

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчет кожухотрубного теплообменника охлаждения азотной кислоты

УДК 661.561.021.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять базовые математические и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности. ответственности.	Требования ФГОС (ОК1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р9	Активно ладеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2)

Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)
-----	--	--

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

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**
Профиль **Машины и аппараты химических производств**

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич

Тема работы:

Расчёт кожухотрубного теплообменника для охлаждения азотной кислоты
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Кожухотрубчатый теплообменник производительностью 93,6 тонна/час. Режим работы непрерывный. Сырьем производства является не концентрированный азотный кислота. Товарная продукция – «Кислота азотная» по ГОСТ Р 53789-2010.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1) Литературный обзор.2) Краткие физико-химические основы технологии азотнокислотного производства.3) Технологическая схема производства азотной кислоты.4) Расчет кожухотрубчатого теплообменника.5) Социальной ответственность.6) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Заключение (выводы).

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Технологическая схема (1 лист А1) 2) Чертежи общего вида и выносных элементов теплообменника (2-3 лист А1) 3) Точка безубыточности (4 лист А1)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Механический расчёт оборудования	Беляев Василий Михайлович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич		

РЕФЕРАТ.

Выпускная квалификационная работа содержит 128 стр., 22 рис., 27 табл., 29 источников, 2 чертежа, 2 приложения.

Ключевые слова: азотная, кислота, кожухотрубчатый, теплообменник.

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения азотной кислоты (HNO_3) на установке образование азотной кислоты с нитрозных газов.

Цель работы: рассчитать и подобрать теплообменное оборудование для модернизации теплообменного оборудования производства азотной кислоты для увеличения производственной мощности на 20%.

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

Также представлены разделы по социальной ответственности и финансовому менеджменту.

ABSTRACT.

The final qualification work contains 128 pages, 22 figures, 27 tables, 29 sources, 2 drawings, 2 appendices.

Key words: nitric, acid, shell-and-tube, heat exchanger.

The object of study is a shell-and-tube heat exchanger for cooling of nitric acid (HNO₃) at the facility the formation of nitric acid with nitrous gases.

Objective: to calculate and select heat exchange equipment for the modernization of heat exchange equipment for the production of nitric acid to increase production capacity by 20%.

In this work, a technological, structural and strength calculation of the heat exchanger was carried out.

Sections on social responsibility and financial management are also presented.

Оглавление

Введение	11
1 Теоретический часть	13
1.1 Описание технологической схемы	13
1.1.1 Производство азотной кислоты по схеме АК-72	13
1.1.2 Производство слабой азотной кислоты под повышенным давлением	16
1.1.3 Производство концентрированной азотной кислоты прямым синтезом из оксидов азота	16
1.2 Типы кожухотрубчатого теплообменников	18
1.2.1 Теплообменник типа «Н»	19
1.2.2 Теплообменник тип «П»	20
1.2.3 Теплообменник типа «К»	20
1.2.4 Теплообменник типа «ПК»	21
1.2.5 Теплообменник типа «У»	22
2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника	23
2.1 Тепловой расчет теплообменника	23
2.1.1 Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости	24
2.1.2 Расчет движущей силы процесса теплообмена	25
2.1.3 Ориентировочный расчет поверхности теплообмена	26
2.1.4 Выбор теплообменника	26
2.1.5 Уточненный расчет поверхности теплообменника	26
2.2 Конструктивный расчет теплообменника	28
2.3 Механический расчет	34
2.3.1 Обеление трубных деформаций в корпусе теплообменника	34
2.3.2 Расчет толщины стены цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением	35
2.3.3 Расчет толщины стенки распределительной камеры	36
2.3.4 Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата	37
2.3.5 Расчет плоской крышки [6]	38

2.3.6	Расчет штуцеров для аппарата	40
2.3.7	Расчет фланцевого соединения	41
2.3.7.1	Определение расчетных температур.....	43
2.3.7.2	Определение эффективной ширины плоской прокладки	44
2.3.7.3	Определение податливости прокладки	46
2.3.7.4	Определение расчетных параметров фланцев	46
2.3.7.5	Определение угловая податливости фланцев	48
2.3.7.6	Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки	51
2.3.7.7	Расчет фланцев на статическую прочность	52
2.3.7.8	Проверка углов поворота фланцев.....	54
2.3.8	Патрубки в обечайке и распределительной камере	54
2.3.8.1	Расчет патрубков для штуцеров	55
2.3.8.2	Расчет укрепления отверстия при внутреннем давлении	57
2.3.8.3	Подбор стандартных штуцеров для аппарата	58
2.3.9	Проверочные расчеты теплообменника ТН по ГОСТ 52857-2007.....	59
2.3.9.2	Коэффициенты изменение жесткости системы трубы - кожух	62
2.3.9.3	Определение усилий в элементах теплообменного аппарата	63
2.3.9.4	Расчетные напряжения в трубных решетках.....	67
2.3.9.5	Расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость.	70
2.3.10	Расчет массы аппарата	72
2.3.11	Расчет стандартной опоры аппарата	75
3	Социальная ответственность	87
3.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
3.1.1	Правовые нормы трудового законодательства.	87
3.1.2	Эргонометрические требования к правильному расположению и компоновки рабочей зоны.	90
3.2	Производственная безопасность	91
3.2.1	Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника	91

3.2.1.1 Повышенный уровень вибрации	91
3.2.1.2 Повышенный уровень шума	93
3.2.1.3 Электрический ток	93
3.2.1.4 Повышенная температура поверхности оборудования	94
3.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия вредных и опасных факторов.....	95
3.3 Экологическая безопасность	95
3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
3.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	96
3.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению типовой ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	97
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	100
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	100
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	101
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	102
4.1.3 SWOT-анализ.....	103
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	106
4.2. 1 Структура работ в рамках научного исследования	106
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения....	109
4.3 Бюджет научно-технического исследования	117
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	117
4.3.2 Затраты на оборудование	118
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	120
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	122
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	122
4.3.6 Накладные расходы и формирование бюджета	123
Заключение	126
Список используемых источников.....	127

Введение

Сведения о продукте

Азотная кислота HNO_3 — сильная одноосновная кислота. Твёрдая азотная кислота образует две кристаллические модификации моноклинной и ромбической решётками.

Азотная кислота смешивается с водой в любых соотношениях. В водных растворах она практически полностью диссоциирует на ионы. Образует с водой азеотропную смесь с концентрацией 68,4 % и $t_{\text{кип}}$ 120 °С при нормальном атмосферном давлении. Известны два твёрдых гидрата: моногидрат ($\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и тригидрат ($\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Кислота ядовита.

Азотная кислота – одна из важнейших минеральных кислот. По объёму производства в химической промышленности она занимает второе место после серной кислоты. Азотная кислота широко применяется для производства многих продуктов, используемых в промышленности и сельском хозяйстве:

- около 40% ее расходуется на получение сложных и азотных минеральных удобрений;
- азотная кислота используется для производства
- синтетических красителей,
- взрывчатых веществ,
- нитролаков,
- пластических масс,
- лекарственных синтетических веществ и др.;
- железо хорошо растворяется в разбавленной азотной кислоте.

Целью выпускного классификационного работы является – рассчитать и подобрать теплообменное оборудование для модернизации теплообменной оборудования производстве азотной кислоты для улучшения процесса охлаждения на заводе АО «Ферганаазот».

АО «Ферганаазот» является современным высокоавтоматизированным предприятием химической промышленности Узбекистана, входящим в акционерную компанию «Узкимесаноат». Залогом стабильности любого предприятия в

условиях рынка с жесткими экономическими, требованиями и возрастающей конкуренцией является дальнейшее развитие бизнеса удобрений и других химических продуктов, а также стать надежным партнером, гибко реагирующим на изменения требований клиента и рынка повышая качество продукции, обеспечивая передовую технологию производства и совершенствуя квалификацию рабочих. Высокое качество продукции обеспечивается качеством знаний персонала, постоянным совершенствованием технологических процессов, техническим перевооружением и модернизацией оборудования.

В 1958 году в Фергане правительство приняло решение строительство завода по производству азотных удобрений и благодаря упорному труду, в сентябре 1962 года был произведен первый продукт - аммиачная селитра в комплексе с производством слабой азотной кислоты.

2003 году введены в эксплуатацию экологически чистые производства аммиачной селитры неконцентрированной азотной кислоты.

Из ряд возникающих проблем на заводе на сегодняшний день стоит вопрос решить проблему охлаждения слабой азотной кислоты после котла – утилизатора и экономайзера до 45 – 55 °С. Где при охлаждение нитрозных газов происходит конденсация паров воды с образованием 40–45%-ной азотной кислоты.

Для устранения проблему разрабатывается замена теплообменной аппарата на более модернизированной и эффективной охлаждающий до нужной температуры.

Для выполнения разработки (выпускной классификационной работы) используется новейшей технологические приложение для более точного расчета (мадкад), для чертежей (компас), с помощью которых вычисляем нужные параметры теплообменника и по этим данным выбираем подходящий теплообменник по ГОСТом.

1 Теоретический часть

1.1 Описание технологической схемы

Первый завод азотной кислоты, по схеме работающий при атмосферном давлении производительностью 8000 т/год был построен в 1916г. в г. Юзовке (СССР). В основе этого метода лежал метод окисления аммиака, полученного из коксового газа. Метод предложен русским ученым Андреевым. Он же предложил и катализатор - платиновые сетки, изучил процессы окисления аммиака на сетках, абсорбцию оксидов азота водой и получение аммиачной селитры.

В промышленности получают:

- 1) неконцентрированную АК (45-60%);
- 2) концентрированную АК (90%).

Кислота азотная неконцентрированная, полученная абсорбцией оксидов азота водой, используется для получения плава аммиачной селитры, сложных удобрений, для окислительных процессов травления металлов для производства концентрированной азотной кислоты.

В зависимости от условий ведения производственного процесса различают типы схем:

- 1) Схема, работающая под давлением 0,716 МПа.
- 2) Крупнотоннажный агрегат АК-72.
- 3) Крупнотоннажный модернизированный агрегат АК-72М.

1.1.1 Производство азотной кислоты по схеме АК-72.

В основу схемы АК72, разработанной в СССР, положен замкнутый энерготехнологический цикл с двухступенчатой конверсией аммиака и охлаждением нитрозных газов под давлением 0,42–0,47 МПа и абсорбцией оксидов азота при давлении 1,1— 1,26 МПа; продукция выпускается в виде 60%-ной HNO_3 . Первый агрегат АК-72 мощностью 380 тыс. т/год был пущен в 1976 г.

Принципиальная технологическая схема процесса приведена на рисунке 1.1.

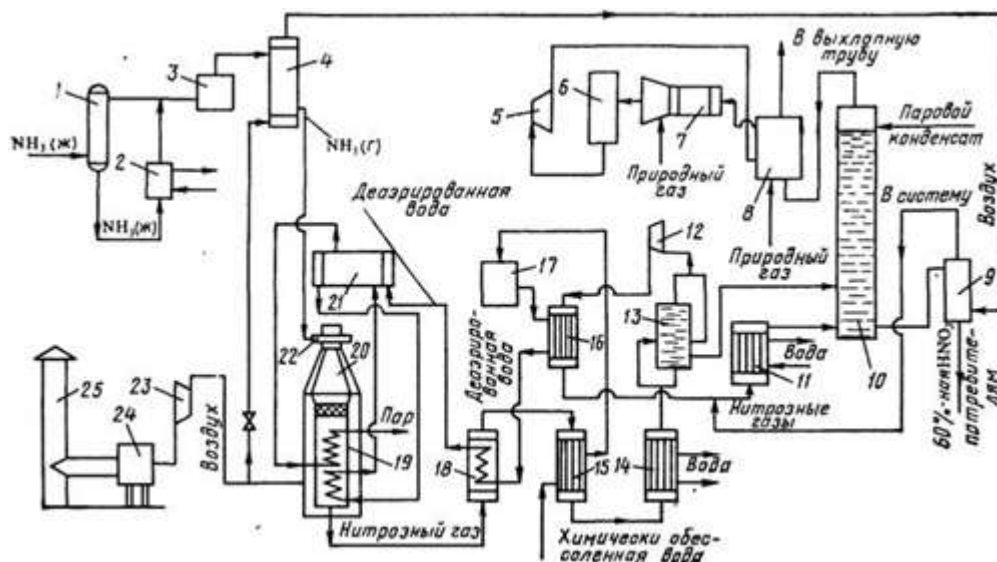


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства азотной кислоты АК-72М:

1 – ресивер; 2 – испаритель; 3, 24 – фильтры; 4, 15 – подогреватели; 5 – рекуперационная турбина; 6 – реактор каталитической очистки; 7 – смеситель; 8 – топочное устройство; 9 – продувочная колонна; 10 – абсорбционная колонна, 11, 14 – водяные холодильники; 12, 23 – компрессоры; 13 – газовый промыватель; 16, 18 – холодильники нитрозных газов; 17 – деаэрационная колонна; 19 – котел-утилизатор; 20 – контактный аппарат; 21 – барабан с сепарационным устройством; 22 – смесительная камера; 25 – труба для забора воздуха.

Воздух забирают из атмосферы через трубу 25, очищают от пыли в фильтре 24, сжимают воздушным компрессором 23 до 0,42 МПа и, разделив на два потока, подают в контактный аппарат и подогреватель аммиака. Жидкий аммиак (парожидкостная смесь) через ресивер 1 поступает в испаритель 2, где испаряется при 10–16 °С и давлении 0,6 МПа.

После испарителя газообразный аммиак очищают от масла и механических примесей в фильтре 3 и направляют в подогреватель аммиака 4, где он нагревается до 80–120 °С воздухом.

Очищенный воздух и аммиак поступают в смесительную камеру 22 контактного аппарата 20. Образующаяся аммиачно-воздушная смесь содержит 9,6–10,0% NH₃. Пройдя тонкую очистку в фильтре, встроенном в контактный аппарат, аммиачно-воздушная смесь поступает на двухступенчатый катализатор, состоящий из трех платиноидных сеток и слоя неплатинового катализатора. Нитрозные газы при температуре 840–860 °С поступают в котел-утилизатор 19, расположенный под контактным

аппаратом, где за счет их охлаждения получают пар давлением 40 МПа с температурой 440 °С. Котел питают химически очищенной водой, деаэрированной в колонне 17. Деаэрированная вода проходит теплообменник 16, где нагревается нитрозными газами до 150 °С, экономайзер 18 и затем поступает в барабан котла-утилизатора 21.

Нитрозные газы после котла-утилизатора охлаждаются в экономайзере 18, отдают свою теплоту в подогревателе 15 и затем поступают в водяной холодильник 14 для дальнейшего охлаждения до 55 °С. При охлаждении нитрозных газов происходит конденсация паров воды с образованием 40–45%-ной азотной кислоты, которая подается в газовый промыватель 13. Сюда же поступают нитрозные газы.

В промывателе происходит одновременно с охлаждением промывка нитрозных газов от нитрит-нитратных солей и дальнейшая конденсация азотной кислоты. Кислота из нижней части промывателя подается в абсорбционную колонну 10, а нитрозные газы сжимаются в компрессоре 12 до 11–12,6 МПа, нагреваясь при этом до 210–230 °С. После сжатия нитрозные газы охлаждают в холодильнике 16 до 155–165 °С. в холодильнике 11 второй ступени до 60–65 °С и подают в абсорбционную колонну 10. На тарелках колонны расположены земеевики для охлаждения кислоты. Сверху в колонну поступает паровой конденсат (H₂O) с температурой не выше 40 °С. Снизу колонны выводится 58–60%-ная азотная кислота; она поступает в продувочную колонну 9 для удаления растворенных в ней оксидов азота и далее направляется в хранилище.

Отходящий газ из абсорбционной колонны нагревается в подогревателе (топочном устройстве) 8, смешивается в смесителе 7 с природным газом и подогретый до 480 °С направляется на каталитическую очистку от оксидов азота в реактор. Катализатором очистки служит алюмопалладиевый катализатор АПК-2. После каталитического разложения выхлопные газы, содержащие до 0,008% оксидов азота при температуре 750 °С, поступают в рекуперационную турбину 5, входящую в состав газотурбинного агрегата. Здесь тепловая энергия выхлопных газов преобразуется в механическую с одновременным снижением давления газа до 0,95–1,05 МПа. Энергия, вырабатываемая в газовой турбине, используется для привода компрессоров 12 и 23 (нитрозного и воздушного).

