

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Расчет и проектирование кожухотрубчатого теплообменника завода полипропилена с целью импорта замещения</b>

УДК 66.045.122.001.6:678.742.3.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Разницын Егор Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	К.Х.Н.		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Краснокутская Е.А.	Д.Х.Н., профессор		

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 в 2018 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

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

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера  
\_\_\_\_\_ Е.А. Краснокутская  
(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
3-2К31	Разницын Егор Александрович

Тема работы:

<b>Расчет и проектирование кожухотрубчатого теплообменника завода полипропилена с целью импорта замещения</b>
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.05.2018, 3829/С
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><u>Кожухотрубчатый теплообменник.</u> <u>Производительность по деминерализованной воде:</u> 200 т/сут.; <u>Поверхность теплообмена:</u> 181 м<sup>2</sup>; <u>Теплоносители:</u> Горячий – водяной пар: Тн=140 °С, Тк=140 °С; Холодный – азот: Тн=0 °С, Тк=135 °С; <u>Давление в трубном пространстве:</u> 0,02 МПа; <u>Давление в межтрубном пространстве:</u> 0,45 МПа; <u>Исполнение по материалу М23:</u> Кожух – 16ГС, Входная камера – 08Х21Н6М2Т, Теплообменная труба – 08Х21Н6М2Т,</p>
---	---

	Трубная решётка – 08X21Н6М2Т. <u>Режим работы:</u> непрерывный;
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>	Введение; Описание технологической схемы; Технологический расчёт; Конструктивный расчёт; Механический расчёт; Расчёт тепловой изоляции; Гидравлический расчёт; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид теплообменника; Лист 3. График безубыточности;

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Ларионова Екатерина Владимировна
Конструктивно-механический раздел	Беляев Василий Михайлович

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

### Задание выдал руководитель:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Разницын Егор Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2К31	Разницын Егор Александрович

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	НОЦ Н.М. Кижнера
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

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

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования</i>
2. <i>Определение затрат на оборотные средства</i>	<i>Расчет затрат на сырье и материалы</i>
2. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности кожухотрубчатого теплообменника</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. *Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.*
2. *Расчет технико-экономических показателей*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2К31	Разницын Егор Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К31	Разницын Егор Александрович

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

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><b>Объект исследования</b> - Кожухотрубчатый теплообменник для нагрева азота водяным паром  <b>Рабочая зона</b> – рабочее место  <b>Область применения</b> – химическая промышленность.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> </ul> <p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</p>	<p>1.1. Выявление вредных факторов в производственном цехе при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные факторы: повышенный уровень вибрации, повышенная температура воздуха рабочей зоны, повышенный уровень шума, микроклиматические условия;</li> <li>- действие вредных факторов на организм человека;</li> <li>- предлагаемые средства защиты от воздействия вредных факторов.</li> </ul> <p>1.2. Выявление опасных факторов в производственном цехе при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электробезопасность (токоведущие части электрооборудования);</li> <li>- повышенная температура поверхности оборудования.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране</p>	<p>Защита: атмосферы, гидросферы и литосферы</p>

окружающей среды.	
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения пожар
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	- правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях (законы, организации и т.д.)

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Разницын Егор Александрович		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа представляет собой пояснительную записку, содержащую 106 с., 11 рис., 18 табл., 36 источников литературы, и 3 листа графического материала формата А1.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, поверхность теплообмена, неподвижные трубные решетки, перегородка, фланец, опора.

Цель работы – расчет и подбор стандартного кожухотрубчатого теплообменника для замены импортного теплообменника.

В процессе исследования проводились необходимые расчеты: технологический, конструктивный, механический, расчет тепловой изоляции и гидравлический расчет.

А так же, в работе были приведены разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.

Основные характеристики: производительность - 200 т/сут;  
поверхность теплообмена: 181 м<sup>2</sup>; теплоносители – водяной пар и азот;  
давление: 0,02 и 0,45МПа.

## **PAPER**

The final qualifying work consists of an explanatory note containing 106 pages, 11 figures, 18 tables, 36 sources of literature, and 3 sheets of A1 graphic material.

Key words: shell-and-tube heat exchanger, heat exchange surface, fixed tube grids, partition, flange, support.

The purpose of the work is to calculate and select a standard shell-and-tube heat exchanger to replace the imported heat exchanger.

During the research, the necessary calculations were carried out: technological, constructive, mechanical, calculation of thermal insulation and hydraulic calculation.

And also, in the work were given sections: financial management, resource efficiency and resource-saving; Social responsibility.

