рабочего, $T_{\text{эфф}}$, час.	Коэф-т подмены, $K_{\text{под}}$	Списочная чис-ть, $\text{Ч}_{\text{СП}}$
Основные рабочие	5	41	2	16	1680	2	32
ИТР			1	2			2
Всего				18			34

4.4 Расчет фонда заработной платы основного производственного персонала и ИТР.

Расчет заработной платы производственных рабочих представлены в таблице 9.6, а ИТР в таблице 9.7.

Фонд заработной платы рассчитываем исходя из действующих тарифных условий, запроектированной численности основных и вспомогательных рабочих и их фонда рабочего времени.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

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

где $З_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы рабочих, руб;

$З_{\text{доп}}$ - дополнительный фонд заработной платы рабочих, руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} + Д_{\text{н.вр}} + Д_{\text{пр.дни}}$$

где $З_{\text{тар}}$ — тарифный фонд заработной платы, руб;

$Пр$ — оплата премий, тыс. руб;

$Д_{\text{н.вр}}$ - доплата за работу в ночное время, руб;

$Д_{\text{пр.дни}}$ - доплата за работу в праздничные дни, руб;

Тарифный фонд заработной платы:

$$З_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} \cdot Т_{\text{ст}} \cdot Т_{\text{эф.раб}}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ — списочная численность рабочих данного разряда, человек;

$Т_{\text{сп}}$ — дневная тарифная ставка данного разряда, руб.

Размер премий принимаем равным 30 % от тарифного фонда заработной платы.

Доплата за праздничные дни по отношению к тарифному фонду заработной платы составит 100%. (двойной размер оплаты)

$$Т_{\text{пр}} = 12 \text{ дней} \times 12 \text{ часов} = 144 \text{ часа}$$

Фонд дополнительной заработной платы принимаем равным 10 % от фонда основной заработной платы. Здесь также учитываем доплату по районному коэффициенту $K = 1,2$ (ОМСК).

Расчет заработной платы ИТР производим по схеме должностных окладов, установленных в зависимости от сложности производства и занимаемой должности. Для работающих посменно учитываем доплату за работу в ночное время и праздничные дни.

Таблица 4.10 Расчет годового фонда заработной платы

Наименование категорий работников	Разряд		Численность, чел	Тарифная ставка, руб.	Тарифный фонд, руб. $T_{ЭФ,РАБ} = 1680 \text{ часов}$	Премияльные, руб. (30%)	Доплата за работу в ночную смену, руб. (40%) (40%)	Доплата за работу в праздничные дни, руб оплата в двойном размере) $T_{ПР} = 144 \text{ часа}$	Основная зарплата, руб.	Дополнительный фонд зарплат, руб. (10%)	Общий годовой фонд зарплат, руб	Общий годовой фонд оплаты с учетом районного коэффициента (К =1,2), руб
	Ч	З _{Т.СТ}										
Основные рабочие												
Оператор	4	8	125,00	1680000	504000	672000	288000	3144000	314400	3458400	4150080	
Оператор Ст.См	5	4	160,00	1075200	322560	430080	184320	2012160	201216	2213376	2656051,2	
Машинист к.у.	4	8	125,00	1680000	504000	672000	288000	3144000	314400	3458400	4150080	
Машинист к.у.	5	4	140,00	940800	282240	376320	161280	1760640	176064	1936704	2324044,8	
Аппаратчик	4	4	110,00	739200	221760	295680	126720	1383360	138336	1521696	1826035,2	
Аппаратчик	5	4	130,00	873600	262080	349440	149760	1634880	163488	1798328	2157993,6	
ИТОГО	32	815,00	6988800	2096640	2795520	1198080	13079040	1307904	14386904	17264284,8		
ИТР												
Начальник участка	1	250,00	420000	210000		72000	702000	70200	772200	926640		
Механик участка	1	180,00	302400	151200		51840	505440	50544	555984	667180,8		
ИТОГО	2	430,00	722400	361200		123840	1207440	120744	1328184	1593820,8		
ИТОГО ВСЕХ РАБОТАЮЩИХ	34	1245,00	7711200	2457840		1321920	14286480	1428648	15715088	18858105,6		

Таблица 4.11. График сменности

№ смен ы	Часы работы	Дни																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	8 ⁰⁰ 20 ⁰⁰ -	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г
2	20 ⁰⁰ 8 ⁰⁰ -	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б
Отдых		Б	Б	А	В	Б	А	А	А	Б	Б	А	В	Б	А	А	А	Б	Б	А	В	Б	А	А	А	Б	Б	А	В	Б	Б	А
		,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
		Г	В	В	Г	Г	Г	В	Б	Г	В	В	Г	Г	Г	В	Б	Г	В	В	Г	Г	Г	В	Б	Г	В	В	Г	Г	Г	В