1.1.2 Производство слабой азотной кислоты под повышенным давлением

В 1960-х годах разработан агрегат по производству азотной кислоты мощностью 120 тыс. т год под давлением 0,716 МПа с использованием высокотемпературной каталитической очистки выхлопных газов, выпускающий продукцию в виде 53-58%-ной HNO_3 [1]. При разработке этой схемы были пересмотрены вопросы экономической эффективности производства по схеме АК-72, в результате чего уменьшена мощность установки с 380 тыс. тонн до 120 тыс. тонн в год и снижено давление во всей схеме. В частности, абсорберы работают при давлении 0,5–0,7 МПа. Улучшена схема очистки хвостовых газов.

1.1.3 Производство концентрированной азотной кислоты прямым синтезом из оксидов азота

Прямой синтез HNO_3 основан на взаимодействии жидких оксидов азота с водой и газообразным кислородом под давлением до 5 МПа по уравнению;



100%-ный диоксид азота при атмосферном давлении и температуре 21,5 °С полностью переходит в жидкое состояние. При окислении аммиака полученный NO окисляется в NO_2 , содержание которого в газовой смеси составляет около 11%. Перевести диоксид азота такой концентрации в жидкое состояние при атмосферном давлении не представляется возможным, поэтому для сжижения оксидов азота применяют повышенное давление.

Концентрирование азотной кислоты с помощью водоотнимающих веществ. Получить концентрированную азотную кислоту перегонкой разбавленной кислоты невозможно. При кипении и перегонке разбавленной азотной кислоты ее можно упарить лишь до содержания 68,4 % HNO_3 (азеотропная смесь), после чего состав перегоняемой смеси не изменится.

В промышленности перегонку разбавленных водных растворов азотной кислоты осуществляют в присутствии водоотнимающих веществ (концентрированная серная кислота, фосфорная кислота, концентрированные растворы нитратов и др.). Применение водоотнимающих веществ дает возможность понизить содержание водяных паров над кипящей смесью и увеличить содержание паров азотной кислоты,

при конденсации которых получается 98%-ная HNO_3 .

Технологическая схема концентрирования азотной кислоты с применением серной кислоты показана на рисунке 1.2.

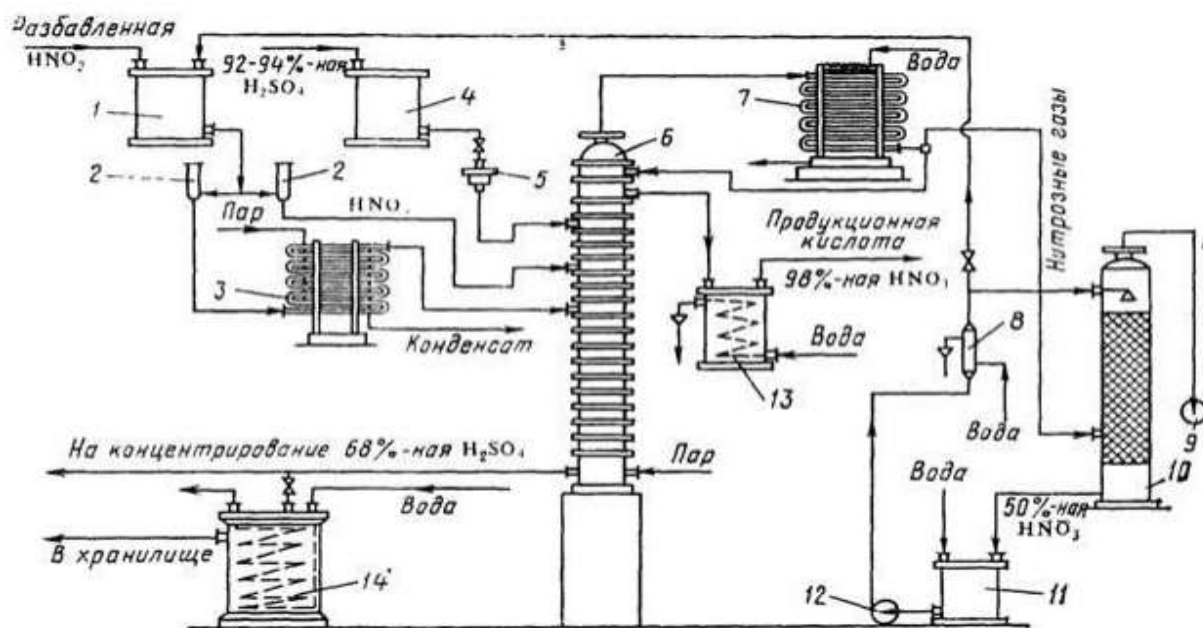


Рисунок 1.2 – Схема концентрирования разбавленной азотной кислоты в присутствии серной кислоты: 1, 4 – напорные баки для азотной и серной кислоты; 2 – контрольные фонари; 3 – испаритель разбавленной азотной кислоты; 5 – коробка для регулирования подачи кислоты; 6 – концентрационная колонна, 7 – холодильник конденсатор; 8 – холодильник кислоты, циркулирующей в башне; 9 – вентилятор; 10 – поглотительная башня; 11 – сборник; 12 – насос; 13 – холодильник концентрированной азотной кислоты, 14 – холодильник отработанной серной кислоты.

Разбавленная азотная кислота из напорного бака 1 подается в колонну 6 через два расходомера 2, включенные параллельно. Один поток кислоты проходит в испаритель 3 и подается в виде смеси жидкости и пара на 10-ю тарелку колонны 6, другой поток без подогрева поступает на вышележащую тарелку.

Серная кислота из напорного бака 4 через регулятор 5 подается в верхнюю часть колонны 6 выше ввода холодного потока азотной кислоты. В нижнюю часть колонны вводится острый пар, при нагревании которым из тройной смеси начинает испаряться азотная кислота.

Пары азотной кислоты при температуре 70–85 °С, поднимаясь вверх, выходят через штуцер в крышке колонны и поступают в холодильник - конденсатор 7. В этих

парах имеются примеси оксидов азота и воды.

В холодильнике-конденсаторе пары азотной кислоты при температуре около 30 °С конденсируются с образованием 98–99%-ной HNO_3 , при этом оксиды азота частично поглощаются этой кислотой. Концентрированная азотная кислота, содержащая оксиды азота, направляется на две верхние тарелки и проходит их последовательно, причем оксиды выдуваются из раствора парами азотной кислоты, поступающими в конденсатор 7. Несконденсировавшиеся пары азотной кислоты и выделившиеся оксиды азота направляют на абсорбцию в башню 10, орошаемую водой. Полученная 50%-ная кислота поступает в сборник 11 и вновь направляется на концентрирование. Концентрированную азотную кислоту после охлаждения направляют на склад готовой продукции.

1.2 Типы кожухотрубчатого теплообменников

Принципиальная схема кожухотрубного теплообменника не зависит от его типа: два теплоносителя подаются через входные фланцы и проходят сквозь теплообменник, не смешиваясь: один – сквозь трубный пучок, другой – внутри корпуса, омывая при этом трубы с первым теплоносителем. В процессе происходит передача тепловой энергии от одного теплоносителя другому сквозь стенки труб трубного пучка. Существует технологический нюанс: нагрев или охлаждение теплоносителя вызывает температурную деформацию, расширение или сжатие, элементов теплообменника – труб, трубной решётки, корпуса.

Если разница температур невелика, то и деформация незначительна. При существенной разнице возникает механическое напряжение в местах соединения элементов с различной температурой, что может привести к повреждению этих соединений или самих элементов. Для смягчения этого эффекта применяются некоторые модификации базового устройства кожухотрубного теплообменника.

Принятая техническая классификация подразумевает использование буквенных обозначений «Н», «К», «П», «У» и «ПК» для различных типов кожухотрубчатых теплообменников:

- тип «Н» – с неподвижно закреплёнными трубными решётками;
- тип «П» – с «плавающей» головкой;

- тип «К» – с температурными компенсаторами на кожухе;
- тип «ПК» – с «плавающей» головкой плюс компенсаторы на ней;
- тип «У» – с трубами, напоминающими формой латинскую букву «U»

Модификации конструкции обуславливают не только температурные технические характеристики агрегата, но и нюансы обслуживания при эксплуатации кожухотрубного теплообменника.

1.2.1 Теплообменник типа «Н»

В агрегате данного типа трубные решётки в количестве 2-х шт. с закреплёнными в них противоположными концами труб фиксируются в корпусе теплообменника неподвижно. Трубы имеют прямую форму; отверстия труб выходят в противостоящие друг другу распределительные камеры, закреплённые на корпусе фланцевым соединением. Подача и вывод теплоносителей осуществляются через штуцеры на кожухе и распределительных камерах (в случае многоходовых теплообменников – на передней камере).

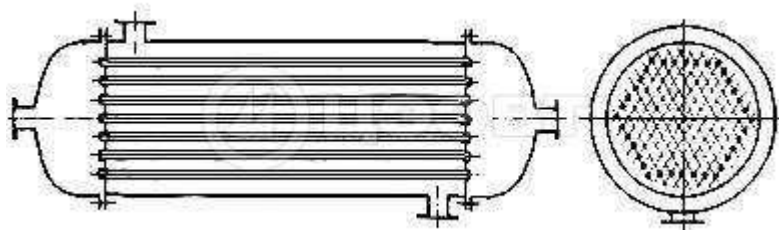


Рисунок 1.3 – Кожухотрубчатый теплообменник типа Н.

К достоинствам данной конструкции можно причислить прежде всего её простоту и, как следствие, отсутствие дополнительных этапов при производстве, влияющих на общую стоимость агрегата. Малое количество деталей придаёт агрегату дополнительную надёжность и упрощает техническое обслуживание. В качестве дополнительного преимущества можно упомянуть возможность механической очистки внутренней поверхности труб, для осуществления которой достаточно снять распределительные камеры с кожуха.

Ввиду отсутствия элементов, компенсирующих температурные деформации материала труб и кожуха, теплообменники типа «Н» рассчитаны на использование в

условиях, когда с разницей температур теплоносителей не превышает 50 градусов Цельсия. Однако, для большинства производственных и хозяйственных нужд такой диапазон достаточен; недорогие и надёжные, кожухотрубные теплообменники типа «Н» являются наиболее распространёнными и используются в качестве водо-водяных подогревателей, охладителей воды и масла, испарителей, конденсаторов и др.

1.2.2 Теплообменник тип «П»

В отличие от типа «Н», в теплообменниках типа «П» (с плавающей головкой) одна из трубных решёток не закрепляется на кожухе, и может в определённых пределах двигаться вдоль него. Таким образом, появляется некоторая свобода для удлинения или сжатия труб под влиянием нагрева или охлаждения. Для обеспечения герметичности системы прохождения теплоносителя, подвижная решётка снабжается собственной крышкой, образующей вместе с решёткой «плавающую» головку (распределительную камеру), давшую название данному типу теплообменников.

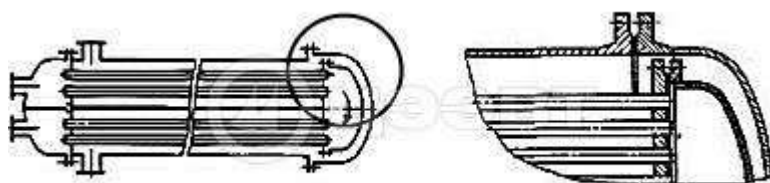


Рисунок 1.4 – Теплообменник с плавающей головкой.

Поскольку распределительная камера пусть незначительно, но смещается относительно корпуса, размещение выпускного штуцера на ней не представляется возможным; в случае необходимости именно такого подключения можно выбрать конструкцию типа «ПК» (плавающая головка с компенсатором).

Теплообменники с плавающей головкой рассчитаны на эксплуатацию при разнице в температурах рабочих сред в 100 и более градусов Цельсия, благодаря чему могут использоваться для специфического круга задач.

1.2.3 Теплообменник типа «К»

При нагреве или охлаждении температурные деформации характерны не только для внутренних элементов теплообменника, но и для его кожуха. Для их нивелирования на агрегатах типа «К» предусмотрены компенсаторы различных видов –

линзовые, сильфонные и др. Они представляют собой \cap -, П- или С-образные полые кольцевые выступы, охватывающие кожух обменника и пружинно расширяющиеся или сжимающиеся при изменении температуры кожуха.

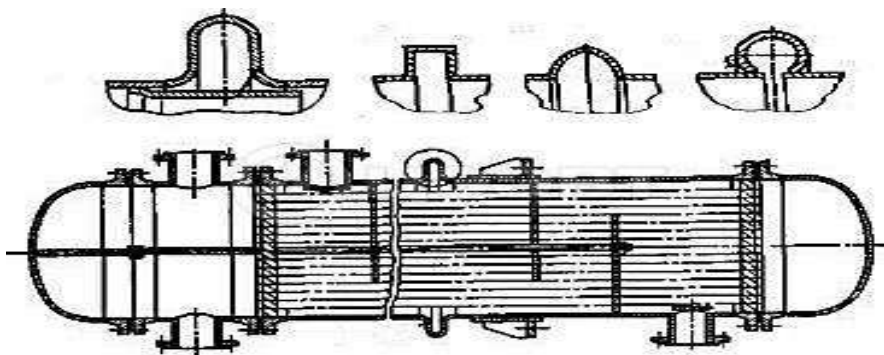


Рисунок 1.5 – Теплообменник с температурными компенсаторами.

Использование компенсаторов на кожухе значительно увеличивает температурный диапазон теплообменников «К» в сравнении с агрегатами типа «Н». Но, поскольку компенсаторы выполняются, как правило, методом вваривания сложных фигурных кольцевых элементов в разрез корпуса, увеличивается и себестоимость таких теплообменников; наличие сварных швов усложняет процесс производства и тестирования агрегата.

1.2.4 Теплообменник типа «ПК»

Компенсаторы могут устанавливаться не только на кожух теплообменника, но и на плавающую головку; точнее – на её выводной штуцер. Принцип действия таких компенсаторов принципиально аналогичен компенсаторам типа «К» с той разницей, что

- демпфируют они сжатие/расширение не кожуха, а трубного пучка;
- диаметральный размер компенсаторов и толщина их стенок меньше;
- устанавливаются они обычно последовательно в несколько штук.

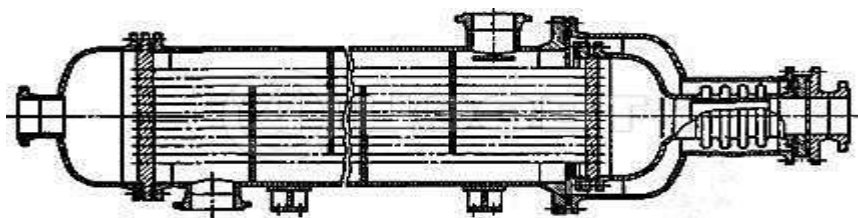


Рисунок 1.6 – Теплообменник с «плавающей» головкой с компенсаторы на

ней.

Достоинством данного типа агрегатов является их полужёсткая конструкция с возможностью осевого подключения систем подачи/вывода теплоносителя. Недостатком – усложнённость и увеличенная стоимость конструкции. При этом, меньшая толщина стенок компенсаторов и наличие сварных швов не оказывает решающего влияния на эксплуатационные характеристики агрегатов типа «ПК», так как учитывается при первоначальном расчёте теплообменника.

1.2.5 Теплообменник типа «У»

В теплообменниках данного типа, в отличие от всех перечисленных выше видов, используются не прямые, а U-образные трубы, которые за счёт своей формы компенсируют температурное расширение материала. Трубная решётка одна; распределительная камера также одна, разделённая на две части – вводную и выпускную.

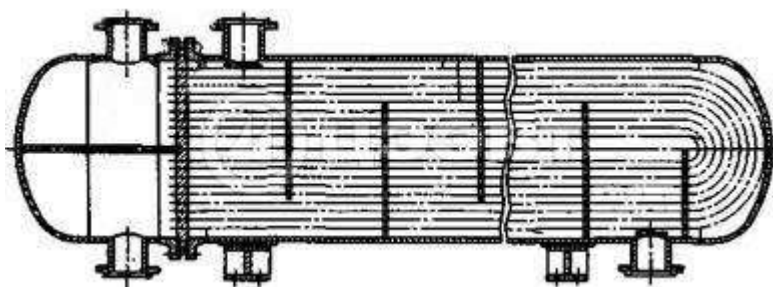


Рисунок 1.7 – Теплообменник U образными трубами.

Достоинством такой конструкции является её относительная простота, сравнимая с простотой агрегатов типа «Н». Недостатками являются затруднённость механической очистки внутренней поверхности труб и то, что замена единственной трубы в случае её повреждения, как правило, требует полного демонтажа всех остальных труб пучка, что экономически не оправдано. Кроме того, форма труб усложняет их плотное взаимное размещение, что сказывается на характеристиках теплоотдачи. Тем не менее, теплообменники типа «У», как и агрегаты типа «ПК», находят применение для выполнения определённых задач.