## Оглавление

Введение.....	12
1. Описание технологической установки.....	13
2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	15
2.1 Технологический расчет теплообменника.....	15
2.2 Конструктивный расчет аппарата.....	17
2.2.1 Выбор стандартного теплообменника.....	17
2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей .....	19
2.3 Механический расчёт теплообменника.....	21
2.3.1 Расчетные параметры.....	22
2.3.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки .....	24
2.3.3 Расчёт толщины стенки эллиптического днища .....	26
2.3.4 Расчет укрепления отверстий.....	30
2.3.6 Поверочный расчет теплообменника .....	46
2.4 Расчет тепловой изоляции.....	67
2.5 Гидравлический расчёт.....	68
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	70
3.1 Расчёт производственной мощности .....	70
3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	72
3.3 Анализ безубыточности.....	82
3.4 Потребность в инвестициях для инновационной деятельности.....	84
3.5 Определение технико-экономических показателей.....	85
4. Социальная ответственность.....	86
4.1 Производственная безопасность.....	86
4.2 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника.....	87
4.3 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника.....	91
4.4 Экологическая безопасность.....	95
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	96
4.5.1 Пожарная и взрывная опасность.....	96
4.5.2 Чрезвычайные ситуации на производственном объекте .....	97
4.5.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	100
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	101
Заключение .....	103
Список использованных источников .....	104

## Введение

ООО «Томскнефтехим» — дочернее предприятие ОАО «СИБУР Холдинг» и один из крупнейших российских производителей полимеров — полипропилена и полиэтилена высокого давления.

В состав предприятия входит производство мономеров - этилена и пропилена, полностью обеспечивающее сырьем производства полимеров: полипропилена и полиэтилена высокого давления.

Производимая продукция имеет высокий спрос как, в России так, и за рубежом. Рассмотрим производства полипропилена.

В химической отрасли промышленности весьма значительную часть технологического оборудования составляет теплообменная аппаратура. Удельный вес теплообменного оборудования составляет на предприятиях нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 50%, и в химической промышленности в среднем 15-18%.

Это обуславливается тем, что большинство процессов химической технологии тесно связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты. И так, усовершенствование теплообменного процесса в теории и практически могут уменьшить энерго- и трудозатратность производства.

Во время исследования было выяснено, что импортный теплообменник имеет некоторые недостатки:

- Засоряется твердыми отложениями, это приводит к необходимости частой чистки и ремонту, таким образом к износу.
- Нарушение герметичности.
- Превышение срока эксплуатаций.

Решить эти проблемы можно с помощью замены импортного теплообменника на проектируемый теплообменник. Так как он имеет следующие преимущества:

- Имеет большую поверхность теплообмена:
- Простота в использовании и ремонте.
- Высокий срок службы.

## 1. Описание технологической установки

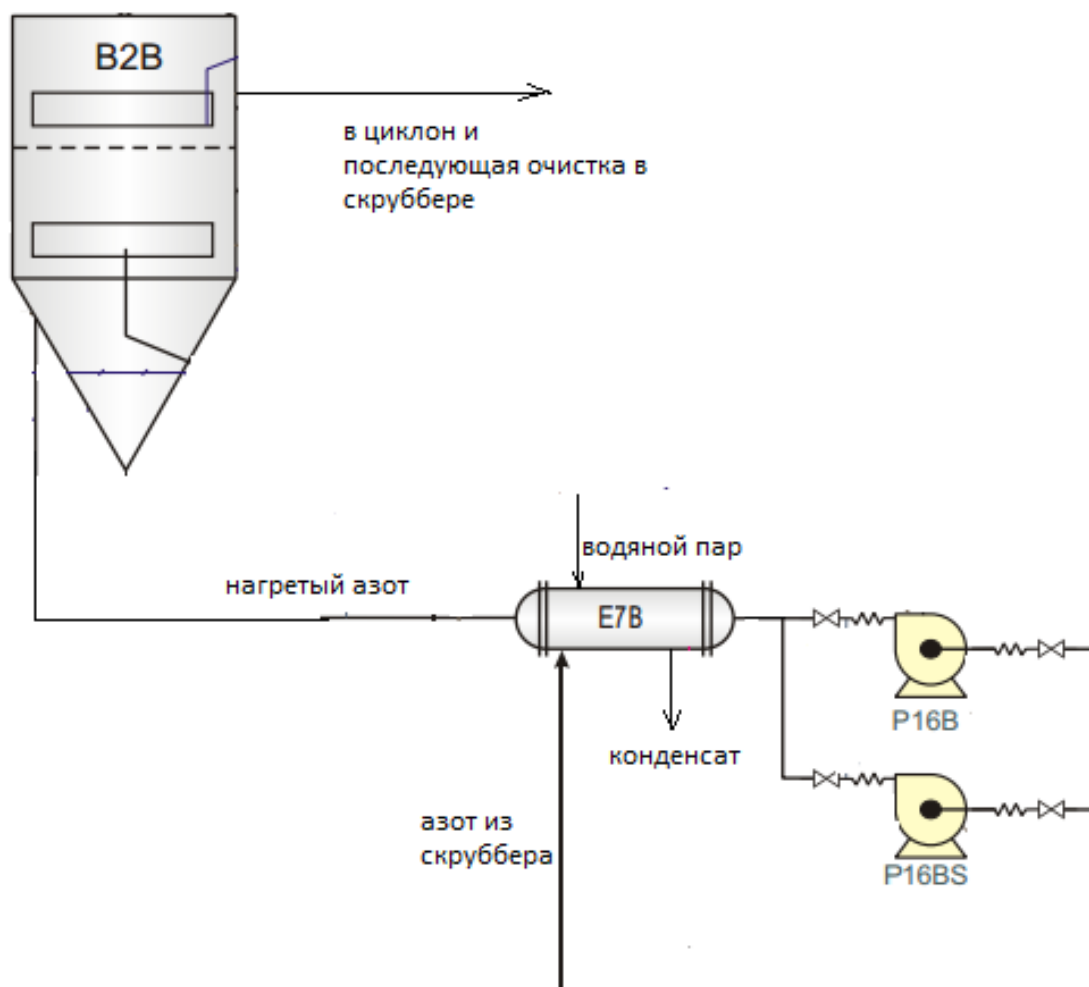


Рисунок 1. Установка для сушки полипропилена-порошка.