4.5 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Нормы амортизационных отчислений возьмем из документа Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 N 1072 "О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР"

Таблица 4.12. Расчет амортизационных отчислений и остаточной стоимости основных фондов

ОФ	Первоначальная стоимость ОФ, С _{пер} , руб.	Норма Амортизационных отчислений	1 год		2 год
			АО, руб.	Сост, руб.	АО, руб.
1. Здания и сооружения производственного назначения	13891005	3,33	462571		462571
2. Передаточные устройства	770000	5,2	40040		40040
Итого:			502611		502611
3. Машины и оборудование					
Теплообменники	31600000	11	3476000	281240000 +8600000	4039640
Насосы	810000		89100		89100
Колонны	25500000		2805000		2805000
Сепаратор	1500000		165000		165000
Ресивер	200000		22000		22000
Пусковой подогреватель	2000000		220000		220000
Печь	15000000		1650000		1650000
Сборник	600000		66000		66000
Компрессора	400000		44000		44000
Электрофильтр	500000		55000		55000
Контактный аппарат	20000000		2200000		2200000
4. Измерительные и регулирующие устройства	932000	10	93200		93200
5. Инструменты со сроком службы более 1 года.	15000	8,5	1275		1275
6. Производственный инвентарь и принадлежности.	366800		31178		31178
7. Хоз. инвентарь (конторское оборудование).	6000		510		510
Итого:	114090805		10937478		11480118

Для определения плановой себестоимости продукции необходимо составить калькуляцию себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск.

Таблица 4.13. Себестоимость продукции до повышения мощности производства.

$$N_{\text{год}} = 510000 \text{ т/год}$$

№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.		Затраты, руб.		Прим.
				На 1 тонну	На $N_{\text{год}}$	На 1 тонну	На $N_{\text{год}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Сырье и основные материалы							
	1.1. Диоксид серы	тонн	1000	0,328	167280	328	167280000	Табл. 4.7.
	1.2. Ванадиевый катализатор	тонн	100000	0,0003	153	30	153000000	
2.	Топливо на технологические цели	м ³	4,31	2,3	1173000	9,913	5055630	Табл. 4.7.
3.	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	квт	4,5	48	24480000	216	110160000	Табл. 4.7.
4.	Заработная плата основных рабочих	руб				33,85	17264284,8	Табл. 4.10.
5.	Социальные отчисления	руб				10,325	5265606,86	30,5% от стр.4
6.	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)							
6.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб				21,45	10937478	
6.2	Затраты на ремонт АЧОФ					1,07	546873,9	5% от стр.6.1
7.	Цеховые расходы							
7.1.	Амортизация	руб				9,85	502611	

	пассивной части основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата							
7.2.	Заработная плата ИТР	руб				3,125	1593820,8	
7.3.	Социальные отчисления	руб				0,953	486115,34	30,5 % от стр.7.2.
7.4.	Охрана труда и техника безопасности	руб				3,70	1885810,56	10%от ЗП всех работающих
7.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	руб				0,7	362250	
7.6.	Отопление помещений	руб				1,26	640000	
7.7	Освещение помещений	руб				0.32	163200	
7.8	Услуги связи, интернет					0,3	120000	
8	Себестоимость							
8.1	Цеховая себестоимость	руб				931,90	475263681,26	
8.2	Общепроизводственные расходы	руб				233	118825920,32	25 % от стр.8.1.
8.3	Производственная себестоимость	руб				1164,57	593929601,58	
9.	Коммерческие расходы							
9.1	Реклама	руб				0,19	100000	
9.2	Сбыт продукции	руб				0,19	100000	
Полная себестоимость, в т.ч.		руб				1165	594129601,58	
Условно-переменные затраты		руб				853,92	435495630	
Условно-постоянные затраты		руб				311,05	158633971,58	

Таблица 4.14. Себестоимость продукции после повышения мощности производства на 50%.