2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника

2.1 Тепловой расчет теплообменника

Тепловой расчёт ведется по [1]

Производительность 93,6 тонн/ч HNO_3

HNO_3 входит при давлении $P=0,5$ МПа при температуре $T_n=78$ °С.

HNO_3 охлаждается до температуры $T_k=50$ °С.

Температура охлаждающей воды на входе $t_n=21$ °С на выходе $t_k=48$ °С.

Исходные данные

Рабочая среда:	HNO_3	
Холодный теплоноситель:	Вода	
Расход HNO_3 :	$G_k = \frac{93,6 \cdot 1000}{3600} = 26$	кг/с
Температура азотной кислоты на входе теплообменник:	$T_n=78$	°С
Температура азотной кислоты на выходе из теплообменника:	$T_k=50$	°С
Абсолютное давление HNO_3 :	$P_k=0,5$	МПа
Температура воды на входе теплообменник:	$t_n=21$	°С
Температуру воды на выходе из теплообменника примем:	$t_k=48$	°С
Удельная теплоемкость азотной кислоты при $t=20$ [2]:	$C_{pk}=2,72$	кДж/кг*К

Индексы

к - для горячего теплоносителя - HNO_3

в - для хладагента - воды;

ст - для стенки;

n - для начальной температуре на входе теплообменник;

k - для конечной температуре на выхода из теплообменника.

2.1.1 Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости

Динамический коэффициент вязкости воды в зависимости от температуры:

$$T_{\text{ксп}} := \frac{T_n + T_k}{2} = 64 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_{\text{всп}} := \frac{t_n + t_k}{2} = 1.34.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

$$t_{\text{в}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 40 \end{pmatrix} \quad \mu_{\text{в}} := \begin{pmatrix} 1.004 \\ 0.653 \end{pmatrix} \quad [2]$$

$$\mu_{\text{в}} := \text{linterp}(t_{\text{в}}, \mu_{\text{в}}, t_{\text{всп}}) = 0.75 \text{ мПа}\cdot\text{с}$$

Плотность воды в зависимости от температуры:

$$t_{\text{в}} := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \end{pmatrix} \quad \rho_{\text{в}} := \begin{pmatrix} 1000 \\ 998 \\ 992 \\ 983 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [2]$$

$$\rho_{\text{в}} := \text{linterp}(t_{\text{в}}, \rho_{\text{в}}, t_{\text{всп}}) = 993.65$$

Динамический коэффициент вязкости азотной кислоты в зависимости от температуры

$$T_{\text{к}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 70 \end{pmatrix} \quad \mu_{\text{к}} := \begin{pmatrix} 8.00 \\ 5.53 \end{pmatrix} \quad [2]$$

$$\mu_{\text{к}} := \text{linterp}(T_{\text{к}}, \mu_{\text{к}}, T_{\text{ксп}}) = 5.826 \text{ мПа}\cdot\text{с}$$

Плотность азотной кислоты в зависимости от температуры:

$$T_{\text{к}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 70 \end{pmatrix} \quad \rho_{\text{к}} := \begin{pmatrix} 1513 \\ 1441 \end{pmatrix} \quad [2]$$

$$\rho_K := \text{interp}(T_K, \rho_K, T_{Kcp}) = 1.45 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Расчет теплоты охлаждения HNO_3

$$Q := G_K \cdot C_{pK} \cdot (T_n - T_k) = 1.98 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (2.2)$$

Расчет расхода воды:

$$C_{pB} := 4.18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

удельная теплоемкость воды [2]

$$G_B := \frac{Q}{C_{pB} \cdot (t_k - t_n)} = 17.545 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.3)$$

2.1.2 Расчет движущей силы процесса теплообмена

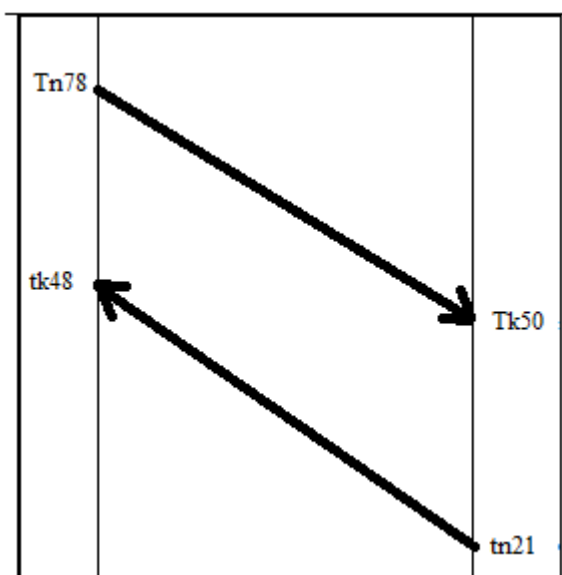


Рисунок 2.1 - Температурный график процесса (противоток)

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

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

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}\right)} = 29.497 \quad (2.4)$$

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:

$$\begin{aligned} K_{\min} &:= 800 & K_{\max} &:= 1700 & \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \\ F_1 &:= \frac{Q \cdot 1000}{K_{\min} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 83.913 & F_2 &:= \frac{Q \cdot 1000}{K_{\max} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 39.489 & \text{м}^2 \\ F_{\max} &:= 85.456 \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.1.4 Выбор теплообменника

$$d_{\text{BH}} := 0.021$$

Режим движение жидкости, предварительно принимаем число Рейнольдса:

$$Re := 12000$$

Требуемая скорость жидкости в трубе:

$$w_{\text{B}} := \frac{Re \cdot \mu_{\text{B}} \cdot 10^{-3}}{d_{\text{BH}} \cdot \rho_{\text{B}}} = 0.431 \quad \text{м/с} \quad (2.6)$$

Объемный расход жидкости:

$$V_{\text{B}} := \frac{G_{\text{B}}}{\rho_{\text{B}}} = 0.018 \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (2.7)$$

Требуемое число труб:

$$\begin{aligned} n &:= \frac{V_{\text{B}}}{0.785 \cdot w_{\text{B}} \cdot d_{\text{BH}}^2} = 118.332 & (2.8) \\ Re &:= 12000 \cdot \frac{60}{60} = 1.2 \times 10^4 \end{aligned}$$

2.1.5 Уточненный расчет поверхности теплообменника

$$\sigma_{\text{ст}} := 0.002 \quad \text{м}$$

толщина стенок труб

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

Коэффициент теплопроводности стенок труб

$$r_{загр1} := 5800$$

$$r_{загр2} := 5800$$

[1]

$$R_{\text{www}} := \frac{\sigma_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{загр1}} + \frac{1}{r_{загр2}} = 3.878 \times 10^{-4}$$

(2.9)

коэффициент зависящий от степени ассоциации жидкости:

для воды - $3.58 \cdot 10^{-8}$

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

$$M_B := 18 \text{ кг/кмоль - мольная масса воды.}$$

Коэффициент теплопроводности воды:

$$\lambda_B := A \cdot c_{pB} \cdot \rho_B \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_B}{M_B}} = 5.662 \times 10^{-4}$$

кВт/м*К

(2.10)

Загрязнение поправочного коэффициента ϵ учитывающего влияние на коэффициент теплоотдачи отношения длины труб L к ее диаметру d , приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Поправочные коэффициенты.

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

$$\epsilon_1 := 1 \quad d_{вн} = 0.021 \text{ м} \quad \lambda_{\text{www}} := 0.57 \text{ Вт/м*К} \quad \mu_B = 0.75 \text{ мПа·с}$$

Определение критерия Прандтля:

$$Pr := c_{pB} \cdot \frac{\mu_B}{\lambda_B} = 5.497$$

$$Pr_{ст} := 5.0315$$

(2.11)

Определения критерия Нуссельта:

$$Nu := 0.021 \cdot \epsilon_1 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} = 81.922$$

(2.12)

$$\alpha_1 := \frac{Nu \cdot \lambda_B}{d_{вн}} = 2.224 \times 10^3$$

(2.13)

Коэффициент теплоотдачи для азотной кислоты:

$$\lambda_K := 0.340 \quad d := 0.025 \quad n = 118.332$$

$$\alpha_2 := 3.78 \cdot \lambda_K \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_K^2 \cdot d \cdot n}{\mu_K \cdot G_K \cdot 10^{-3}}} = 443.303 \quad (2.14)$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2}} = 323.274 \quad (2.15)$$

$$F_{\text{расч}} := \frac{Q \cdot 1000}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K} = 207.658 \quad (2.16)$$

2.2 Конструктивный расчет теплообменника

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

$$f_1 := \frac{G_B}{w_B \cdot \rho_B} = 0.041 \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

Определим количество трубок для одного хода: [3]

$$n := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_{\text{BH}}^2} = 118.332 \text{ шт} \quad (2.18)$$

Принимаем количество труб для одного хода:

$$n := 120$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

d_p расчетный диаметр стенки

$$d_H := 25 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad d_{\text{BH}} := 21 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad [3]$$

$$d_p := \frac{d_H + d_{\text{BH}}}{2} = 0.023 \text{ м} \quad (2.19)$$

$$L := \frac{F_{\text{расч}}}{d_H \cdot \pi \cdot n} = 22.033 \text{ м} \quad (2.20)$$

Определение количества ходов:

l рабочая длина трубок:

$$l := 6 \text{ м} \quad [3]$$

$$z := \frac{L}{l} = 3.672 \quad (2.21)$$

принимаем число ходов в теплообменнике z равное: [3]

$$z := 4$$

Определение общего число трубок в теплообменнике:

$$n_{\text{общ}} := z \cdot n = 480 \text{ ШТ} \quad (2.22)$$

Определяем внутренний диаметр кожуха теплообменника:

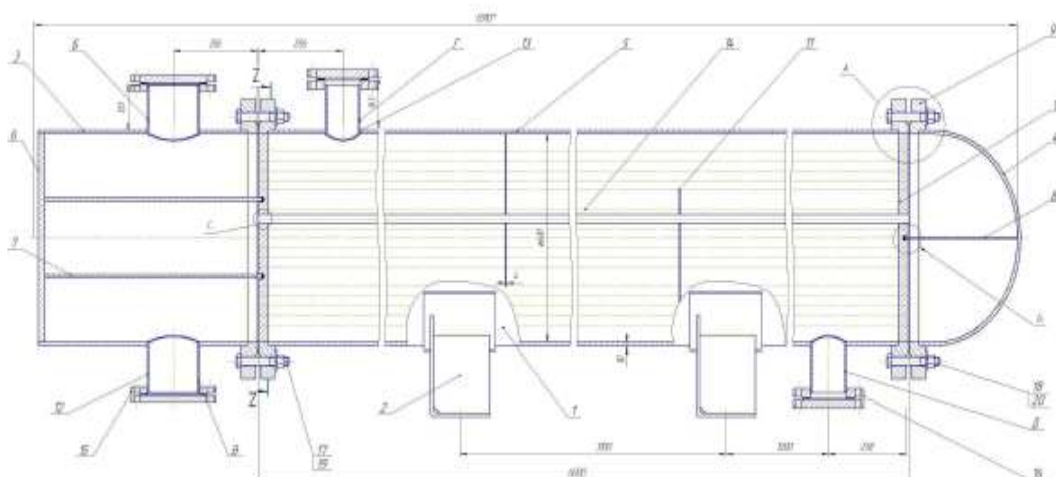
Для многоходного:

$$\eta := 0.6 \quad [3]$$

$$t := 1.2 \cdot 25 + 2 = 32 \text{ мм} \quad (2.23)$$

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 497.803 \text{ мм} \quad (2.24)$$

Исходя из полученных данных подбираем теплообменник по ТУ 3612-024-00220302-02 (9 табл.):



[4]

Рисунок 2.2 - "Горизонтальный теплообменник типа ХН с неподвижной трубной решеткой".

Теплообменник: ХНГ-0.3,0.6-М10/25Г-6-4-Т ТУ 3612-024-00220302-02,
D=600, L1=6000, L=6940, l0=3000, Dy=150, Dy1=100, H/2=530, h=525, A=520,
l2=1200 мм.

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 600 \text{ мм}$$

Длина цилиндрической обечайки:

$$l := 6000 \text{ мм}$$

Крышка аппарата:

Диаметр крышки:

$$D_{\text{кр}} := 600 \text{ мм}$$

Высота отбортованной части крышки:

$$h_2 := 50 \text{ мм}$$

Высота крышки:

$$H_{\text{к}} := 250 + h_2 = 300 \text{ мм} \tag{2.25}$$

$$L := 6940 \text{ мм} \tag{4}$$

Длина аппарата:

Длина распределительной камеры:

$$H_{\text{камеры}} := L - H_{\text{к}} - l = 640 \tag{2.26}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:

$$d_{\text{хол}} := 150 \text{ мм}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя:

$$d_{\text{гор}} := 100 \text{ мм}$$

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{\text{хол}} := 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

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

Выбор конструкционных материалов осуществляем с учетом рабочих температур, агрессивности сред. Выбираем 10X17H13M2T. [17]

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

Допускаемое напряжение материала стали 10X17H13M2T при температуре 20 °C:

$$\sigma_{Д20} := 184 \text{ МПа} \quad [5]$$

Допускаемое напряжение стали 10Х17Н13М2Т при рабочей температуре холодного теплоносителя $t=20$ °С:

$$t_{та61} := 20 \text{ °С}$$

$$\sigma_{та61} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t1} := 184 \text{ МПа} \quad [5]$$

Допускаемое напряжение стали 10Х17Н13М2Т при рабочей температуре горячего теплоносителя $t=78$ °С:

$$t_{та62} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ °С} \quad \sigma_{та62} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t2} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{та62}, \sigma_{та62}, t_{гор}), 0.5) = 176.5 \text{ МПа.} \quad [5]$$

Диаметр труб аппарата: 25x2

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{ср} := 1450 \text{ кг/м}^3 \quad [2]$$

Рабочее избыточное давление в трубном пространстве:

$$P_{тр} := 0.5 \text{ МПа;}$$

Рабочее избыточное давление в межтрубном пространстве:

$$P_{мт} := 0.3 \text{ МПа.}$$

Дополнительные параметры:

Коэффициент запаса устойчивости: [5]

$$n_y := 2.4$$

Вид сварного шва и способ сварки:

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

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

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

$\phi_K := 1$ - коэффициент прочности сварных швов кольца жёсткости.

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно:

Скорость коррозии материала от действия заданной среды: [6]

$$P := 0.1 \text{ мм/год.}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$T := 10 \text{ лет.}$$

Прибавка для компенсации коррозии: [6]

$$c_1 := P \cdot T = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска: [6]

$$c_2 := 0.2 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов: [6]

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.2 \text{ мм.} \quad (2.27)$$

Расчет давлений:

Определим гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 0C):

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \text{ кг/м}^3 \quad [2]$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{\text{оп}} := 1450 \text{ кг/м}^3 \quad [2]$$

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 в гидроиспытаниях:

$$P_{\text{гид1}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^9} = 5.868 \times 10^{-3} \quad \text{МПа} \quad (2.28)$$

Так как коэффициент заполнения аппарата при рабочем состоянии нам не известен, будем считать, что аппарат полностью заполнен.