Установка для сушки полипропилена-порошка, служит для глубокой сушки полимера восходящим потоком горячего азота. На параллельно работающих двух технологических линиях производится сушка полимера

Глубокая сушка полипропилена производится восходящим потоком греющего азота, подающего через перфорированные листы последовательно в верхнюю и нижнюю камеры сушки. В сушилку V2B в верхнюю камеру подается полимер, проходит от центра к периферии, обтекая по спирали волнореза, и с верхней камеры пересыпается в нижнюю аналогично, обтекая по спирали волнореза передвигается от периферии к центру, и питателем через центральный патрубок поступает в линию пневмотранспорта.

Из верхней камеры сушки В2В насыщенный азот парами растворителя, податься в циклон. В циклоне проходит отделение унесенного порошка возвращает его питателем в линию выгрузки сухого порошка. Далее газодувкой азот переводят в нижнюю часть скруббера через холодильник.

Азот в скруббере проходит охлаждение и очистку от паров нефраса. После очистки в скруббере азот опять поступает в сушку В2В, предварительно нагретого в теплообменнике Е7В.

## 2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

### 2.1 Технологический расчет теплообменника

Исходные данные:

Кожухотрубчатый теплообменник для подогрева азота водяным парам

$G_n := 200$  тонн/сутки расход

$\rho_{г.п} := 1.964$  кг/м<sup>3</sup> плотность греющего пара

$\rho_{a0} := 1.663$  кг/м<sup>3</sup> плотность азота при 0 °С

$\rho_{a135} := 2.221$  кг/м<sup>3</sup> плотность азота при 135 °С

$$\rho_{cp} := \frac{\rho_{a0} + \rho_{a135}}{2} = 1.946 \text{ кг/м}^3 \quad (1.1)$$

$$G := G_n \cdot \frac{1000}{86400} = 2.317 \text{ кг/с} \quad (1.2)$$

#### Определение основных размеров аппарата и поверхности теплообмена

Применяем температуру греющего пара:

Выберем температуру греющего пара так, чтобы  $\Delta t < 50$  °С.

Греющий пар: 140°С – 140 °С

Азот: 0°С – 135°С

Давление греющего пара [1, стр.548]

$$\rho_{г.п} := 0.358 \cdot 10^6$$

Среднею разность температур рассчитаем по[1]:

$t_{кип} := 135$  °С температура азота

$t_{г.п} := 140$  °С температура кипения греющего пара

$\Delta t_n := 0$  °С начальная температура азота

$$\Delta t_6 := t_{г.п} - \Delta t_n = 140 \text{ °С} \quad (1.3)$$

$$\Delta t_m := t_{г.п} - t_{кип} = 5 \text{ °С} \quad (1.4)$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2.3 \log\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} = 40.56 \text{ °С} \quad (1.5)$$

Рассчитаем тепловую нагрузку:

$$t_{cp} := \frac{\Delta t_n + t_{кип}}{2} = 67.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.6)$$

Удельную теплоемкость азота определяем по [1, стр.516]

$$C_a := 1040.63$$

Расход теплоты определяется по формуле: [1]

$$Q_{cm} := G \cdot C_a \cdot (t_{кип} - \Delta t_n) = 3.252 \cdot 10^5 \text{ Вт} \quad (1.7)$$

Удельную теплоту парообразования определяется по [1, стр.548]

$$r_{г.п} := 2160 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$$

Определяем расход греющего пара:

$$G_{г.п} := \frac{1.05 \cdot Q_{cm}}{r_{г.п}} = 0.159 \text{ кг/с} \quad (1.8)$$

Динамический коэффициент вязкости определяем по [1, стр.516]

$$\mu_{cm} := 0.00019 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Принимаем  $Re=20000$  и находим требуемое количество труб диаметром 25x2 мм:

$$n := \frac{G}{0.785 \cdot Re \cdot d \cdot \mu_{cm}} = 36.962 \text{ количество труб на один ход} \quad (1.9)$$

Рассчитаем ориентировочную поверхность теплообмена при минимальном и максимальном коэффициенте теплоотдачи [1, стр.172]:

$$K_{min} := 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$K_{max} := 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$F_{min} := \frac{Q_{cm}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{max}} = 133.639 \text{ м}^2 \quad (1.10)$$

$$F_{max} := \frac{Q_{cm}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{min}} = 801.784 \text{ м}^2 \quad (1.11)$$



## 2.2 Конструктивный расчет аппарата

### 2.2.1 Выбор стандартного теплообменника

Далее рассмотрим вариант теплообменника с трубами 25 x 2

$N_o := 386$  шт. число труб

$Z := 6$  количество ходов

$h := 6$  м расстояние между перегородками

$F := 181 \text{ м}^2$  поверхность теплообмена

$$n_y := \frac{N_{\text{общ}}}{Z} = 63 \text{ число труб на один ход} \quad (2.1)$$