$$N_{\text{год}} = 763000 \text{ т/год}$$

№№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.		Затраты, тыс.руб.		Прим.
				На 1 тонну	На $N_{\text{год}}$	На 1 тонну	На $N_{\text{год}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Сырье и основные материалы	Табл.11						
	1.1. Диоксид серы	тонн	1000	0,328	250264	328	250264000	Табл. 4.7.
	1.2. 1.2 Ванадиевый катализатор	тонн	100000	0,0003	228,9	30	22890000	
2.	Топливо на технологические цели	м ³	4,31	2,3	1754900	9,91	7563619	Табл. 4.7.
3.	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	кВт	4,5	48	36624000	216	164808000	Табл. 4.7.
4.	Заработная плата основных рабочих	руб.				22,627	17264284,8	Табл. 4.10.
5.	Социальные отчисления	руб.				6,9	5265606,86	30,5% от ст.4
6.	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)							
6.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб.				15,05	11480118	
6.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	руб.				0,75	574005,9	5% от стр.6.1
7.	Цеховые расходы							
7.1.	Амортизация пассивной части основных фондов	руб.				6,58	502611	

	(ПЧОФ) или арендная плата							
7.2.	Заработная плата ИТР	руб.				2,088	1593820,8	
7.3.	Социальные отчисления	руб.				0,637	486115,34	30,5 % от стр.7.2.
7.4.	Охрана труда и техника безопасности	руб.				2,47	1885810,56	10%от ЗП всех работа ющих
7.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	руб.				0,5	362250	
7.6.	Отопление помещений	руб.				0,9	640000	
7.7	Освещение помещений	руб.				0,22	163200	
7.8	Услуги связи, интернет					0,16	120000	
8	Себестоимость							
8.1	Цеховая себестоимость	руб.				636,78	485863442,26	
8.2	Общепроизводствен ные расходы	руб.				159,20	121465860,57	25 % от стр.8.1 .
8.3	Производственная себестоимость	руб.				796,00	607329302,83	
9.	Коммерческие расходы							
9.1.	Реклама	руб.				0,13	100000	
9.2.	Сбыт продукции	руб.				0,13	100000	
	Полная себестоимость, в т.ч. стр. 9.1 и 9.2	руб.				796,30	607529302,83	
	Условно-переменные затраты	руб.				583,92	445525619	
	Условно-постоянные затраты	руб.				212,06	161803683,83	

4.6. Определение финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

4.6.1 Оценка абсолютной эффективности.

В этом разделе обобщаются все предыдущие материалы и представляются в стоимостном выражении. Цель этого плана – определение эффективности предлагаемого проекта на основе оценки текущей финансовой информации. Результаты финансовой и инвестиционной деятельности предприятия необходимо представить в виде следующих документов:

- план доходов и расходов;
- анализ безубыточности;

4.6.2. План доходов и расходов при повышении мощности производства на 50%:

План составляется на два года, и в нем отражаются доходы, расходы. Он показывает, как будет формироваться прибыль при увеличении объемов производства в связи с освоением производственной мощности и является прогнозом финансовых результатов деятельности предприятия.

Таблица 4.15. План доходов и расходов

Наименование статьи	Величина показателя по годам проекта	
	1-ый год	2-ой год
1. Объем производства, тонн	510000	763000
2. Цена за 1 тонну, тыс.руб.	6500	6500
3. Выручка от реализации, тыс.руб. (стр.1*стр.2)	3315000000	4959500000
4. Условно-переменные затраты (табл.4.12, табл.4.13), тыс.руб.	435495630	445525619
5. Условно-переменные затраты (табл.4.12, табл.4.13), руб./т	853,92	583,92
6. Условно-постоянные затраты (табл.4.12, табл.4.13), тыс.руб.	158633971,58	161803683,83
7. Затраты на модернизацию.	-	11099660
8. Затраты на оборотные средства.	297795630	445525619

9. Затраты на зарплату.	18858105,6	18858105,6
10. Себестоимость. (табл.4.12, табл.4.13), тыс.руб.	593929601,58	607529302,83
11. Прибыль (стр.3-стр.10)	2721070398,42	4351970697,17

4.6.3. Анализ безубыточности

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

Для построения графика безубыточности, находим:

$$B = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}}$$

Выразим эту формулу через объем продаж (Q):

$$Q * C_i = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}} * Q,$$

где $Z_{\text{пост}}$ - постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб.;

$Z_{\text{пер}}$ - переменные затраты на единицу продукции, руб./т;

C_i - цена единицы продукции, руб./т.