Давление гидравлического столба при рабочих условиях:

$$P_{\text{гид2}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{ср}}}{10^9} = 8.526 \times 10^{-3} \quad \text{МПа} \quad (2.29) \quad [7]$$

Для дальнейшего расчета выбираем максимально возможное гидравлическое давление, которое может быть оказано на аппарате:

$$P_{\text{гид_макс}} := \max(P_{\text{гид1}}, P_{\text{гид2}}) = 8.526 \times 10^{-3} \quad \text{МПа} \quad (2.30) \quad [7]$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{\text{рас1}} := (P_{\text{тр}} + P_{\text{гид_макс}}) = 0.509 \quad \text{МПа} \quad (2.31)$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 0.663 \quad \text{МПа} \quad (2.32) \quad [7]$$

Условное давление (для горячего теплоносителя):

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 0.53 \quad \text{МПа} \quad (2.33) \quad [7]$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас2}} := (P_{\text{мг}} + P_{\text{гид_макс}}) = 0.309 \quad \text{МПа} \quad (2.34) \quad [7]$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т1}}} = 0.386 \quad \text{МПа} \quad (2.35) \quad [7]$$

Условное давление (межтрубного пространства):

$$P_{\text{усл2}} := P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т1}}} = 0.309 \quad \text{МПа} \quad (2.36)$$

2.3 Механический расчет

2.3.1 Обеление трубных деформаций в корпусе теплообменника

Находим поперечное сечение всех труб и корпуса:

$$D_H := 0.610 \text{ м}$$

$$D := 0.6 \text{ м}$$

$$F_k := 0.785 \cdot (D_H^2 - D^2) = 9.498 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (2.37)$$

$$d_H = 0.025 \text{ м}$$

$$d_{BH} = 0.021 \text{ м}$$

$$F_{тр} := 0.785 \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2) \cdot 220 = 0.032 \text{ м}^2 \quad (2.38)$$

Находим температурные усилия:

коэффициент линейного расширения металла

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

модуль упругости

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$Q_t := \frac{(\alpha \cdot T_{ксп} - \alpha \cdot t_{всп}) \cdot E \cdot F_{тр} \cdot E \cdot F_k}{E \cdot F_{тр} + E \cdot F_k} = 0.77 \quad (2.39)$$

Определение температурных напряжений:

$$\sigma_{\text{труб}} := \frac{Q_t}{F_{тр}} = 24.229 \text{ МПа} \quad (2.40)$$

$$\sigma_{\text{корп}} := \frac{Q_t}{F_k} = 81.057 \text{ МПа} \quad (2.41)$$

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

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

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left[\left(P_{рас2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t2} - P_{рас2}} \right), \left(P_{и2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20} - P_{и2}} \right) \right] = 6.294 \times 10^{-4} \text{ мм} \quad (2.41)[6]$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 1.201 \text{ мм}$$

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

$$s_1 := 5 \text{ мм}$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.2 \text{ мм} \quad (2.42) \quad [6]$$

$$D := 600 \text{ мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории: [8]

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

Пров₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.316 \text{ МПа} \quad (2.43) \quad [6]$$

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

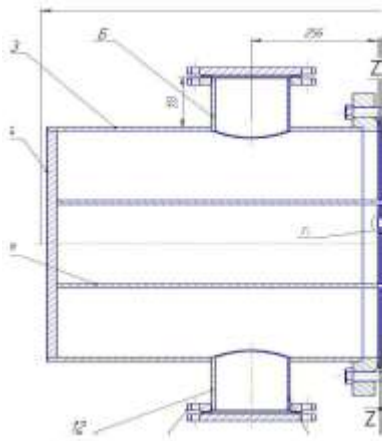


Рисунок 2.3 - Распределительная камера кожухотрубного теплообменника.
 Расчетная толщина стенки распределительной камеры при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left[\left(P_{pac1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - P_{pac1}} \right), \left(P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20} - P_{и1}} \right) \right] = 1.082 \text{ мм} \quad (2.44) \quad [6]$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 2.282 \text{ мм} \quad (2.45) \quad [6]$$

Исполнительная толщина для цилиндрических аппаратов: из ряда стандартных толщин ГОСТ 19903-74.

$$s_2 := 5 \text{ мм} \quad [8]$$

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 допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} = \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 2.316 \text{ МПа} \quad (2.46) \quad [6]$$

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

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{н1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_{н1} \end{cases}$$

Пров₄ = "Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"

Толщина перегородки распределительной камеры:

$$s_{\text{гол_пер}} := s_2 = 5 \text{ мм}$$

$$H_{\text{кам}} := L - H_{\text{к}} - 1 = 640 \text{ мм} \quad (2.47)$$

2.3.4 Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата

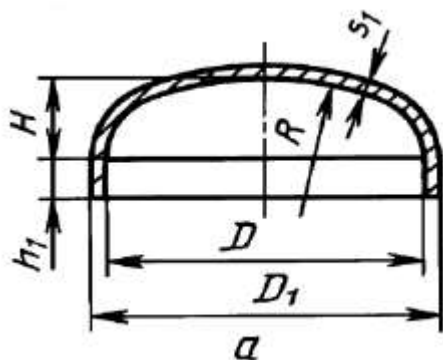


Рисунок 2.4 - Эскиз крышки эллиптической отбортованной стальной

Основные конструктивные параметры эллиптической крышки определяем согласно: [6]

Диаметр днища:

$$D_{\text{дн}} := 600 \text{ мм}$$

Высота отбортованной части днища:

$$h_1 := 50 \text{ мм}$$

Высота днища:

$$H_{\text{д}} := 250 + h_1 = 300 \text{ мм} \quad (2.48)$$

Радиус кривизны вращение крышки равен (для эллиптической оболочек):

$$D := 600 \text{ мм}$$

$$R := D = 600 \text{ мм}$$

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

$$s_{p3} := \max \left[\left(P_{pac1} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - 0.5 P_{pac1}} \right), \left(P_{и1} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20} - 0.5 P_{и1}} \right) \right] = 1.081 \text{ мм} \quad (2.49) \quad [6]$$

Исполнительная толщина аппарата:

$$s_3 := s_{p3} + c = 2.281 \text{ мм} \quad (2.50)$$

Принимаем исполнительную толщину днища (крышки):

$$s_{3в} := 5 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории: [6]

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \left\{ \begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{H_D}{D} \leq 0.5 \end{array} \right. \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₅ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

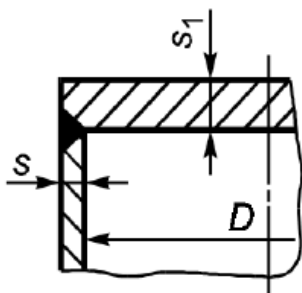
$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_3 - c)}{D + (s_3 - c)} = 2.316 \text{ МПа} \quad (2.51) \quad [6]$$

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]



[6]

$$K_{пл} := 0.45$$

Рисунок 2.5 - Эскиз конструкции плоской крышки теплообменника.

Нахождение расчетной и исполнительной толщины стенки плоского круглого днища.

Коэффициент К в зависимости от конструкции днищ и крышек определяется

по таблице 4 выбирается из ГОСТ:

$$d_1 := 0$$

$$d_2 := d_1$$

$$K_0 := \sqrt{\frac{\left[1 - \left(\frac{d_1 + d_2}{D}\right)^3\right]}{\left[1 - \left(\frac{d_1 + d_2}{D}\right)\right]}} = 1 \quad (2.52) \quad [6]$$

Расчет исполнительной толщины плоской крышки:

$$s_p := K \cdot K_0 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{рас2}}{\phi_T \cdot \sigma_{t1}}} = 11.056 \quad \text{мм} \quad (2.53) \quad [6]$$

$$s_{кр} := \text{Ceil}(s_p + c, 1) = 13 \quad \text{мм} \quad (2.54)$$

Принимаем по конструктивным соображениям толщина с учетом выполнение пазов под трубные перегородки:

$$s_{кр} := 20 \quad \text{мм}$$

Проверка круглой днище проверяем на условие закрепления согласно ГОСТ [7]:

$$Us1 := \left(\begin{array}{l} \text{"Условия закрепления днища выполняется"} \quad \text{if } \frac{s_1 - c}{s_{кр} - c} < 0.5 \\ \text{"Условия закрепления днища НЕ выполняется"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right)$$

Us1 = "Условия закрепления днища выполняется"

Проверочный расчет элементов корпуса от действия внутреннего давления:

Для плоского круглого днища в рабочем состоянии величина допускаемого давления:

$$P_{ра2} := \left(\frac{s_{кр} - c}{K \cdot K_0 \cdot D} \right)^2 \cdot \sigma_{t1} \cdot \phi_T = 0.892 \quad \text{МПа} \quad (2.55)$$

Проверка условия прочности:

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{pac2} \leq P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

При гидравлических испытаниях:

$$P_{и2} := \left(\frac{s_{кр} - c}{K \cdot K_0 \cdot D} \right)^2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_T = 0.892 \quad \text{МПа} \quad (2.56)$$

Проверка условия прочности:

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{pac2} \leq P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

2.3.6 Расчет штуцеров для аппарата

Штуцера горячего теплоносителя:

Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцера:

Для азотной кислоты применяем:

$$\omega_{шт} := 2 \quad \text{м/с}$$
$$d_{вншт} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{шт} \cdot \rho_{ср}}} = 0.021 \text{ м}^{0.5} \quad (2.57)$$

Принимаем $d_{вншт}$ штуцера горячего теплоносителя равным:

$$d_{вншт} := 0.1 \quad \text{м}$$

Истинная скорость течения горячего теплоносителя:

$$\omega_{шт} := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{ср} \cdot d_{вншт}^2} \quad (2.58)$$

$$\omega_{шт} = 1.85447 \quad \text{м/с}$$

Штуцера холодного теплоносителя:

Диаметр условного прохода (внутренней диаметр) штуцера:

Для воды принимаем:

$$\omega_{шт} := 2.5 \quad \text{м/с}$$

$$d_{\text{вншт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{\text{шт}} \cdot \rho_{\text{вод}}}} = 0.023 \text{ м}^{0.5} \quad (2.59)$$

Принимаем диаметр штуцера холодного теплоносителя равным:

$$d_{\text{вншт}} := 0.15 \text{ м}$$

Истинная скорость течения горячего теплоносителя:

$$\omega_{\text{шт}} := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot d_{\text{вншт}}^2} \quad (2.60)$$

$$\omega_{\text{шт}} = 1.47425 \text{ м/с}$$

2.3.7 Расчет фланцевого соединения

Исходные данные для расчета:

Материал обечаек и фланцев - сталь 10Х17Н13М2Т

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - поранит ПК кислотостойкий.

Внутренний диаметр фланца:

$$D_{\text{вн}} := 600 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_{\text{нв}} := 780 \text{ мм}$$

Рабочая температура:

$$t_{\text{гор}} = 78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

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

Материал для болтов: сталь 35Х

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болтов:

$$\sigma_{\text{б}} := 230 \text{ МПа}$$

Толщина прокладки:

$$h_{\text{п}} := 3 \text{ мм}$$

Диаметр болта (рекомендуемый):

$$d := 24 \text{ мм}$$

Ширина прокладки:

$$b_{\text{п}} := 25 \text{ мм}$$

Толщина втулки фланцев:

$$s_0 := 10 \text{ мм}$$

Толщина тарелки фланца:

$$h := 36 \text{ мм}$$

Диаметр окружности расположения болтов:

$$D_{\text{б}} := 725 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} := 630 \text{ мм}$$

Внешняя осевая сила:

$$F := 1.903 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Внешний изгибающий момент:

$$M := 0 \text{ Н*мм}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_0 := 1 \text{ мм}$$

Количество болтов:

$$n := 20 \text{ шт}$$

Фланцы подбираем с гладкой уплатнительной поверхностью учитывая характеристику сред и условных давления среды. Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа.

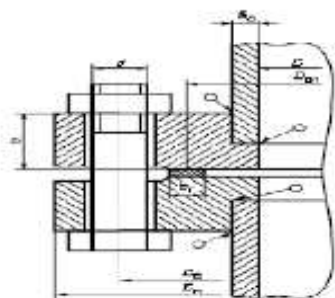


Рисунок 2.6 - Фланцевые соединения с плоскими фланцами.

Выбор крепежных элементов:

$$b_s := 1$$

Определение расчетных параметров.

2.3.7.1 Определение расчетных температур

Расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_{\phi} = 0,96 \cdot t$:

$$t_{\phi} := 0,96 \cdot t = 71,885 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.61) \quad [10]$$

Расчетная температура болтов (шпилек):

$$t_b := 0,85 \cdot t = 63,648 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.62) \quad [10]$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х: [3]

В рабочем состоянии:

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

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_b), 0,5) = 230 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости материала болтов при расчетной температуре:

$$E_b := 2,12 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20б} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$E_{20б} := 2,14 \cdot 10^5 \text{ МПа} \quad [5]$$

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

$$\alpha_b := 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{K} \quad [5]$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 35Х:

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

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0,5) = 230 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma = 230 \text{ МПа} \quad (2.63)$$

Модуль упругости для стали 10X17H13M2T при рабочей температуре:

$$E = 2.15 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое Напряжение для стали 35X при t=20°C:

$$\sigma_{20} := 230 \text{ МПа} \quad [5]$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 230 \text{ МПа} \quad (2.64)$$

Модуль упругости для стали 35X при температуре испытания 20°C:

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

Коэффициент линейного расширения стали 35X при t=20-100 °C:

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

2.3.7.2 Определение эффективной ширины плоской прокладки

$$b_{\text{eff}} := 12 \text{ мм} \quad [10]$$

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

$$b_0 = 12 \text{ мм}$$

Таблица 2.2 - 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 $E_d \cdot 10^{-5}$, МПа	
Плоская неметаллическая прокладка из:						
	резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 85 единиц	0,5	2,0	18,0	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_{\Pi}}{2h_{\Pi}} \right)$
	резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 85 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_{\Pi}}{2h_{\Pi}} \right)$
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20,0 ¹⁾	130,0	0,90	0,02	

По таблицы 2.2, выбираем характеристики изготовленной из стали паронита:

Прокладочный коэффициент:

$$m := 2.5$$

Удельный коэффициент обжатия прокладки:

$$q_{обж} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление:

[10]

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{обж} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки:

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

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 2.375 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.65) \quad [10]$$

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

$$R_{п} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{н1}) & \text{if } P_{н1} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$
$$R_{п} = 3.935 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек):

$$f_b := 324 \text{ мм}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b = 6.48 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (2.66) \quad [10]$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P_{н1} = 2.066 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.67)$$

Уклон втулки принимаем:

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

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{FM} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right| \right) = 1.903 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.67) \quad [10]$$

2.3.7.3 Определение податливости прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} \quad (2.68)$$

$$y_{\Pi} = 5.684 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

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

$$b_s := 1$$

$$L_{60} := 82 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } b_s = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } b_s = 2 \end{cases} \quad [10]$$

$$L_6 = 88.72 \text{ мм}$$

Податливость болтов [10]:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 6.398 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (2.69) \quad [10]$$

2.3.7.4 Определение расчетных параметров фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 77.46 \text{ мм} \quad (2.70) \quad [10]$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad (2.71) \quad [10]$$

$$K = 1.3$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

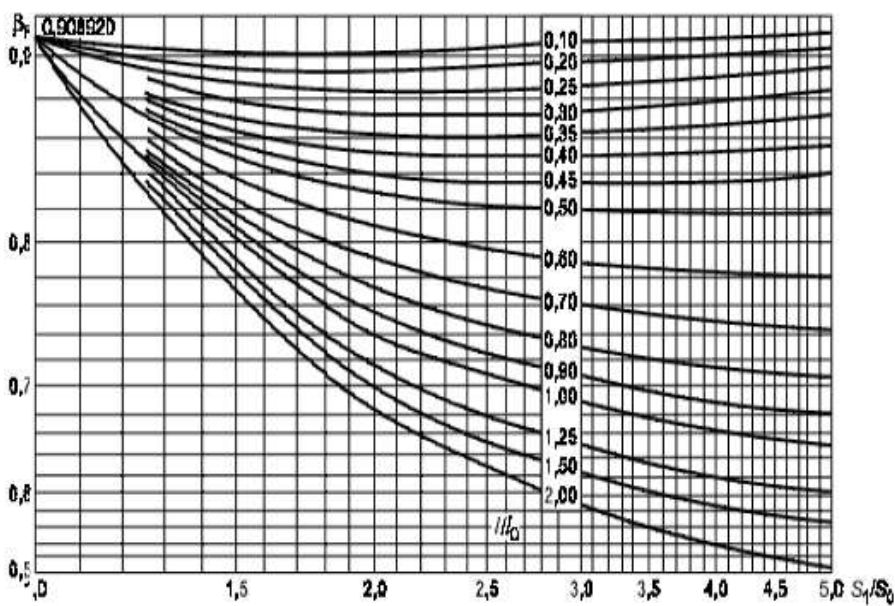
$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.796 \quad (2.72)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 8.299 \quad (2.73) \quad [10]$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{(K)^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 7.621 \quad (2.74) \quad [10]$$