$D := 0.8$  м внутренний диаметр теплообменника

$n := 36.962$  требуемое число труб на один ход

$$Re_1 := Re \cdot \frac{n}{n_y} = 1.165 \cdot 10^4 \quad (2.2)$$

$Pr_c := 0.675$

$$Nu := 0.021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr_c^{0.43} = 49.258 \quad (2.3)$$

**Коэффициент теплопроводности:**

$$\alpha_c := \frac{Nu \cdot \lambda_c}{d} = 66.378 \quad (2.4)$$

где:  $\lambda_c := 0.0293$  Вт/м·К [1, стр.530]

$\mu_{\text{п.}} := 0.2021 \cdot 10^{-3}$  Коэффициент вязкости греющего пара

$$t_{\text{сг}} := t_{\text{п}} - 0.2 \cdot \Delta t_c = 135.874 \quad (2.5)$$

$$t_{\text{п}} := \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{сг}}}{2} = 137.982 \quad (2.6)$$

$\lambda_{\text{п}} := 0.675$

$\rho_{\text{п}} := 926.4$  г/дм<sup>3</sup> плотность греющего пара

$$\Sigma R := \frac{0.002}{17.5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 4.583 \cdot 10^{-4} \quad (2.7)$$

$$\alpha_{\text{КОН}} := 3,78 \lambda_{\text{г.п}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{п}} \cdot d \cdot n}{\mu_{\text{п}} \cdot G_{\text{п}}}} = 731.017 \quad (2.8)$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{с}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{КОН}}} + \Sigma R} = 59.16 \text{ Вт/м}^2 \quad (2.9)$$

$$F_{\text{д}} := \frac{Q_{\text{с}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 135.467 \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

$$\Delta := \frac{F - F_{\text{д}}}{F_{\text{д}}} \cdot 100 = 33.64 \% \quad (2.11)$$

## 2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей

Скорость движения жидкости находится в пределах от 0.5 до 2 м/с, а газа от 10 до 30 м/с. Так как, в нашем случае 4 штуцера, то определим диаметры для каждого из этих штуцеров:

$$\omega_{\Gamma} := 27 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\text{ж}} := 1.5 \text{ м/с}$$

$$\pi = 3.14$$

Для каждого диаметра штуцера рассчитаем условный (внутренний) диаметр из формулы массового расхода [1, стр.17]:

$$d_{\text{вх.г.п}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{г.п}}}{\rho_{\text{г.п}} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.063 \text{ м диаметр штуцера для входа пара} \quad (2.12)$$

$$d_{\text{кон}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{г.п}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{ж}}}} = 0.011 \text{ м диаметр штуцера для выхода конденсата} \quad (2.13)$$

$$d_0 := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\rho_{\text{а0}} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.258 \text{ м диаметр штуцера для входа азота} \quad (2.14)$$

$$d_{135} := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\rho_{\text{а135}} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.232 \text{ м диаметр штуцера для выхода нагретого азота} \quad (2.15)$$

Принимаем стандартные размеры труб [6] :

$$d_{\text{вх.г.п}} := 0.07 \text{ м}$$

$$S_{\text{вх.г.п}} := 0.002 \text{ м}$$

$$d_{\text{кон}} := 0.02 \text{ м}$$

$$S_{\text{кон}} := 0.001 \text{ м}$$

$$d_0 := 0.25 \text{ м}$$

$$S_0 := 0.0035 \text{ м}$$

$$d_{135} := 0.25 \text{ м}$$

$$S_{135} := 0.004 \text{ м}$$

$$M_{\Gamma 220 \times 3.5} := 23.25$$

$$m_{\Pi 220 \times 3.5} := M_{\Gamma 220 \times 3.5}^{0.2} = 4.642$$

$$M_{\Gamma 250 \times 4} := 23.73$$

$$m_{\Pi 250 \times 4} := M_{\Gamma 250 \times 4}^{0.2} = 4.754$$

$$M_{T70x2} := 3.03$$

$$m_{П70x2} := M_{T70x2}^{0.2} = 0.616$$

$$M_{T20x1} := 0.272$$

$$m_{П20x1} := M_{T20x1}^{0.2} = 0.053$$

Подбор стандартизированных фланцев [5, стр 547]

Выберем фланцы Типа 1:

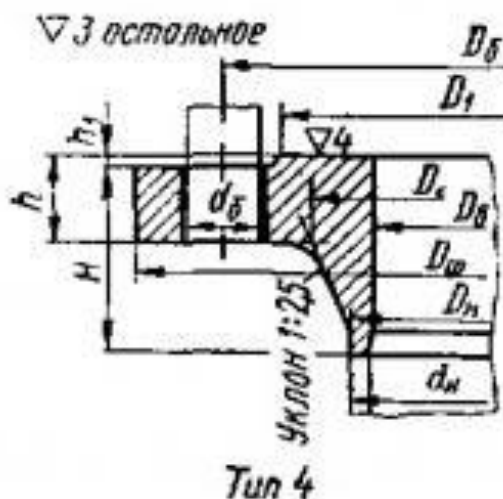


Рисунок 2. Фланец арматуры, соединительных частей из чёрных металлов, цельный.