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

При производительности 510000 т./год

Постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб = 158633971,58

Переменные затраты на единицу продукции, руб./т. = 853,92

$$Q_{ТБ1} = \frac{Z_{ПОСТ}}{C_i - Z_{ПЕРi}} = \frac{158633971,58}{6500 - 853,92} = 28097 \text{ т}$$

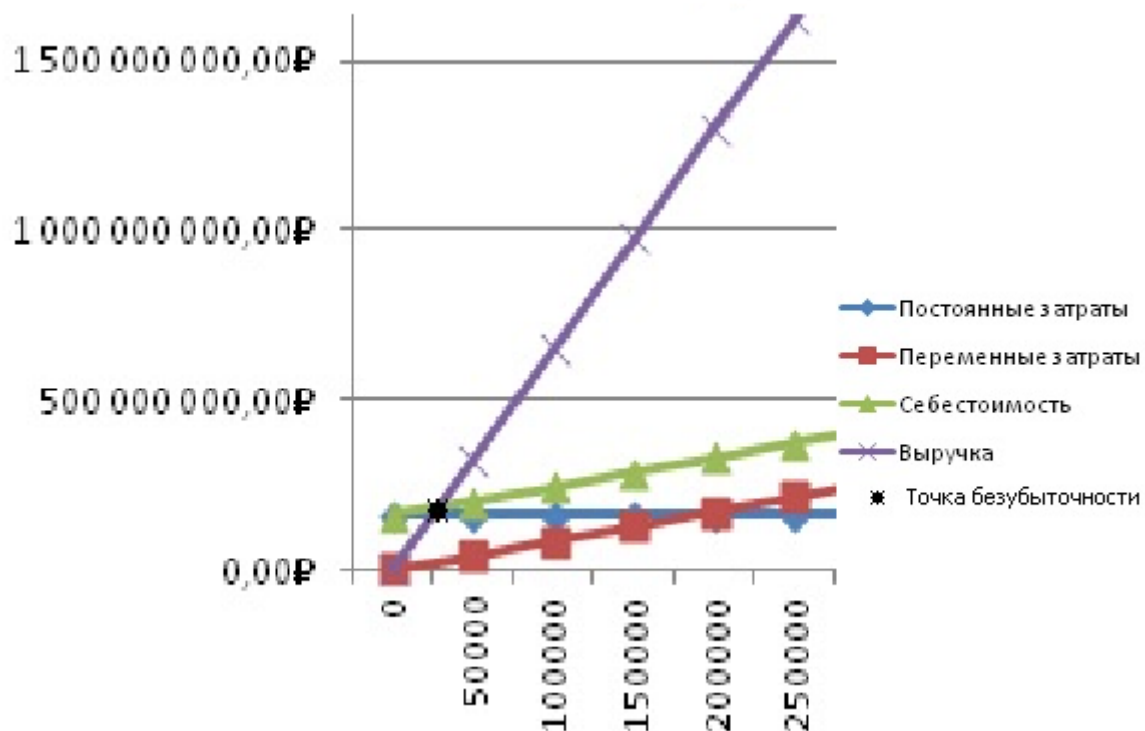


Рис.4.1. Определение точки безубыточности.

При производительности 763000 т./год

Постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб = 161803683,83

Переменные затраты на единицу продукции, руб./т. = 583,92

$$Q_{ТБЗ} = \frac{З_{ПОСТ}}{Ц_i - З_{ПЕРi}} = \frac{161803683,83}{6500 - 583,92} = 27350 \text{ т}$$