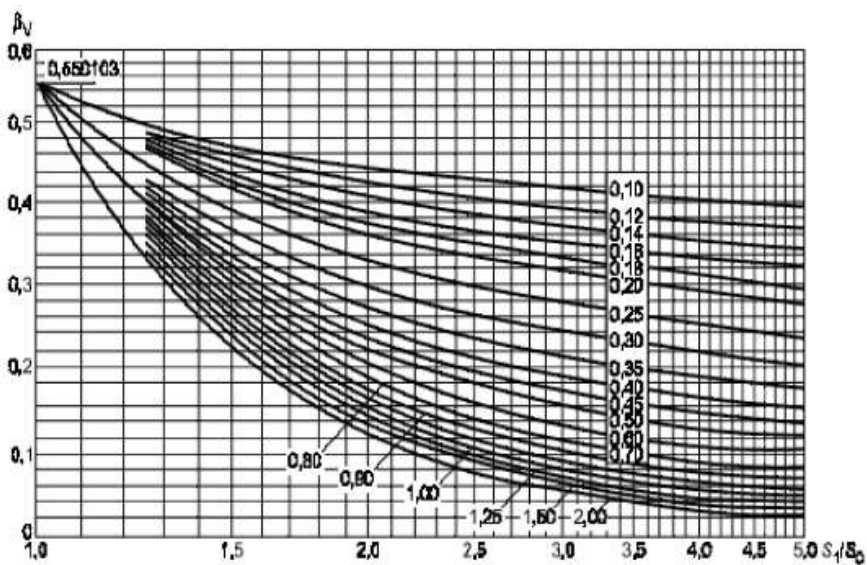
$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.899 \quad (2.75) \quad [10]$$

Коэффициент для фланцевых соединений с приверными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:



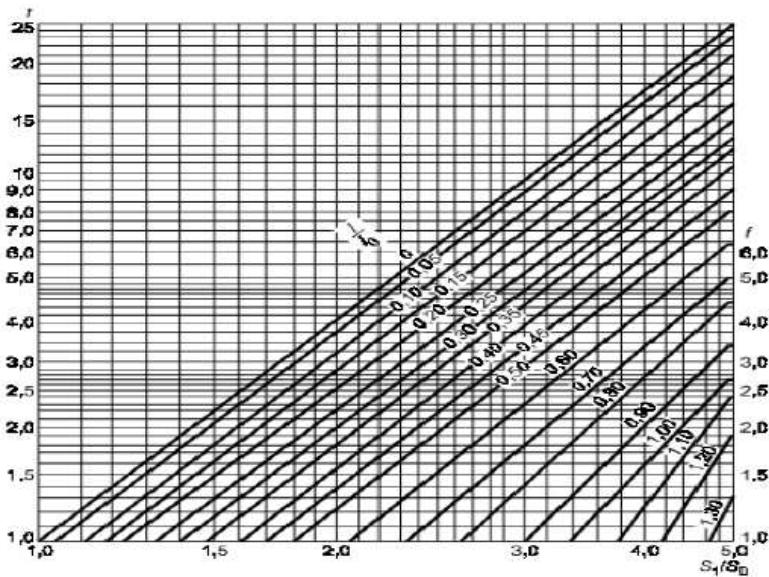
[10]

Рисунок 2.7 - К определению коэффициента β_F .



[10]

Рисунок 2.8 - К определению коэффициента β_V .



[10]

Рисунок 2.9 - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца.

Из рисунка 7,8,9 определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

[10]

$$f := 1$$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad (2.76)$$

[10]

$$\lambda = 1.192$$

2.3.7.5 Определение угловая податливости фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot S_0^2} = 2.534 \times 10^{-10} \quad 1/\text{Н} \cdot \text{мм} \quad (2.77) \quad [10]$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad (2.78)$$

$$y_{\text{фн}} = 4.51 \times 10^{-11} \quad 1/\text{Н} \cdot \text{мм}$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad [10] \quad (2.79)$$

$$C_F = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{\text{пр}} := D \quad \text{мм}$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) \quad (2.80)[10]$$

$$b = 47.5$$

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

$$e_{\text{мм}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad (2.81)$$

$$e = 10 \quad \text{мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_3 := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad (2.82) \quad [10]$$

$$\gamma = 7.939 \times 10^5$$

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

$$\alpha_{\text{мм}} := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} \quad (2.83)$$

$$\alpha = 1.145$$

Коэффициент жёсткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_6 + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad (2.84) \quad [10]$$

$$\alpha_M = 0.903$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] \quad (2.85) \quad [10]$$

$$Q_t = 6.309 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[\left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right], \left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right] \right] \quad (2.86)[10]$$

$$P_{61} = 4.939 \times 10^5 \text{ Н.}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 2.375 \times 10^5 \text{ Н;}$$

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206}) \quad (2.87) \quad [10]$$

$$P_{62} = 5.962 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{6\text{м}} := \max(P_{61}, P_{62}) \quad (2.88)$$

$$P_{6\text{м}} = 5.962 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \quad (2.89) \quad [10]$$

$$P_{\text{бр}} = 5.447 \times 10^5 \text{ Н}$$

2.3.7.6 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} \quad (2.90) \quad [10]$$

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа}$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} \quad (2.91)$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 84.066 \text{ МПа}$$

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

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д,б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Us1_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа}; \quad \sigma_{\text{д,б}} = 230 \text{ МПа}; \quad \sigma_{206} = 230 \text{ МПа}; \quad \sigma_{\text{б2}} = 84.066 \text{ МПа}$$

Удельное давление на проверку:

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad (2.92) \quad [10]$$

$$q = 25.101 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_{\text{д}} \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Us1_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 25.101 \text{ МПа} \quad q_{\text{д}} = 130 \text{ МПа.}$$

2.3.7.7 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоской фланец при зажатии:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad (2.93) \quad [10]$$

$$M_M = 2.832 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e] \quad (2.94)$$

$$M_M = 2.832 \times 10^7$$

$$\text{Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Межрадиальное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайки плоского фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad (2.95)$$

$$\sigma_{0M} = 488.991 \text{ МПа.}$$

Напряжения в тарелки приварного встык фланца или плоского фланца в условиях:

радиональное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad (2.96)$$

$$\sigma_{RM} = 47.753 \text{ МПа}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad (2.97) \quad [10]$$

$$\sigma_{TM} = 91.368 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиальные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с

прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{np}} \quad (2.98)$$

$$\sigma_{0p} = 515.351 \text{ МПа}$$

Максимальные меридиальные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\left[\frac{Q_d + F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right], \left[\frac{Q_d + F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \right] \quad (2.99) \quad [10]$$

$$\sigma_{0mp} = 23.011 \text{ МПа}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad (2.100)$$

$$\sigma_{Rp} = 50.327 \text{ МПа}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad (2.101)$$

$$\sigma_{Tp} = 96.293 \text{ МПа} \quad [10]$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

PR_1 := "Условия статической прочности в при затжке 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 $K_T=1$.

$$K_T := 1.3$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot 3\sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}|) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 580.359 \text{ МПа} \quad (2.102)$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 299 \text{ МПа}$$

$$\max \left(\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \end{array} \right) = 588.634 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 299 \text{ МПа}$$

2.3.7.8 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta_d = 0.013 \quad [10]$$

допускаемый угол поворота приварного встык фланца

$$\Theta = M_p \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad (2.103)$$

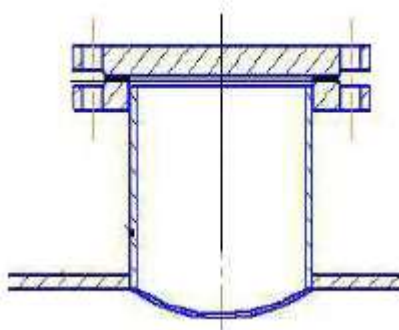
$$\Theta = 7.527 \times 10^{-3}$$

Допускаемый угол поворота плоского фланца:

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

2.3.8 Патрубки в обечайке и распределительной камере



[11]

Рисунок 2.10 - Расчетная схема для штуцера.

2.3.8.1 Расчет патрубков для штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:

$$d_{\text{хол}} = 150 \text{ мм}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя:

$$d_{\text{гор}} = 100 \text{ мм}$$

Материал для патрубка назначаем конструктивно: ст 10Х17Н13М2Т (корпус аппарата изготовлен из такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии).

Рабочая температура холодного теплоносителя: $t_{\text{хол}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p4} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1}} - P_{\text{рас1}}}{P_{\text{н1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20}} - P_{\text{н1}}} \right) \right) = 0.271 \text{ мм} \quad (2.104) [6]$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{н4}} := s_{p4} + c = 1.471 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка: Труба 159х6-ст10Х17Н13Б2Т [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 допустимого внутреннего избыточного давления:

$$P_{.д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_4 - c)}{d_{\text{хол}} + (s_4 - c)} \quad (2.105)$$

$$P_{.д4} = 11.411 \text{ МПа} \quad [4]$$

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

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

Пров₈ = "Условия прочности стенки для патрубка холодного теплоносителя выполняются"

Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя согласно:

$$s_{p5} := \max \left(\left(\frac{P_{рас2} \cdot \frac{d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t2}} - P_{рас2}}{P_{и2} \cdot \frac{d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20}} - P_{и2}} \right) \right) = 0.243 \text{ мм} \quad (2.106) [6]$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 1.443 \text{ мм} \quad (2.107)$$

Принимаем толщину патрубка: Труба 109х6-ст10Х17Н13М2Т [12]

$$s_5 := 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

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

Пров₁₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_5 - c)}{d_{гор} + (s_5 - c)} = 16.855 \quad \text{МПа} \quad (2.108) [4]$$

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

$$Пров_{12} := \begin{cases} \text{"Условия прочности стенки потрубка горячего теплоносителя выполняются"} & \text{if } P_{д5} > P_{н1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{if } P_{д5} < P_{н1} \end{cases}$$

Пров₁₂ = "Условия прочности стенки потрубка горячего теплоносителя выполняются"

2.3.8.2 Расчет укрепления отверстия при внутреннем давлении

$$D_p := D = 600 \quad \text{мм}$$

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

$$d_{рхол} := d_{хол} + 2 \cdot c = 152.4 \quad \text{мм} \quad (2.109) [11]$$

$$d_{ргор} := d_{гор} + 2 \cdot c = 102.4 \quad \text{мм} \quad (2.110)$$

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

$$l_{1хол} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_{хол} + 2 \cdot c) \cdot (s_4 - c)} = 33.808 \quad \text{мм} \quad (2.111)$$

$$l_{1гор} := 1.25 \cdot \sqrt{(d_{гор} + 2 \cdot c) \cdot (s_5 - c)} = 27.713 \quad \text{мм} \quad (2.112) [11]$$

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

$$d_{0хол} := 2 \cdot \left(\frac{s_4 - c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_4 - c)} = 1.818 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (2.113)$$

$$d_{0гор} := 2 \cdot \left(\frac{s_5 - c}{s_{p5}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_5 - c)} = 2.034 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (2.114) [11]$$

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

$$Рас_{отв1} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплоносителя не требуется"} & \text{if } d_{рхол} < d_{0хол} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплоносителя необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рас_{отв1} = "Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплоносителя не требуется"

Проверка необходимости проведения расчета на укрепление отверстий для штуцеров горячего теплоносителя: [11]

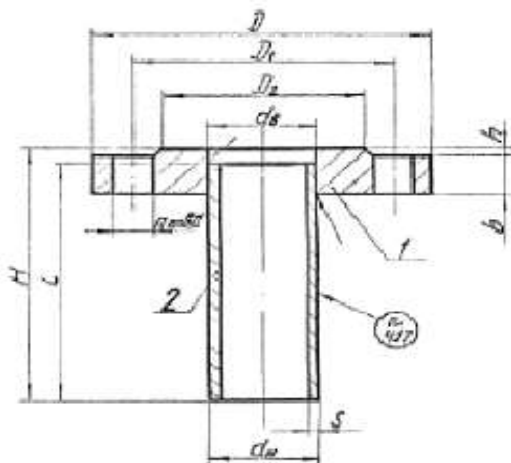
$$\text{Рас}_{\text{отв}2} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя не требуется"} & \text{if } d_{\text{проп}} < d_{0\text{гор}} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рас_{отв2} = "Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя 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.



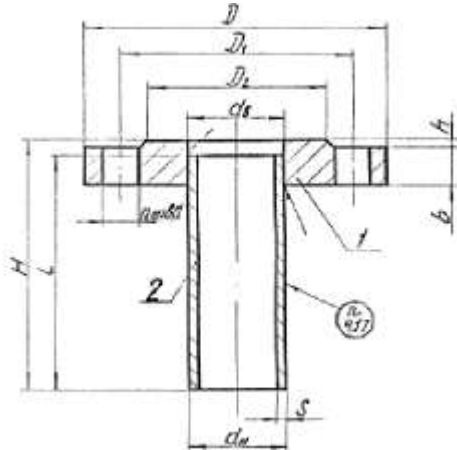
[13]

Рисунок 2.11 - Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа.

Таблица 2.3 - Основные размеры штуцеров горячего теплоносителя.

D_y	d_n	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_u	S	Масса, кг
100	110	215	180	158	23	3	18	8	160	145	108	6	7,1

Штуцера холодного теплоносителя:



[13]

Рисунок 2.12 - Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа.

Таблица 2.4 - Основные размеры штуцеров холодного теплоносителя.

D_y	d_1	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_n	S	Масса, кг
150	161	260	225	202	17	3	18	8	150	133	159	6	9,2

2.3.9 Проверочные расчеты теплообменника ТН по ГОСТ 52857-2007

2.3.9.1 Расчет трубной решетки

Принимаем длину труб аппарата равной 6 метром согласно. [14]

Поскольку в исходных данных не были указаны параметры для расчета конструктивных размеров аппарата, а именно длины труб, площади поперечного сечение, число труб в аппараты. Задаемся сами этими параметрами, исходя из конструктивных соображений.

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

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 480 \text{ труб}$$

Для трубной решетки используем материал ст 10X17H13M2T

Допускаемое напряжение трубной решетки:

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

[5]

Модуль упругости:

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

Для труб используется материал: ст 10X17H13M2T

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C} \quad \sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

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

Модуль упругости:

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

Внутренний диаметр аппарата:

$$D = 600 \text{ мм}$$

$$d_{\text{тр}} = 21 \text{ мм}$$

Диаметр трубы внутренний:

Толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} = 2 \text{ мм}$$

$$d_{\text{нр}} = 25 \text{ мм}$$

Диаметр трубы наружный:

$$a := \frac{D}{2} = 300 \text{ мм} \quad (2.115)$$

Внутренний радиус кожуха:

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 579$$

Расчет трубной решетки: согласно относительную характеристику без трубного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 0.518 \quad (2.116) \quad [15]$$

Шаг расположения труб, располагаются по равнобедренному треугольнику:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нр}} + 2 = 32 \text{ мм} \quad (2.117) [15]$$

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_{\text{фр}} := \frac{t - 21}{t} = 0.344 \quad (2.118) \quad [15]$$

Толщина трубной решетки:

$$s_{\text{фр}} := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{и2}}}{\sigma_{\text{реш}} \cdot \phi_{\text{фр}}}} + c = 16.361 \quad \text{мм} \quad (2.119) \quad [15]$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_{\text{фр}} := 25 \quad \text{мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубной решетку вычисляют по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_{\text{м}} := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.776 \quad (2.120) \quad [15]$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_{\text{т}} := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.842 \quad (2.121) \quad [15]$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле:

$$K_{\text{у}} := \frac{E_{\text{тр120}} \cdot (\eta_{\text{т}} - \eta_{\text{м}})}{l_{\text{труб}}} = 1.109 \quad \text{Н/мм}^3 \quad (2.122) \quad [15]$$

Модуль упругости кожуха при температуре 78 °С:

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

Приведенные отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

$$\rho := \frac{K_{\text{у}} \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 3.583 \quad (2.123) \quad [15]$$

2.3.9.2 Коэффициенты изменение жесткости системы трубы - кожух

Коэффициенты изменение жесткости системы трубы - кожух по формулам:

Для аппарата с неподвижными трубными решетками $K_{p1}=K_{q1}=0$

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

$$K_{p1} := 0$$

K_q - коэффициент изменение жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы:

$$K_q := 1 + K_{p1} = 1 \quad (2.124) \quad [15]$$

K_p - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии давления:

$$K_p := 1 + K_{q1} = 1 \quad (2.125) \quad [15]$$

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляют по формуле:

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

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0 :

$$\eta_T = 0.842$$

Таблица 2.5 - 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

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.85 \end{pmatrix} \quad [15]$$

$$\psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0.59 \\ 0.68 \end{pmatrix}$$

Коэффициент прочности перфорированной трубы:

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{interp}[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}, (\eta_T)], 0.005] = 0.665$$

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

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{реш}}} = 8.59 \times 10^{-3} \quad (2.126) \quad [15]$$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы вычисляют по формуле:

[15]

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 4.974$$

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;

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

- Максимальное давление в межтрубном пространстве;

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

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} + \frac{D}{2} = 345 \quad \text{мм} \quad (2.127)$$

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

(2.128)

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{n_{тр} \cdot (d_{нр} - 2 \cdot s_{тр})}{4 \cdot a_1^2} = 1.128 \times 10^{-3}$$

Приведенное давления p_0

вычисляется по формуле:

$$\alpha_k := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

коэффициент линейного расширения кожуха, ГОСТ Р52857.1-2007

таблица Г.1, 1/С

$$\alpha_T := \alpha_k$$

[15]

Отак как материал идентичен

$$p_0 := [\alpha_k \cdot (t_{гор} - 20) - \alpha_T \cdot (t_{хол} - 20)] \cdot K_y \cdot 1 + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5p \cdot K_q)] \cdot P_{и2} - \dots$$

$$-\left[\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)\right] \cdot P_{\max 1} \quad (2.129)$$

$$p_0 := 4.922 \text{ МПа}$$

Приведенная отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляются по формуле:

$$p_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = 7.565 \times 10^6 \text{ Па} \quad (2.130)$$

Коэффициенты, учитывавшие влияние безтрубного края и поддерживающие влияние труб ф1, ф2, ф3 определяют по таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Коэффициенты ф1, ф2, ф3.