**Подбираем фланцы на штуцера:**

$$d_{фвх.гр.пар.} := 0.07 \text{ м}$$

$$d_{фконд} := 0.02 \text{ м}$$

$$d_{ф0} := 0.250 \text{ м}$$

$$d_{ф135} := 0.250$$

### 2.3 Механический расчёт теплообменника

Механический расчет теплообменного аппарата проводят с целью проверки на прочность отдельных его узлов: корпуса, днища, трубных решеток фланцевых соединений, болтов. Расчет на прочность элементов кожухотрубчатых аппаратов проводят в соответствии с ГОСТ Р 52857-2007.

**Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника:**

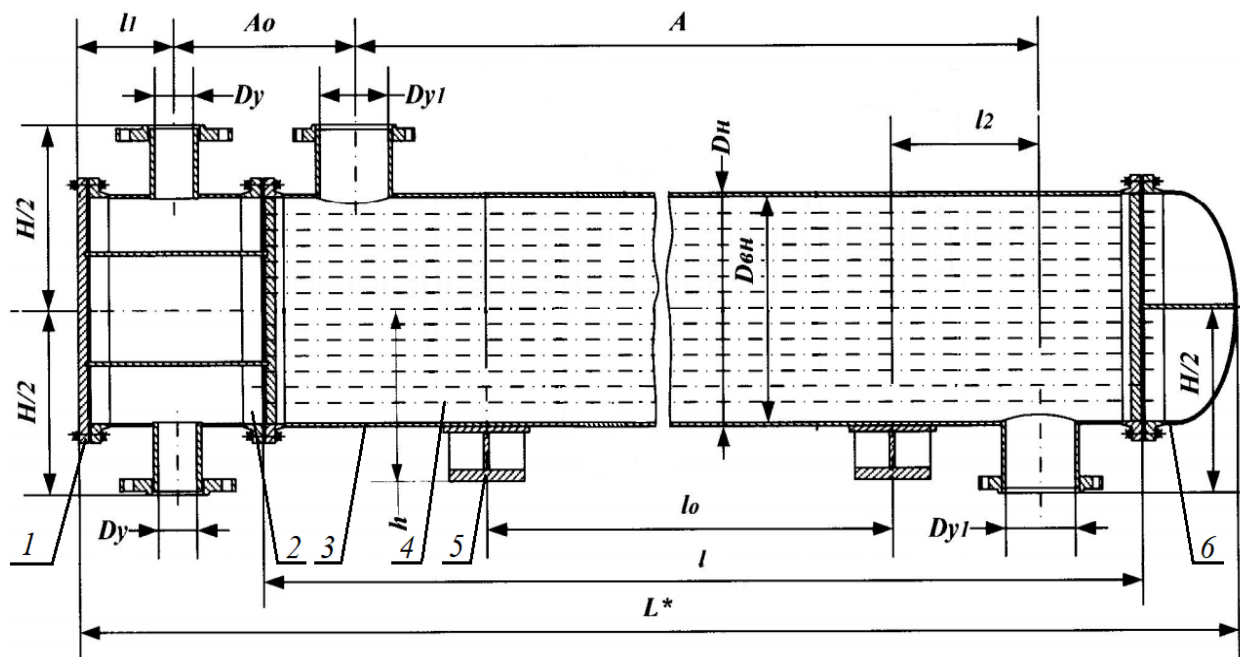


Рисунок 3. Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

1- крышка распределительной камеры; 2- распределительная камера; 3- кожух; 4- теплообменная труба; 5- опора; 6- крышка;  $l$ - длина труб

### 2.3.1 Расчетные параметры

Расчетные параметры:

$D := 800$  мм      внутренний диаметр аппарата;

$P := 0.45$  МПа      рабочее давление;

$H := 6000$  мм      Длина цилиндрической части обечайки;

$t_c := 140$  °C      Температура среды;

$\Pi := 0.02$  мм/год      Скорость коррозии;

$Y := 10$  лет      Эксплуатационный срок;

По исполнению: М23

Крышка, трубная решетка из стали марки 08Х21Н6М2Т

Корпус из стали марки 16ГС

Механические характеристики материалов определяются по ГОСТ Р 52857.1-2007 [7]

Таблица 1. – Механические характеристики материалов

Деталь Материал	Допускаемое напряжение при 140°C, МПа $\sigma_t$	Допуск.нап- р-ие при 20°C, МПа $\sigma_{20}$	Предел текучести при 140 °C, МПа $R_{02}$	Предел текучести при 20 °C МПа $R_{02}$	Коэффициент запаса прочности, $\eta$	Коэффициент прочности и сварных швов, $\phi_p$	Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, $n_T$
Корпус 16гс	172.3	197	256	232.5	1	0.9	1.1
Крышка а 08Х21 Н6М2Т	194.5	234	289.5	263			

### **Расчетное внутреннее избыточное давление:**

$$P_p := P + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^9} = 0.45 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

где:  $\rho := 926.1 \text{ г/дм}^3$  плотность греющего пара;

$g := 9.81 \text{ м/с}^2$  Ускорение свободного падения;

$H := 6000 \text{ мм}$  Длина цилиндрической части обечайки;

$P := 0.45 \text{ МПа}$  рабочее давление;