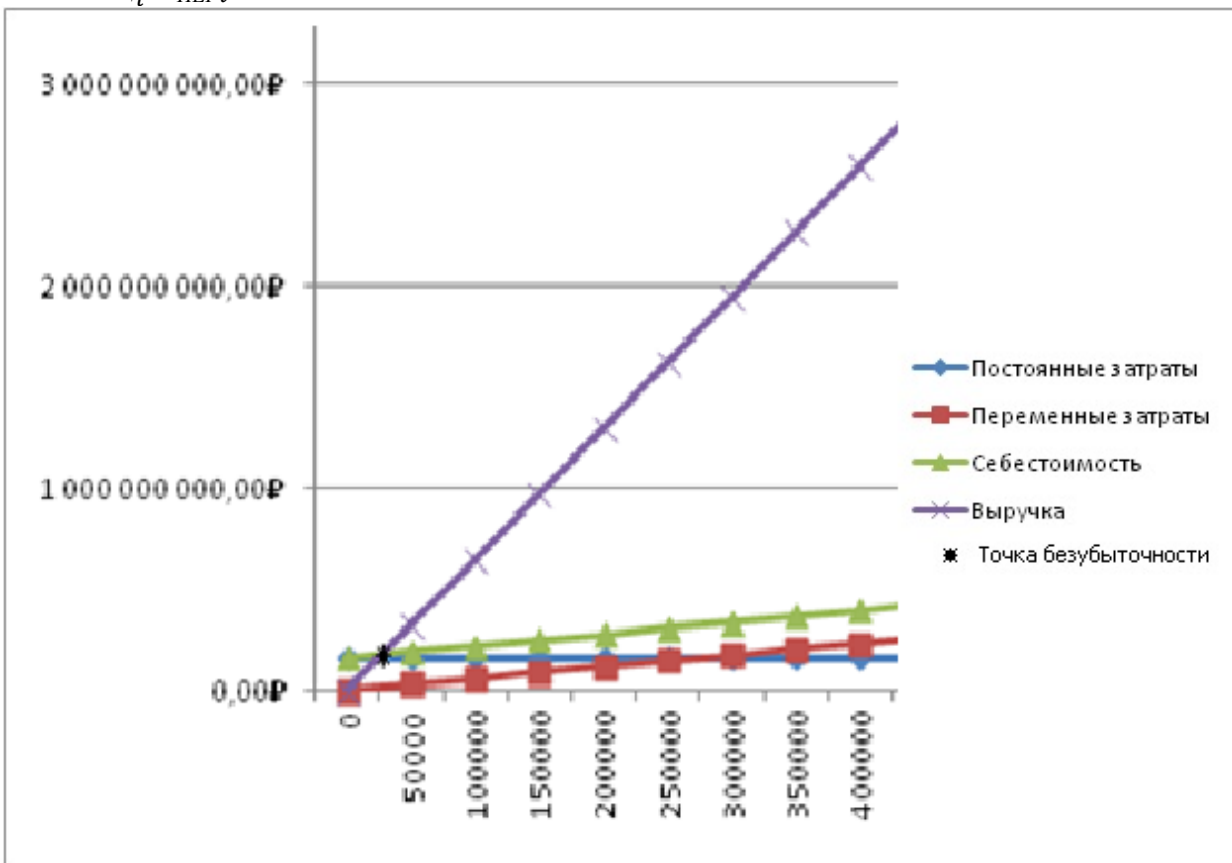


Рис.4.2. Определение точки безубыточности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе представлено следующее:

Расчет теплообменника кожухотрубчатого типа ТН для охлаждения серной кислоты с выполнением технологических расчетов включающих в себя определение параметров протекания процесса, конструктивный расчет для определения основных размеров аппаратов и механические расчеты благодаря которым были найдены и подобраны в соответствии с ГОСТами толщины стенок аппарата, произведены расчеты укрепления отверстий, опорных конструкций, фланцевых соединений.

В разделе «Социальная ответственность» были представлены мероприятия для безопасного и экологичного ведения производственного процесса, а также меры по соблюдению правил пожарной безопасности.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определена прибыль и представлена реализация с расчетом точки безубыточности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/ Л.: Химия 1987 – 567 с.
2. Дж. Перри. Справочник инженера химика том первый. Изд. Химия 1969, стр. 640, рис. 397. Табл. 332.
3. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учебное пособие. Часть I / Том. политехн. ун. – Томск, 2003. – 108с.
4. Н.И. Савельев, П.М. Лукин. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты. Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. 2010. – 80 с.
5. ГОСТ Р 52857.1-2007.Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
6. ГОСТ Р 52857.2-2007.Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
7. ПБ-03-576-03.Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
8. ГОСТ 19903-74.Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.
9. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: «Машиностроение», 1970 – 301с.
10. ГОСТ Р 52857.4-2007."Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений".
11. ГОСТ Р 52857.3-2007.Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
12. ГОСТ 10704-91.Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.
13. ГОСТ 12820-80.Фланцы стальные приварные конструкция и размеры.

14. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Размещение отверстий под трубы в трубных решетках и перегородках. Основные размеры.

15. ГОСТ 52857.7-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.

16. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов.

17. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии– Л.: Изд-во Альянс, 2009. – 830.

18. ГОСТ 26202-84 .Расчет обечаяк и днищ от воздействия опорных нагрузок.

19. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671.

20. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

21. ГН 2.2.5.1313-03 .Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

23. Гост 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

24. Гост 12.1.003-88. Шум. общие требования безопасности.

25. ГОСТ 12.1.012-96 “Вибрационная безопасность. Общие требования

27. РД 34.21.122-87.Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

28. РД 39-22-113-78. Временные правила защиты от проявлений статического электричества на производственных установках и сооружениях нефтяной и газовой промышленности

29. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