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	1,66	2,76	3,76	4,66	6,36

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	6,16	7,17	8,19	9,2	10,21	ω
ϕ_3	6,03	7,36	8,81	10,24	11,66	13,08	14,5	$\sqrt{2\omega}$

Безразмерный параметр системы решетка - труба.

$$\omega = 4.974$$

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

$$\phi_1 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{1_таб}, \phi_{1_таб}, \omega), 0.05) = 8.1$$

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

$$\phi_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{2_таб}, \phi_{2_таб}, \omega), 0.05) = 5.4$$

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

$$\phi_3 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{3_таб}, \phi_{3_таб}, \omega), 0.05) = 7.55$$

Значения T1, T2, T3 вычисляются по формулам: [15]

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = -2.355 \quad (2.131)$$

$$T_1 := \phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 7.192$$

$$T_2 := \phi_2 \cdot t_1 = -12.719$$

(2.132)

$$T_3 := \phi_3 \cdot m_n = 3.912$$

(2.133)

Изгибающий момент и перерезывающую силу распределенные по краю трубно решетки, вычисляют по формулам:

- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 5 \text{ мм}$$

$$s_{2k} := 4 \text{ мм}$$

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

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.034 \text{ 1/мм} \quad (2.134) [15]$$

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

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.038 \text{ 1/мм} \quad (2.135) [15]$$

h_1 - толщина тарелки фланца кожуха, мм:

$$h_1 = 50 \text{ мм}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 2.377 \times 10^3 \quad (2.136) [15]$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб второго фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_1}{\beta_2^2} = 2.042 \times 10^3 \quad (2.137)$$

p_1 - приведенное давление на фланец:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) = 3.949 \times 10^4 \text{ Па} \quad (2.138)$$

расчетное давление охлаждения в камере аппарата:

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

$$M_{\Pi} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 351.949 \quad \text{Н*мм} \quad (2.139) [15]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 268.065 \quad \text{Н} \quad (2.140)$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = -7.444 \times 10^4 \quad \text{Н*мм} \quad (2.141) [15]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = 138.894 \quad \text{Н}$$

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

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 + \phi_1 \cdot Q_a + \phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = -1.294 \times 10^7 \quad \text{Н} \quad (2.142) [15]$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 21 \quad \text{мм} \quad (2.143) [15]$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴:

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 9.628 \times 10^3 \quad \text{мм}^4 \quad (2.144) [15]$$

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

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

$$l_{\text{пр}} := l_{\text{труб}} = 6 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad [15]$$

$$i_{\text{л}} := s_p$$

$$M_T := \frac{E_{\text{тр}} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\phi_2 \cdot Q_a + \phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -8.844 \times 10^3 \quad (2.145)$$

Усилия в кожухе вычисляются по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot P_{н2} - Q_{п} = -134.252 \quad \text{Н} \quad (2.146)$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{ф} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{п} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{п}) - \frac{P_{мак1}}{2 \cdot \beta_1^2} = -1.107 \times 10^5 \quad \text{Н*мм} \quad (2.147)$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F_{\text{ос}} := \pi \cdot D \cdot Q_k = -2.531 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (2.148)$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

D_H - наружный диаметр фланца;

$$D_H = 780 \quad \text{мм}$$

s_p - толщина трубной решетки;

$$s_p = 25 \quad \text{мм}$$

$$s_{1p} := s_p = 25 \quad \text{мм}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 90 \quad \text{мм} \quad (2.149)$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

[15]

$$R_{1\text{ср}} := \frac{D_H - D}{4} = 45 \quad \text{мм} \quad (2.150)$$

2.3.9.4 Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубные решетки в месте соединения с кожухом вычисляются по формулам:

- изгибные

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\Pi}|}{(s_{1p} - c)^2} = 3.728 \quad \text{МПа} \quad (2.151) [15]$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{\Pi}|}{s_{1p} - c} = 11.263 \quad \text{МПа} \quad (2.152)$$

ω - коэффициент, определяемый по таблице 6, в зависимости от ω и n_B :

$$\omega = 4.974$$

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

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = -0.217 \quad (2.153) [15]$$

Таблица 2.7 - Коэффициент ω .

n_a	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	0,980	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	0,880	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	0,778	0,818	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

где A - коэффициент, определяемой по таблице 6 в зависимости от ω и m_A .

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -4.604 \quad (2.154) [15]$$

$$A := 0.812$$

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

$$B := 1.14$$

$$((B \cdot |M_a|)) = 8.486 \times 10^4 \quad \text{Н*мм} \quad (2.155)$$

$$A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 1.313 \times 10^4 \quad \text{Н*мм} \quad (2.156)$$

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

- изгибные:

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi_2 \cdot (s_{1p} - c)^2} = 78.345 \quad \text{МПа} \quad (2.157) [15]$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 16.977 \quad \text{МПа} \quad (2.158) [15]$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mk} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 35.329 \quad \text{МПа} \quad (2.159) [15]$$

изгибные:

$$\sigma_{uk} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 4.599 \times 10^4 \quad \text{МПа} \quad (2.160) [15]$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{P_{\max 1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 52.895 \quad \text{МПа} \quad (2.161) [15]$$

изгибные:

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{uk} = 1.38 \times 10^4 \quad \text{МПа} \quad (2.162) [15]$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2r} := \frac{(d_{np} - s_{tr}) \max(|P_{\max 2}|, |P_{\max 1}|, |P_{\max 2} - P_{\max 1}|)}{2 \cdot s_{tr}} = 3.853 \quad \text{МПа} \quad (2.163) [15]$$

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

$$\sigma_{др} := 184 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решеток.

Проверка статистической прочности:

[15]

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

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

Проверка прочности и устойчивости кожуха:

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условия статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

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

$$\sigma_{Д200} := 184 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Мх} \leq 1.3 \sigma_{Д200} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[15]

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

2.3.9.5 Расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость.

Расчет крепления труб к решетке:

условие статической прочности труб:

$$\text{Пров}_{\text{ст_проч}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2т} \leq \sigma_{тр120} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[15]

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

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

K_T - коэффициент условий работы при расчетах 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;

$$l_{1R} := 520 \text{ мм}$$

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

$$l_{2R} := 520 \text{ мм}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

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

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

- для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр}120}}{E_{\text{тр}120}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 1.517 \quad (2.164) \quad [15]$$

- для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр}120}}{E_{\text{тр}120}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 1.314 \quad (2.165) \quad [15]$$

$$\varphi_T := 0.8$$

из рисунка 2.13.

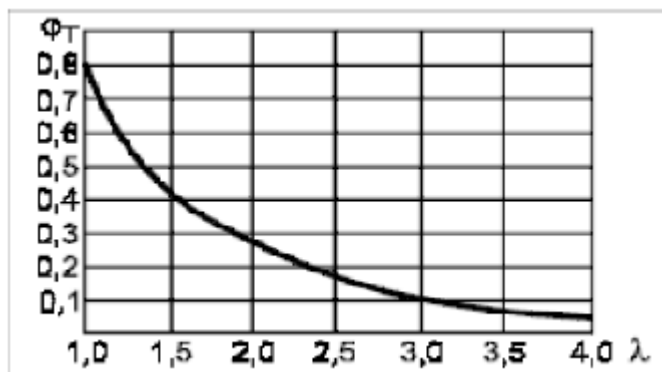


Рисунок 2.13 - Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе.

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:

$$f_{\text{мм}} := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 540.423 \text{ мм} \quad (2.166) \quad [15]$$

Трубная нагрузка:

$$q_{\text{расч}} := P_{\text{расч}} \cdot f = 274.819 \quad (2.167)$$

$$Q := 63570 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{тр}} := \frac{Q}{n_{\text{тр}}} = 132.438 \text{ Н} \quad (2.168) [15]$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_T := 4.853 \cdot 10^8 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения трубы:

$$d_H = 0.025 \text{ м} \quad [15]$$

$$d_B := 0.021 \text{ м.}$$

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 1.445 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.169)$$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 7.013 \times 10^4 \quad (2.170)$$

Суммарная усилие:

$$q_c := q - q_T = -7 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.171)$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 1.686 \times 10^3 \text{ Н/м} \quad (2.172) [15]$$

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

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

Пров_{проч} = "Условие прочности выполняется"

2.3.10 Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата: $D_{\text{кор}} := 0.6 \text{ м.}$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха: $s_{\text{ж}} := 0.01 \text{ м}$

Толщина стенки распределительной камеры: $s_2 := 0.01$ м

Толщина стенки днища: $s_3 := 0.01$ м

Высота отбортовки крышки: $h_1 := 0$ м

Высота отбортовки днища: $h := 0.05$ м

Длина трубной решетки: $l := 0.05$ м $D_{\text{труб}} := 0.6$ м

Высота распределительной камеры: $H_{\text{кама}} := 0.62$ м

Плотность среды: $\rho_{\text{ср}} = 1.45 \times 10^3$ кг/м³

Плотность материала ст 10X17H13M2T: $\rho_{\text{мет}} := 7950$ кг/м³

Длина обечайки: $L := 6$ м

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

$$G_{\text{ц}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot L \cdot \rho_{\text{мет}} = 914.109 \text{ кг} \quad (2.173)$$

Высота эллиптического днища без отбортованной части оболочки:

$$H_{\text{д.без.от.}} := 0.25 \text{ м}$$

Высота эллиптической крышки без отбортованной части оболочки:

$$H_{\text{к.без.от.}} := 0.25 \text{ м}$$

Внутренний объем эллиптической крышки без отбортовки:

$$V_{\text{д1}} := \frac{4}{3} \pi \cdot \frac{D_{\text{дн}}}{2} \cdot \frac{D_{\text{дн}}}{2} \cdot \frac{H_{\text{д.без.от.}}}{2} = 0.024 \text{ м}^3 \quad (2.174) [9]$$

Наружный объем эллиптической крышки без отбортовки:

$$V_{\text{д2}} := \frac{4}{3} \pi \cdot \frac{D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{(H_{\text{д.без.от.}} + s_3)}{2} = 0.026 \text{ м}^3 \quad (2.175) [9]$$

Объем металла днища аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{д}} := V_{\text{д2}} - V_{\text{д1}} = 2.603 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (2.176)$$

Объем материала крышки аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{к}} := V_{\text{д}} = 2.603 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (2.177)$$

Вес эллиптического днища (крышки) аппарата без отбортовки:

$$G_{д.эл.} := V_{д.} \cdot \rho_{мет} = 20.696 \quad \text{кг} \quad (2.178)$$

Вес отбортовки части днища аппарата:

$$G_{д.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.2 \rho_{мет} = 30.47 \quad \text{кг} \quad (2.179)$$

Масса отбортованной части днища аппарата:

$$G_{к.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.05 \rho_{мет} = 7.618 \quad \text{кг} \quad (2.180)$$

Масса днища аппарата:

$$G_{д.} := G_{д.эл.} + G_{д.отб} = 51.167 \quad \text{кг} \quad (2.181)$$

Масса днища аппарата:

$$G_{кр.} := G_{д.эл.} + G_{к.отб} = 28.314 \quad \text{кг} \quad (2.182)$$

Масса распределительной камеры:

$$G_{рас_кам} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H_{кам} \cdot \rho_{мет} = 94.458 \quad \text{кг} \quad (2.183)$$

Масса пустого аппарата:

$$G_{ап1} := G_{д.} + G_{кр.} + G_{ц.} + G_{рас_кам} = 1.088 \times 10^3 \quad \text{кг} \quad (2.184)$$

Масса жидкости внутри корпуса при самых худших рабочих условиях:

$$G_{жид1} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{кам} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{д1} \right] \cdot \rho_{ср} = 2.885 \times 10^3 \quad \text{кг} \quad (2.185)$$

Масса аппарата, заполненного жидкостью при самых худших рабочих условиях:

$$G_{ап2} := G_{ап1} + G_{жид1} = 3.973 \times 10^3 \quad \text{кг} \quad (2.186)$$

Масса жидкости внутри корпуса при условиях гидроиспытания:

$$G_{жид2} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{кам} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{д1} \right] \cdot \rho_{вод} = 1.986 \times 10^3 \quad \text{кг} \quad (2.187)$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью при условиях гидроиспытания:

$$G_{ап3} := G_{ап1} + G_{жид2} = 3.074 \times 10^3 \quad \text{кг} \quad (2.188)$$

2.3.11 Расчет стандартной опоры аппарата

Выбор стандартных опор ведется согласно [18]

В данном случае механический расчет носит проверочный характер для выбранному стандартных опор.

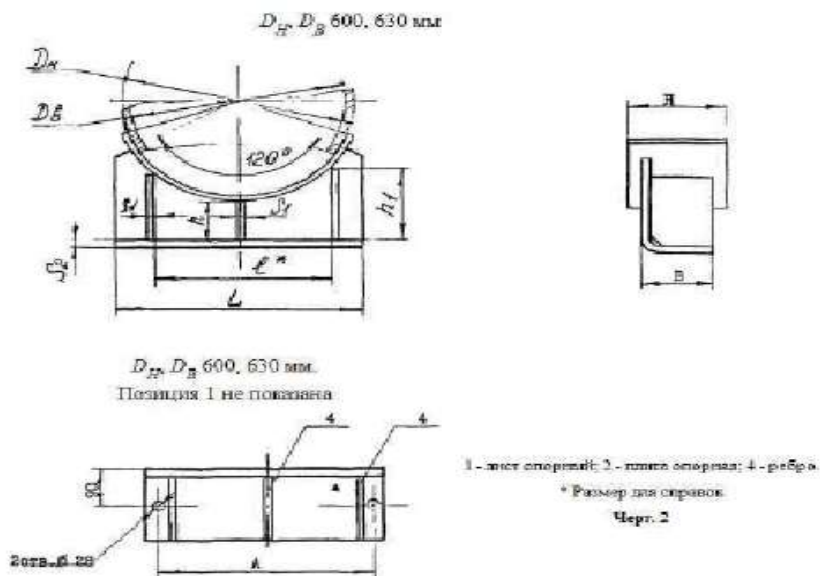


Рисунок 2.14 - Конструкция седловой опоры.

Таблица 2.8 - Параметры и размеры опор типа 1:

Диаметр аппарата		Допустимая нагрузка на опору, кН (тс)		Размеры, мм				Масса*, кг		Масса листа покладного, кг									
D_H	D_B	Исп. 1	Исп. 2	Исполнение				Исполнение											
				1	2	1	2	1	2										
-	600	40 (4,0)	60 (6,0)	6	10	10	14	314	600	305	180	100	190	230	450	200	25,2	34,3	1,8
-	630	-	-	-	-	-	-	322	-	312	-	-	-	-	-	-	25,0	-	
630	-	-	-	-	-	-	-	332	-	313	-	-	-	-	-	-	-	-	

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

Расчет обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор.

Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением:

Исходные данные:

плотность материала кг/м³: $\rho_{\text{м.}}$:= 7850

Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм; $H_{\text{в.}}$:= 250

Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм; $L_{\text{в.}}$:= 6050

Внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$$D := 600$$

Внутреннее избыточное или наружное давление, МПа; $P_{раб} := 0.7$

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

Модуль продольной упругости при расчетный температуре, МПа;

$$E = 2.15 \times 10^5$$

Ширина седловой опоры, мм; $b := 180$

Исполнительная толщина подкладного листа, мм; $s_{пл} := 10$

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

Допускаемое напряжения при расчетный температуре, МПа; $\sigma_t := 184$

Предел текучести при расчетной температуре, МПа; $\sigma_{тв} := 240$

Допускаемое напряжения при температуре 20 °С; $\sigma_{20} := 184$

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

Длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм; $e := a + H$

Рабочая температура в аппарате; $t_{раб} := 50$ °С;

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

Угол охвата седловой опоры, 0; $\delta_1 := 120$ -deg

Угол охвата сосуда подкладным листом, 0; $\delta_2 := 140$ -deg

В качестве основной расчетной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения симметричной опертый на две опоры.