### **Пробное давление гидравлического испытания:**

$$P_{\text{про}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д20о}}}{\sigma_{\text{т0}}} = 0.584 \text{ МПа для обечайки} \quad (3.2)$$

$$P_{\text{прк}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д20к}}}{\sigma_{\text{тк}}} = 0.59 \text{ МПа для крышек} \quad (3.3)$$

где:  $P$  – расчетное давление – 0.45 МПа

допускаемое напряжение при температуре гидравлических испытаний

$$\sigma_{\text{д20к}} := \eta \cdot \sigma_{20\text{к}} = 234 \text{ МПа для крышек} \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\text{д20о}} := \eta \cdot \sigma_{20\text{о}} = 197 \text{ МПа для обечайки} \quad (3.5)$$

где:  $\eta := 1$  Коэффициент запаса прочности

Допускаемое напряжение стали при 140 °С

$$\sigma_{\text{тк}} := 194.5 \text{ Мпа для крышек}$$

$$\sigma_{\text{т0}} := 172.3 \text{ МПа для обечайки}$$

### 2.3.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Расчет обечайки проводим по ГОСТ 52857.2-2007 [10]

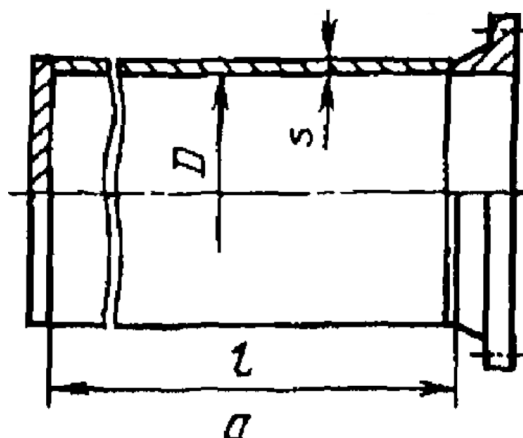


Рисунок 4. Расчетная схема цилиндрической обечайки

Расчетную толщину стенки вычисляем по формуле:

$$s_p := \max \left[ \frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{тк}} - P_p)}, \frac{P_{\text{про}} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{д200}} - P_{\text{про}})} \right] = 1.378 \text{ мм} \quad (3.6)$$

где:  $D := 800$  мм — внутренний диаметр аппарата;

$\phi_p := 0.9$  — коэффициент прочности сварных швов;

$P_p := 0.45$  МПа — расчетное внутреннее избыточное давление;

$P_{\text{про}} := 0.584$  МПа — пробное давление гидравлическом испытании внутри аппарата для обечайки;

$\sigma_{\text{тк}} := 194.5$  МПа — допускаемое напряжение при 140 °С для крышки;

$\sigma_{\text{д200}} := 197$  МПа — допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях для обечайки;

Добавка на коррозию и на компенсацию минусового допуска:

$c$  — сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм;

$c := 1$  мм

$S_{\text{цО}} := \text{ceil}(s_p + c) = 3$  мм

Рекомендуется принять толщину стенки 6 мм [10]



## Проверка на условие прочности

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляем по формуле[10]:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{to} \cdot \phi_p \cdot (S_{\text{ЦО}} - c)}{D + (S_{\text{ЦО}} - c)} = 1.087 \text{ МПа} \quad (3.7)$$

где:  $D := 800$  мм внутренней диаметр аппарата;

$\phi_p := 0.9$  коэффициент прочности сварных швов;

$S_{\text{ЦО}} := 6$  мм исполнительная толщина стенки

$c := 1$  мм сумма прибавок к расчетным толщинам стенок;

$\sigma_{to} := 172.3$  МПа допускаемое напряжение для обечайки при 140 градусов

$P = 0.45$  МПа рабочее давление

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

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

*Принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки  $S_{\text{ЦО}} := 6$  мм*

Расчётные габариты листа:

Согласно ГОСТ 19903-74, цилиндрическую обечайку выполняют из двух листов металла.

Габариты: 1400·6000·6 мм

### 2.3.3 Расчёт толщины стенки эллиптического днища[10]

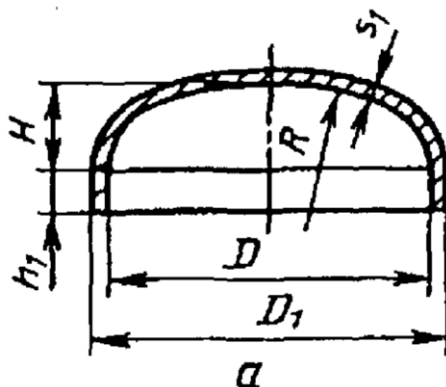


Рисунок 5. Расчетная схема эллиптического днища

#### Высота крышки

Так как, крышка эллиптическая, то по ГОСТ Р 52857.2-2007,

$H := 0.25 \cdot D$ ;  $H = 200$  мм -высота выпуклой части крышки

где:  $D := 800$  мм    внутренний диаметр аппарата;

#### Рассчитаем внутреннее избыточное давление:

$$P_p := P + \frac{\rho_{\text{ср}} \cdot g \cdot H}{10^9} = 0.1 \text{ МПа} \quad (3.8)$$

где:  $P := 0.1$  МПа давление жидкости;