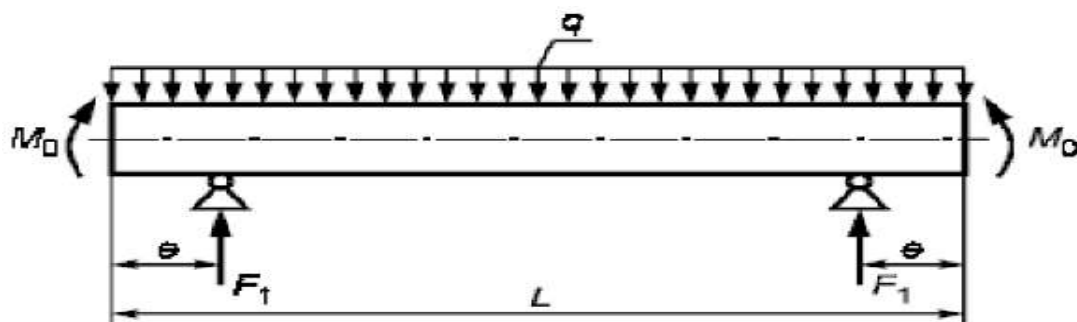


Рисунок 2.15 – Расчетная схема цилиндрический сосуд постоянного сечения

симметричной опертый на две опоры.

Расчетные данные:

Расчетная температура: $t := 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по ГОСТ Р 528 57.1-2007 при расчетной температуре $t=50^\circ\text{C}$:

$\sigma_d := 184 \text{ МПа}$

Расчетное давление:

$p := 0.7 \text{ МПа}$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p} \quad (2.189)$$

$s := \text{floor}(s_r + c + 1) \quad s = 3 \text{ мм}$

Допускаемое наружное давление:

$n_y := 2.4$

$p_d := 118.5 \text{ МПа}$

Вес аппарата:

$$A_k := 1.24 \cdot D \quad (2.190)$$

- площадь эллиптической крышки и днища:

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L \quad (2.191)$$

- площадь корпуса:

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

$G = 2.632 \times 10^3 \text{ Н}$

Проверка применимости формулы:

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

Prov = "Формулы применимы"

Нагрузка на корпус аппарата:

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad (2.192)$$

$$q = 0.412 \quad \text{Н/мм}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad (2.193)$$

$$M_0 = 9.278 \times 10^3 \quad \text{Н*мм}$$

Опорное усилие:

$$F_1 := \frac{G}{2} = 1.316 \times 10^3 \quad \text{Н} \quad (2.194)$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 = 6.44 \times 10^5 \quad \text{Н*мм} \quad (2.195)$$

Максимальный момент между опорами:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot H \right)^2 = -1.234 \times 10^5 \quad \text{Н*мм} \quad (2.196)$$

Поперечное усилия в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 = 616.487 \quad \text{Н} \quad (2.197)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

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

$$M_d = 7.588 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Дополнительные вычисления:

K9 - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью:

$$x := \frac{L}{D} \quad (2.198)$$

$$y := \frac{D}{(s - c)} \quad (2.199)$$

$$w_1 := -0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1) \quad (2.200)$$

$$w_2 := -\left[0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) + 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 + 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2 \right]$$

$$w_3 := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y - 0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x \quad (2.201)$$

$$w_4 := 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3 + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3 \quad (2.202)$$

$$K_9 := \max(1.6 + w_1 + w_2 + w_3 + w_4, 1) \quad (2.203)$$

$$K_9 = 1.233$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Провер1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Провер1 = "Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"

Примем толщину опоры для выполнения условия прочности:

$$s := 10 \text{ мм}$$

$$\text{Провер1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Провер1 = "Условие прочности выполняется"

Проверка условия устойчивости:

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

$$\text{Провер2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Провер2 = "Условие устойчивости выполняется"

Проверка несущей способности обечайки, не укрепленной кольцами жесткости в области опорного узла:

Параметр, определяемый расстояние до днища:

$$\gamma_w := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} = 0.884 \quad (2.204)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 2.229 \quad (2.205)$$

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

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 0.253 \text{ МПа} \quad (2.206)$$

$$u := 2$$

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

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

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

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

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

$$\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad (2.207)$$

$$o := 1$$

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

$$K_2 = 1.25$$

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

$$K_{10} := \max \left[\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1} \right), 0.25 \right] \quad (2.208)$$

$$K_{10} = 0.25$$

K_{12} - коэффициент учитывающие влияние угла охвата.

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.851 \quad (2.209)$$

K_{14} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата.

$$K_{14} := 1 - \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.575 \quad (2.210)$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} = 0.985 \quad (2.211)$$

K17 - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры.

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w} \cdot \frac{b}{D}} \cdot \delta} = 0.344 \quad (2.212)$$

K13 - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата.

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.071 \quad (2.213)$$

K15 - коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища.

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) = 1 \quad (2.214)$$

K11 - коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры.

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.449 \quad (2.215)$$

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} \quad (2.216)$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \delta)} \quad (2.217)$$

$$v_{212} := -\sigma_{mx} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (2.218)$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{mx}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (2.219)$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (2.221)$$

$$K_{112} := \frac{1 - \nu_{212}^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{12} \cdot \nu_{212}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{12} \cdot \nu_{212}\right)^2 + (1 - \nu_{212}^2) \cdot \nu_{12}^2}} = 1.48 \quad (2.222)$$

$$K_{122} := \frac{1 - \nu_{213}^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{213}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{213}\right)^2 + (1 - \nu_{213}^2) \cdot \nu_{13}^2}} = 0.598 \quad (2.223)$$

$$K_{113} := \frac{1 - \nu_{222}^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{12} \cdot \nu_{222}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{12} \cdot \nu_{222}\right)^2 + (1 - \nu_{222}^2) \cdot \nu_{12}^2}} = 1.49 \quad (2.224)$$

$$K_{123} := \frac{1 - \nu_{223}^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{223}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{13} \cdot \nu_{223}\right)^2 + (1 - \nu_{223}^2) \cdot \nu_{13}^2}} = 0.637 \quad (2.225)$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 0.598 \quad (2.226)$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.637 \quad (2.227)$$

$$\sigma_{i2} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 137.459 \text{ МПа} \quad (2.228)$$

$$\sigma_{i3} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 146.47 \text{ МПа} \quad (2.230)$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 5.464 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.231)$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 8.172 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.232)$$

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

Проверка условия прочности:

$$\text{Провер3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Провер3 = "Условие прочности выполняется"

Проверка условия устойчивости:

$$\frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q}{Q_d}\right)^2 \leq 1 \quad (2.233)$$

где F_e - эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих

в области опоры.

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 489.744 \quad (2.234)$$

Допускаемое поперечное усилие:

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

$$Q_d = 1.151 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi(D + w) \cdot w \cdot \sigma_d = 4.771 \times 10^6 \text{ Н} \quad (2.235)$$

$$\text{Провер4} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q}{Q_d}\right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Провер4 = "Условие устойчивости выполняется"

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаев

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

Тема ВКР:

Расчет кожухотрубного теплообменника участка подготовки нефти	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования – является кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения азотной кислоты. Область применения является – химическая промышленность производства азотной кислоты.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Вредные факторы: Повышения уровень вибрации Повышенный уровень шума Газоопасные работы Опасные факторы: Электрический ток Повышенная температура поверхности оборудования</i>
3. Экологическая безопасность:	<i>Вредные вещества, используемые в исследовании, воздействуют на атмосферу, загрязняя её выбросами газов (нитрозных газов). При попадании HNO₃ в воду происходит загрязнение гидросферы. Соли азотной кислоты в виде нитратов попадая в почву тем самым загрязняют литосферу.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Возможными ЧС являются: возгорание, пожар, при работе с электрооборудованием. Типичной ЧС является: пожар.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич		

3 Социальная ответственность

Данная выпускная квалификационная бакалаврская работа направлена на проектирование кожухотрубного теплообменника с целью модернизации теплообменного оборудования производства азотной кислоты.

Областью применения данного вида оборудования являются химическая промышленность производства азотной кислоты.

Рабочей зоной для выполнения технического проекта является лаборатория машин и аппаратов химических производств 2 корпуса ТПУ.

Целью раздела «Социальная ответственность» является выявление и анализ вредных и опасных факторов, которые возникают при выполнении экспериментальной части работы, и разработка мер по снижению воздействия этих факторов на работника, а также рассмотрение вопросов техногенной безопасности, охраны окружающей среды и техники безопасности.

Социальная ответственность должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду, предупреждение чрезвычайных ситуаций.

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.

Согласно трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) для каждого работника актуальными являются все базовые положения трудового законодательства:

- работники имеют право на профессиональную подготовку, переподготовку и повышение квалификации, включая обучение новым профессиям и специальностям.
- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему гра-

фику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором.

- защита персональных данных работника от неправомерного их использования или утраты должна быть обеспечена работодателем за счет его средств в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

- Выплата заработной платы производится в денежной форме в валюте Российской Федерации (в рублях). В соответствии с коллективным договором или трудовым договором по письменному заявлению работника оплата труда может производиться и в иных формах, не противоречащих законодательству Российской Федерации и международным договорам Российской Федерации. Доля заработной платы, выплачиваемой в неденежной форме, не может превышать 20 процентов от начисленной месячной заработной платы; Заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается. Запрещается какая бы то ни было дискриминация при установлении и изменении условий оплаты труда.

- виды компенсаций при работе во вредных условиях труда: оплата труда работников, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, устанавливается в повышенном размере по сравнению с тарифными ставками, окладами (должностными окладами), установленными для различных видов работ с нормальными условиями труда, но не ниже размеров, установленных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права. Минимальные размеры повышения оплаты труда работникам, занятым

на работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, и условия указанного повышения устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации, с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений; ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска предоставляются работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, работникам, имеющим особый характер работы, работникам с ненормированным рабочим днем, работникам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, а также в других случаях, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами. Работодатели с учетом своих производственных и финансовых возможностей могут самостоятельно устанавливать дополнительные отпуска для работников, если иное не предусмотрено настоящим Кодексом и иными федеральными законами. Порядок и условия предоставления этих отпусков определяются коллективными договорами или локальными нормативными актами, которые принимаются с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации.

- защита законных интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также членов их семей на основе обязательного социального страхования работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, установление компенсаций за тяжелую работу и работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами; возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

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

3.1.2 Эргонометрические требования к правильному расположению и компоновки рабочей зоны.

При проектировании кожухотрубного теплообменника используется лабораторная аудитория машины и аппараты химической технологии в 2 корпусе ТПУ. Вид работы производится в основном сидя. Рабочим местом является стол с компьютером, оно должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда (ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования). Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса. При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели мужчин (если работают только мужчины). Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности составляющей 750 мм. В тех случаях, когда невозможно осуществить регулирование высоты рабочей поверхности, допускается проектировать и изготавливать оборудование с нерегулируемыми параметрами рабочего места.

Часто используемые средства отображения информации, требующие менее точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от сагиттальной плоскости.

3.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Опасные и вредные факторы кожухотрубчатого теплообменника

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

3.2.1 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

3.2.1.1 Повышенный уровень вибрации

Вибрация как фактор производственной среды встречается в химической промышленности возникает в силу турбулентного потока, который, соприкасается с металлическим корпусом кожухотрубчатого теплообменника.

Длительное воздействие производственной вибрации на человека вызывает

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

Профилактика негативного влияния воздействия вибрации на организм включает в себя использование средств индивидуальной защиты (перчатки, спец обувь), устранение непосредственного контакта с вибрирующим оборудованием путем применения дистанционного управления, механизации и автоматизации процессов, замены технологических операций; снижение интенсивности вибрации непосредственно в источнике (за счет конструктивных усовершенствований); применение упругодемпфирующих материалов и устройств, размещенных между источником вибрации и человеком - оператором. В комплексе мероприятий по снижению неблагоприятного действия вибрации на организм человека важная роль отводится режиму труда и отдыха. По источнику возникновения вибраций на химическом производстве общая вибрация относится к 3 категории - технологическая вибрация, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло и деревообрабатывающие, кузнечнопресовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна, установки химической и нефтехимической промышленности и др. По частотному составу вибрации относится к среднечастотной вибрации 8-16 Гц (норма для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами составляет: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц). К профилактики вибрационной патологии относятся так же производственная гимнастика; УФ-облучение; витаминпрофилактика и другие мероприятия общеукрепляющего характера, например, комната психологической разгрузки, кислородный коктейль и др.

3.2.1.2 Повышенный уровень шума

Причиной повешения уровня шума является шум от двигателя и насоса вызванный трением деталей и подшипников, а также повышенный уровень шума создается турбулентном потоком охлаждаемого компонента в межтрубном пространстве.

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам. Под воздействием шума снижается слуховая чувствительность. Все это результат работы в шумных условиях. В настоящее время почти каждый человек, подвергающийся на работе воздействию шума, рискует стать глухим.

Эффективным путем решения проблемы шума является снижение его уровня в самом источнике за счет изменения технологии и конструкции машин. К мерам этого типа относятся замена шумных процессов бесшумными, ударных - безударными, в некоторых деталях незвучными материалами, применение виброизоляции, глушителей, демпфирования, звукоизолирующих кожухов и др. Также при постоянном шума рабочем месте, рабочем предоставляется средства индивидуального защиты (шумоизолирующий наушники).

Производственные шумы делятся на категории по различным характеристикам. В производстве азотной кислоте по спектру широкополосный (в нем нет выраженных тонов), от временных характеристик относится к постоянному и в измерительных параметрах достигает 65-70 дБ (допустимый уровень шума на рабочем месте по ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности - умеренно напряженные легкие / средней тяжести условия работы – 70 дБ)[31].

3.2.1.3 Электрический ток

В ходе выполнения данной работы имеет место использование электрических приборов, которые являются электроприборами общего назначения. При работе необходима соблюдать следующие основные правила безопасности:

- соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
- ограждение токоведущих частей;
- применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств с целью предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- использование средств защиты и приспособлений от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы;
- по окончании рабочего дня нужно снять напряжение с отдельных приборов, а также отключить все щитки на лабораторных столах и общий рубильник за пределами лаборатории.

Использование электрических приборов общего назначения в ходе выполнения данной работы не предполагает использования средств индивидуальной защиты персонала. Достаточной мерой безопасности является соблюдение общих правил при работе с электроприборами.

3.2.1.4 Повышенная температура поверхности оборудования

При проектировании и работе кожухотрубного теплообменника возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:

- ожоги тела и глаз горячим теплоносителем;
- отравление токсичными газами при отсутствии вентиляции, при нарушении герметичности теплообменника;
- поражение электрическим током при отсутствии заземления корпуса.

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

- на элементах тепло, изоляции устанавливают оцинкованные листы;
- покрывают теплообменник стекловолокном;
- во избежание сильного расхода тепла, теплообменник помещают в кожух;
- снабдить рабочий персонал с средством индивидуальной защиты (спецодежда, спец обувь, перчатки).

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

Охрана труда работающих при организации производственных процессов должна быть обеспечена применением:

- безопасных технологических процессов и производственного оборудования;
- производственных зданий (помещений) и производственных площадок, соответствующих требованиям по охране труда;
- рационального размещения производственного оборудования и организации рабочих мест;
- материалов, не оказывающих
- устройств противоаварийной защиты, опасного и (или) вредного воздействия на работающих; блокировки и сигнализации;
- безопасных способов хранения отходов производства;
- средств индивидуальной и коллективной защиты, обеспечивающих безопасные условия труда работающих;
- методов и средств контроля уровней опасных и (или) вредных производственных факторов.

Общие требования безопасности к производственным процессам изложены в ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. «Процессы производственные. Общие требования безопасности» [44].

3.3 Экологическая безопасность

В процессе производства азотной кислоты кожухотрубчатого теплообменника, нитрозные газы конденсируются и превращаются в азотную кислоту низкой концентрации.

Подготовка нитрозных газов является токсичным процессом. При подготовке газа так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки газа включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

- Защита атмосферы.