$\rho_{\text{ср}} := 1.942$  кг/м<sup>3</sup> средняя плотность жидкости

$g := 9.8$  м/с<sup>2</sup> ускорение свободного подения

Проверим условие применения расчетный формул

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

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

### Радиус кривизны [10]

$R := \text{ceil}\left(\frac{D^2}{4H}\right) = 800$  мм - радиус кривизны в вершине крышек по внутренней поверхности;

где:  $D := 800$  мм внутренней диаметр аппарата;

$H := 200$  мм высота выпуклой части крышки;

### Расчетная толщина стенки определяется по формуле [10]:

$$S_p := \max \left[ \frac{P_p \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{тк}} - 0.5 P_p)}, \frac{P_{\text{прк}} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д20к}} - 0.5 P_{\text{прк}})} \right] = 1.047 \text{ мм} \quad (3.9)$$

где:  $\phi := 1$  коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки по ГОСТ Р 52857.1-2007

$R := 800$  мм радиус кривизны в вершине крышки по внутренней поверхности;

$P_p := 0.1$  МПа расчётная величина внутреннего избыточного давления;

$P_{\text{прк}} := 0.59$  МПа пробное давление для крышки при гидравлическом испытании;

$\sigma_{\text{тк}} := 193.5$  МПа допускаемое напряжение для крышки при 140 °С;

$\sigma_{\text{д20к}} := 234$  МПа допускаемое напряжение для крышки при гидравлическом испытании;

$$S_{\text{ЭК}} := \text{ceil}(S_p + c) = 3 \text{ мм}$$

где:  $c := 1$  мм суммарная прибавка к расчётной толщине стенки;

По рекомендациям примем толщину стенки 6 мм.

Допустимое внутреннее избыточное давление

$$p_{\text{дл}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{тк}} \cdot \phi \cdot (S_{\text{ЭК}} - c)}{D + 0.5(S_{\text{ЭК}} - c)} = 2.395 \text{ МПа} \quad (3.10)$$

где:  $\phi := 1$  коэффициент прочности сварных швов;

где:  $D := 800$  мм внутренней диаметр аппарата;

$\sigma_{\text{тк}} := 194.5$  МПа допускаемое напряжение для крышки при 140 °С

$S_{ЭК} := 6$  мм исполнительная толщина стенки

### Проверка на условие прочности

$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P \leq p_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

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

Длина цилиндрической отбортованной части днища: [10]

$$h_1 := \text{ceil}[0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (S_{ЭК} - c)}] = 50 \text{ мм} \quad (3.11)$$

где: где:  $D := 800$  мм. внутренний диаметр аппарата;

$S_{ЭК} := 6$  мм исполнительная толщина стенки

$c := 1$  мм суммарная прибавка к расчётной толщине стенки;

### Расчёт толщины стенки стандартной эллиптической крышки.

#### Высота крышки:

Исходя из того что, крышка эллиптическая, то, по ГОСТ Р 52857.2-2007,

$H := 0.25 \cdot D$   $H := 200$  мм – высота

#### Проверка условия применимости формул:

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

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

#### Радиус кривизны

$R := \text{ceil}\left(\frac{D^2}{4H}\right) = 800$  мм радиус кривизны в вершинах крышек по внутренней поверхности;

#### Расчетная толщина стенки

$$S_p := \max\left[\frac{P_p \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{тк} - 0.5 P_p)}, \frac{P_{прк} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д20к} - 0.5 P_{прк})}\right] = 1.056 \text{ мм} \quad (3.12)$$

где:  $\phi := 1$  коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки по ГОСТ Р 52857.1-2007

$R := 800$  мм радиус кривизны в вершинах крышек по внутренней поверхности;

$P_p := 0.1$  МПа Расчетное внутреннее избыточное давление;

$P_{прк} := 0.59$  МПа пробное давление для крышки при гидравлическом испытании;

$\sigma_{тк} := 194.5$  МПа допустимое напряжение для крышки при 140 °С ;

$\sigma_{д20к} := 232$  МПа допустимое напряжение для гидравлического испытания;

$S_{эк} := \text{ceil}(S_p + c) = 3$  мм.

Рекомендуется принять толщину стенки 6мм [10]

**Допустимое внутреннее избыточное давление**

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{тк} \cdot \phi \cdot (S_{эк} - c)}{D + 0.5(S_{эк} - c)} = 2.516 \text{ МПа} \quad (3.13)$$

где:  $\phi := 1$  коэффициент прочности сварного шва;

где:  $D := 800$  мм внутренний диаметр аппарата;

$\sigma_{тк} := 194.5$  МПа допустимое напряжение для крышки при 140 °С ;

$S_{эк} := 6$  мм исполнительная толщина стенки

**Проверка условия прочности:**

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P \leq p_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Принимаем: толщину стенки эллиптического днища 6мм;

Длина цилиндрической отбортованной части днища 51мм;