Основными источниками загрязнения являются нитрозные газы. При конденсации нитрозных газов выбрасывается большое количество загрязняющих веществ :

- Диоксид азота;
- Оксид азота;

С целью охраны воздушного пространства, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных ловушек на газопроводе с целью исключения попадания окислов азота в атмосферу.
- Перед подачей нитрозных газов в газопроводы осуществляются его очистка и понижение концентрации водой.

-Защита гидросферы.

HNO_3 оказывает влияние на природные воды. Несмотря на хорошую растворимость в воде, небольшого количества HNO_3 достаточно, чтобы резко ухудшилось качество воды.

Для предотвращения загрязнения водного бассейна, производство снабжают сливной и канализационной системой; обвалование резервуарного парка.

-Защита литосферы.

Содержание отдельных веществ загрязняет почву. Основными солями в этих почвах являются нитраты.

Для исключения попадания вредных веществ на почву предусмотрено:

- сбора утечек и сливов в специально установленные подземные емкости с насосной откачкой;

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

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.

Чрезвычайные ситуации могут возникнуть как в результате несоблюдения правил безопасности и нахождения в лаборатории работниками, так и как следствия внешних антропогенных и не антропогенных влияний. В данном вопросе необходимо ориентироваться на ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения [73].

Практически все химические процессы проводятся с использованием электроприборов и электрооборудования, поэтому существует опасность поражения электрическим током. Самыми распространенными антропогенными ЧС являются пожар и взрыв.

Основными и наиболее частыми причинами ЧС подобного рода являются:

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- неисправность электрооборудования, электросетей и нарушение электротехнических правил;
- самовозгорание, статическое электричество, грозовые разряды;
- неудовлетворительная постановка инструктажа, плохая дисциплина.

3.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению типовой ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для предупреждения возникновения такого рода ЧС необходимо перед работой с оборудованием, провести следующие мероприятия: Система этих мероприятий включает:

- меры по организации исправной работы электрооборудования и его эксплуатации в соответствии с инструкцией и правилами;
- мероприятия технического характера;
- организационные меры, в том числе административного характера;
- обеспечение работников электрозащитными средствами;

Поскольку на производстве обычно присутствуют оборудование и приборы, работающие от электросети, их нужно обесточить. Персоналу разрешено делать это с разрешения руководства, с соблюдением правил отключения аппаратуры. Вместе

с этим перекрывают (отключают) систему вентиляции, подачи газа и горючих веществ (сырья), паровые и водяные трубопроводы. Общие же правила как себя вести при обнаружении возгорания остаются неизменными:

- оповестить пожарную охрану;
- сообщить руководству предприятия;
- включить сигнализацию, системы дымоудаления, пожаротушения (если они не автоматические);
- обеспечить эвакуацию работников, не участвующих в ликвидации пожара.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работы при проектировании и эксплуатации кожухотрубного теплообменника, выявлены вредные и опасные факторы. Описаны мероприятия по снижению и ликвидации действия данных факторов на рабочий персонал. При работе кожухотрубного теплообменника не происходит большого загрязнения окружающей среде: атмосфере, гидросфере и литосфере. Также были рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации антропогенного характера и меры для их предупреждения и устранения.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тиллабаев Хусниддин Хабибуллаевич		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель работы является разработка конструкции кожухотрубного теплообменника для производства азотной кислоты.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

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

Конечным результатом реализации проекта является удовлетворение двух потребностей:

- предоставление на рынок более эффективного химического оборудования для производства азотной кислоты ;

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Азотная кислота – одна из важнейших минеральных кислот. По объёму производства в химической промышленности она занимает второе место после серной кислоты. Азотная кислота широко применяется для производства многих продуктов, используемых в промышленности и сельском хозяйстве:

- около 40% ее расходуется на получение сложных и азотных минеральных удобрений;
- азотная кислота используется для производства
- синтетических красителей,
- взрывчатых веществ,
- нитролаков,
- пластических масс,
- лекарственных синтетических веществ и др.;
- железо хорошо растворяется в разбавленной азотной кислоте.

Потребителями являются предприятия нефтеперерабатывающей, и химической промышленности.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для достижения поставленной цели необходимо произвести анализ конкурентных технических решений. Для этого составим таблицу, на основе которой дадим оценку конкурентоспособности данной детали.

Таблица 4.1– Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,12	92	100	0,92	0,1104
2. Помехоустойчивость	0,05	91	100	0,91	0,0455
3. Надёжность	0,12	94	100	0,94	0,1128
4. Унифицированность	0,05	95	100	0,95	0,475
5. Уровень материалоемкости разработок	0,08	75	100	0,75	0,06
6. Уровень шума	0,01	82	100	0,82	0,0082
7. Безопасность	0,1	93	100	0,93	0,093
8. Потребность в ресурсах памяти	0,005	85	100	0,85	0,00425
9. Функциональная мощность	0,02	87	100	0,87	0,0174
10. Простота эксплуатации	0,1	96	100	0,96	0,096
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,005	83	100	0,83	0,00415
12. Ремонтопригодность	0,1	90	100	0,9	0,09

Продолжения таблица 4.1

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13.Конкурентоспособность продукта	0,04	79	100	0,79	0,316
14.Уровень проникновения на ры-нок	0,01	65	100	0,65	0,0065
15.Перспектив-ность рынка	0,01	78	100	0,78	0,0078
16. Цена	0,1	72	100	0,72	0,072
17.Послепро-дажное об-слу-живание	0,03	81	100	0,81	0,0243
18.Финансовая эффектив-ность научной разра-ботки	0,03	74	100	0,74	0,0222
19. Срок выхода на рынок	0,01	69	100	0,69	0,0069
20. Наличие сертификации разра-ботки	0,01	68	100	0,68	0,0068
Итого	1				0,85805

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

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя

В соответствии с предложенной в классификация можно говорить о перспективности научной разработки, поскольку значение средневзвешенного показателя качества и перспективности составило 0,86 или 86 баллов. Однако, в результате анализа было выяснено, что слабостью разработки могут оказаться уровень проникновения и сроки выхода на рынок. Эти слабые места необходимо учесть в последующих частях данного раздела работы, а именно – в SWOT-анализе.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта .

- 1) Описание сильных и слабых сторон проекта, выявлении возможностей и

угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта	Слабые стороны
С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Наличие современного программного продукта С5. Актуальность проекта С6. Использование УП	Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности	Угрозы
В1. Возможность автоматизации технологического процесса В2. Уменьшение себестоимости выпускаемой продукции	У1. Появление новых конкурентных технологий У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции

2) Выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	-	+	+	0	+
	B2	0	-	-	-	0	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	0
	B2	0	-	0

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	0	0	+	+	+	+
	У2	0	0	+	+	0	+

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	+
У2	+	0	0	

3) Составление итоговой матрицы SWOT-анализа

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Наличие современного программного продукта С5. Актуальность проекта С6. Использование УП	Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Отсутствие Квалифицированного персонала.
В1. Возможность автоматизации технологического процесса В2. Уменьшение себестоимости выпускаемой продукции	- При использовании современного оборудования и УП обеспечивается автоматизация процесса, что приводит к уменьшению себестоимости продукции;	- Автоматизация техпроцесса приводит к созданию новых конкурентных технологий
У1. Появление новых конкурентных технологий У2. Введения	-Использование современного оборудования побуждает введение	Развитие технологий приводит к введению дополнительных государственных
дополнительных государственных требований сертификации продукции	дополнительных требований к сертификации продукции	требований к сертификации продукции

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

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

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

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

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер

Продолжения таблица 4.8

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	5	Выбор и анализ технологической схемы	Руководитель, инженер
	6	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Проведение исследований	7	Проведение технологических расчётов	Инженер

Продолжения таблица 4.8

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Проведение исследования	8	Проведение конструктивно механических расчётов	Инженер
	9	Осуществление теоретического анализа в области экологии	Инженер
	10	Оценка экономической значимости проекта	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, инженер
Разработка технической документации	12	Составление и оформление пояснительной записки	Инженер
Разработка технической документации	13	Изготовление чертежей и другого графического материала	Инженер
Представление проекта	14	Представление результатов научно-исследовательской работы	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{мин\ i} + 2t_{макс\ i}}{5},$$

Где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.- дн.;

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

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

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 1-й работы составило:

$$t_{ож1} = \frac{3 * 1 + 2 * 4}{5} = 2,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 2-й работы составило:

$$t_{ож2} = \frac{3 * 2 + 2 * 2}{5} = 2,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 3-й работы составило:

$$t_{\text{ож}3} \frac{3 * 3 + 2 * 6}{5} = 3,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 4-й работы составило:

$$t_{\text{ож}4} \frac{3 * 2 + 2 * 2}{5} = 1,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 5-й работы составило:

$$t_{\text{ож}5} \frac{3 * 7 + 2 * 12}{5} = 9 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 6-й работы составило:

$$t_{\text{ож}6} = \frac{3 * 5 + 2 * 10}{5} = 7 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 7-й работы составило:

$$t_{\text{ож}7} = \frac{3 * 6 + 2 * 8}{5} = 6,8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 8-й работы составило:

$$t_{\text{ож}8} = \frac{3 * 2 + 2 * 4}{5} = 2,8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 9-й работы составило:

$$t_{ож9} = \frac{3 * 5 + 2 * 12}{5} = 7,8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 10-й работы составило:

$$t_{ож10} = \frac{3 * 8 + 2 * 13}{5} = 10 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 11-й работы составило:

$$t_{ож11} = \frac{3 * 6 + 2 * 11}{5} = 8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 12-й работы составило:

$$t_{ож12} = \frac{3 * 6 + 2 * 9}{5} = 7,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 13-й работы составило:

$$t_{ож13} = \frac{3 * 12 + 2 * 15}{5} = 13,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы раб дн

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

Продолжительность 1-й работы:

$$T_{p1} = \frac{2,2}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 2-й работы:

$$T_{p2} = \frac{2,4}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 3-й работы:

$$T_{p3} = \frac{3,4}{1} = 3 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 4-й работы:

$$T_{p4} = \frac{1,4}{1} = 1 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 5-й работы:

$$T_{p5} = \frac{9}{1} = 9 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 6-й работы:

$$T_{p6} = \frac{7}{1} = 7 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 7-й работы:

$$T_{p7} = \frac{6,8}{1} = 7 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 8-й работы:

$$T_{p8} = \frac{2,8}{1} = 3 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 9-й работы:

$$T_{p9} = \frac{7,8}{1} = 8 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 10-й работы:

$$T_{p10} = \frac{10}{1} = 10 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 11-й работы:

$$T_{p11} = \frac{8}{1} = 8 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 12-й работы:

$$T_{p12} = \frac{7,2}{1} = 7 \text{ раб. дн}$$

Продолжительность 13-й работы:

$$T_{p13} = \frac{13,2}{1} = 12 \text{ раб. дн.}$$

Таким образом, наиболее трудоемкими и продолжительными этапами работы ожидаются этапы 5, 9, 10, 11 и 13.

Для построения ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведена в календарные дни. Для этого была использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определен по следующей формуле:

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

Где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

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

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

Согласно производственному и налоговому календарю на 2019 год для 6-дневной рабочей недели, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 299 дней, кол-во выходных и праздничных дней – 66, таким образом, коэффициент календарности в 2019 году составил: $k_{кал} = 1,22$.

Все рассчитанные значения отображены в таблице 9. После заполнения таблицы 21 строим календарный план-график (таблица 10). График строится для максимального по длительности исполнения работ, в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени написания диплома (10 дней). При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители $T_{чi}$	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} чел-дни	t_{max} чел-дни	$t_{ожi}$ чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	2	2.2	Научный руководитель	2	2
Календарное планирование работ по теме ВКР	2	3	2.4	Инженер	2	2
Поиск и изучение материалов по теме	3	6	3,4	Инженер	3	4
Выбор направления исследований	1	2	1.4	Инженер	1	1
Проведение анализа литературы по теме ВКР	7	12	9	Инженер	9	11
Проведение исследования	5	10	7	Инженер	7	9
Согласование полученных данных с научным руководителем	5	8	6,8	Инженер, научный руководитель	7	9
Подготовка образцов к исследованию	1	3	2,8	Инженер	3	4
Проведение эксперимента	6	12	7,8	Инженер	8	10
Обработка полученных данных	8	13	10	Инженер, научный руководитель	10	12

Продолжения таблица 4.9

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители $T_{чi}$	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} чел-дни	t_{max} чел-дни	$t_{ожi}$ чел-дни			
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	7	11	8	Инженер	8	10
Работа над выводами по проекту	5	9	7,2	Инженер	7	9
Оценка эффективности полученных результатов	11	14	13,2	Инженер, научный руководитель	12	15

Таблица 4.10 – Календарный план-график по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{кл.}$ дн.	Продолжительность работ																
				март			апрель			май			июнь							
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10							
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2	■																
2	Календарное планирование работ по теме ВКР	Студент	2		■															
3	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	4			■														
4	Выбор направления исследований	Студент	1				■													
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент	11				■													
6	Проведение исследования	Студент	9					■												
7	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель	9						■											
8	Подготовка образцов к исследованию	Студент	4							■										
9	Проведение эксперимента	Студент	10								■									
10	Обработка полученных данных	Студент, научный руководитель	12									■								
11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент	10										■							
12	Работа над выводами по проекту	Студент	9																■	
13	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель	15																	■

■ – студент ■ – научный руководитель

Таблица 4.10 – Календарный план график проведения НИР по теме

Таблица 4.11 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	136
Общее количество календарных дней, в течение которых работал студент	98
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	38

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

В данном разделе произведем расчет материальных затрат.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле :

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхи}$$

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

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

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

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

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица 4.11.

Таблица 4.12 - Результаты расчётов по затратам на материалы

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество, ед.	Суммарная стоимость, руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	500	5	2500
Картридж для лазерного принтера MLT-D111S/SEE	3500	1	3500
CD-диск VS CD-RW 500 Мб	100	3	300
Всего за материалы, руб.			6300
Транспортно-заготовительные расходы, руб.			1500
Итого по статье, руб.			7800

4.3.2 Затраты на оборудование

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

Таблица 4.13– Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	3	35	35
Итого		35 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

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

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0.33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0.33 \cdot 35000}{12} \cdot 3 = 2888$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ок}} * k_{\text{р}}$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб; $З_{\text{ок}}$ – оклад работника, руб; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный для Томска 1,3 .

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

$$З_{\text{м}} = 33664 \cdot 1.3 = 43763.2 \text{ руб}$$

Для расчёта среднедневной заработной платы используется:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}$$

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

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

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

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

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

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

$$Z_{\text{дн}} = \frac{43763 * 10,4}{251} = 1813,3 \text{ руб}$$

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}}$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = 1813,3 * 7 = 12693,1 \text{ руб}$$

Как и было сказано выше, результаты расчёта основной заработной платы инженера сведены в таблицу 4.14.

Таблица 4.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб	кр	Зм, руб	Здн, руб	Тр, руб	Зосн, руб
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1813,30	38	68905,4
Инженер	15000	1,3	19500	1025,4	98	100489,2

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В соответствии с пособием дополнительная заработная плата исполнителей темы равна:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (8.10)$$

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

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

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 68905,4 = 10335,8 \text{ руб}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 100489,2 = 15073,4 \text{ руб}$$

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (8.11)$$

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

Также по рекомендации пособия расчёт отчислений во внебюджетные фонды оформлен в виде таблицы 10.

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель	68905,4	10335,8
Инженер	100489,2	15073,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель	15848,24	
Инженер	23112,52	
Общий	38960,76	

4.3.6 Накладные расходы и формирование бюджета

В соответствии с пособием накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \Sigma_{\text{ст}} \cdot k_{\text{нр}} \quad (8.12)$$

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в

таблице 4.16.

Таблица 4.17 – Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма руб		Примечание
	Руководитель	Инженер	
1. Материальные затраты НИИ	3900	3900	Пункт 2.4.1
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68905,4	100489,2	Пункт 2.4.2
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10335,8	15073,4	Пункт 2.4.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	15848,24	23112,52	Пункт 2.4.4
6. Накладные расходы	15838,3	22812	16% от суммы статей с 1 по 4
7. Бюджет затрат на НИИ	310102,86		Сумма статей с 1 по 5

Таблица 4.18 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Материальные затраты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
7800	2888	196394,6	25409,2	38960,76	271452,56	38650,3	310102,86

Вывод

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение» была проделана следующая работа: произведен анализ конкурирующих разработок, в результате которого было определено.

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

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 136 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 98 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 38;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 310102,86 рублей;

Заключение

В данной бакалаврской работе представлено следующее:

Расчет теплообменника кожухотрубчатого типа ТН для охлаждения азотной 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 при разработке и 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 обечаек 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.