### 2.3.4 Расчет укрепления отверстий

Расчет укреплению отверстий проводим по ГОСТ Р 52857.3-2007

Расчётные диаметры укрепляемых элементов

$$x := 250$$

$$l_1 := 350 \text{ мм} \quad \text{Длина внешней части штуцера}$$

$$l_3 := 5 \text{ мм} \quad \text{Длина внутренней части штуцера}$$

$$\text{Ширина накладного кольца для входа греющего пара} \quad l_2 := 0.5d_{\text{вх.гр.пар}}$$

$$\text{Ширина накладного кольца для выхода конденсата} \quad l_{22} := 0.5d_{\text{конд}}$$

$$\text{Ширина накладного кольца входа азота} \quad l_{21} := 0.5d_0$$

$$\text{Ширина накладного кольца выхода азота} \quad l_{221} := 0.5d_{135}$$

#### На входе

$$\text{для цилиндрической обечайки} \quad D_{\text{po}} := D = 800 \text{ мм}$$

$$\text{Расчетный диаметр отверстия в обечайке} \quad d_{\text{р вх.гр.пар}} := d_{\text{вх.гр.пар}} + 2 \cdot c = 72 \text{ мм}$$

$$d_{\text{вх.гр.пар}} := 70 \text{ мм} \quad \text{диаметр штуцера для входа пара}$$

#### На выходе

$$\text{Расчетный диаметр отверстия в обечайке} \quad d_{\text{р конд}} := d_{\text{конд}} + 2 \cdot c = 22 \text{ мм}$$

для цилиндрической обечайки

Проверка условий применимости формул для расчёта укрепления отверстий:  
**в обечайке**

$$Us11 := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_{\text{рвх.гр.пар}} - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(3 - 1)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us11 = \text{"условия применения формул выполняются"}$$

### Расчетная толщина стенки обечайки:

$$s_{pk} := \frac{P_r \cdot D_{po}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{dk} - P_r} = 0.946 \text{ мм для обечайки} \quad (3.14)$$

$P_r := 0.45$  МПа Расчетное давление в аппарате;

$D_{po} := 800$  мм внутренний диаметр укрепленного элемента;

где:  $\phi := 1$  коэффициент прочности сварных швов по ГОСТ Р 52857.1-2007;

$\sigma_{dk} := 172.3$  МПа допускаемое напряжение для обечайки при 140 °С ;

Расчётная толщина стенки штуцера:

для входа водяного пара

$$s'_{p} := \frac{P_r \cdot (d_{p \text{ вх.г.}} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{d1} - P_r} = 0.079 \text{ мм} \quad (3.15)$$

где:  $P_r := 0.45$  МПа расчетное давление в аппарате;

$d_{p \text{ вх.г.п}} := 72$  мм расчетный диаметр отверстия в аппарате;

$\sigma_{dk} := 172.3$  МПа допускаемое напряжение для штуцера при 140 °С;

где:  $\phi := 0.9$  коэффициент прочности сварных швов по ГОСТ Р 52857.1-2007

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p} := \min \left[ l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{вх.гр.пар}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 1)} \right] \quad l_{11p} = 11.89 \text{ мм} \quad (3.16)$$

$$l_{31p} := \min \left[ l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{\text{вх.гр.пар}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 4.356 \text{ мм} \quad (3.17)$$

где:  $d_{\text{вх.г.п.}} := 70$  мм диаметр штуцера входа пара

$c := 1$  мм суммарная прибавка к расчетной толщине стенок;

$l_1 := 350$  мм длина внешней части штуцера;

$l_3 := 5$  мм длина внутренней части штуцера;

Расчет ширины накладного кольца:

$$l_{21p} := \min \left[ l_2, \sqrt{D_{po} \cdot (3 + 3 - c)} \right] \quad l_{21p} = 35 \text{ мм} \quad (3.18)$$

где:  $l_2 := 0.5 \cdot d_{\text{вх.г.п}} = 35$  мм ширина накладного кольца входа греющего пара;

$D_{\text{po}} := 800$  мм внутренний диаметр укрепленного элемента;

Расчетная ширина укрепляющей зоны в обечайки и днище при отсутствии торообразной вставки или вваренного кольца:

$$l_{\text{пр}} := \sqrt{D_{\text{po}} \cdot (3 - c)} = 40 \text{ мм} \quad (3.19)$$

Отношение допустимых напряжений:

$$\text{внешней части штуцера } \chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_{\text{дк}}}\right) \quad \chi_1 = 1 \quad (3.20)$$

$$\text{накладного кольца } \chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_{\text{дк}}}\right) \quad \chi_2 = 1 \quad (3.21)$$

$$\text{внутренней части штуцера } \chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_{\text{дк}}}\right) \quad \chi_3 = 1 \quad (3.22)$$

Расчетный диаметр одного отверстия, не требующий дополнительных укреплений:

$$d_{l_{\text{op}}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{\text{po}} \cdot (3 - c)} = 15.78 \text{ мм} \quad (3.23)$$

Расчетный диаметр одного отверстия, не требующий дополнительных укреплений при наличии избыточной толщины стенки аппарата:

$$d_{l_o} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{3-c}{s_{\text{рк}}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{\text{po}} \cdot (3 - c)} = 108.247 \text{ мм} \quad (3.24)$$

Проверка на необходимость укреплений отверстий:

$$\text{Prov1} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{l_o} < d_{\text{вх.г.п.пар}} \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov1 = "Укрепление не требуется"

$$\text{Prov5} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{l_o} < d_{\text{конд}} \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov5 = "Укрепление не требуется"



### 2.3.5 Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений.

Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений проводим по ГОСТ Р 52857.4-2007 [13]

Исходные данные для расчёта:

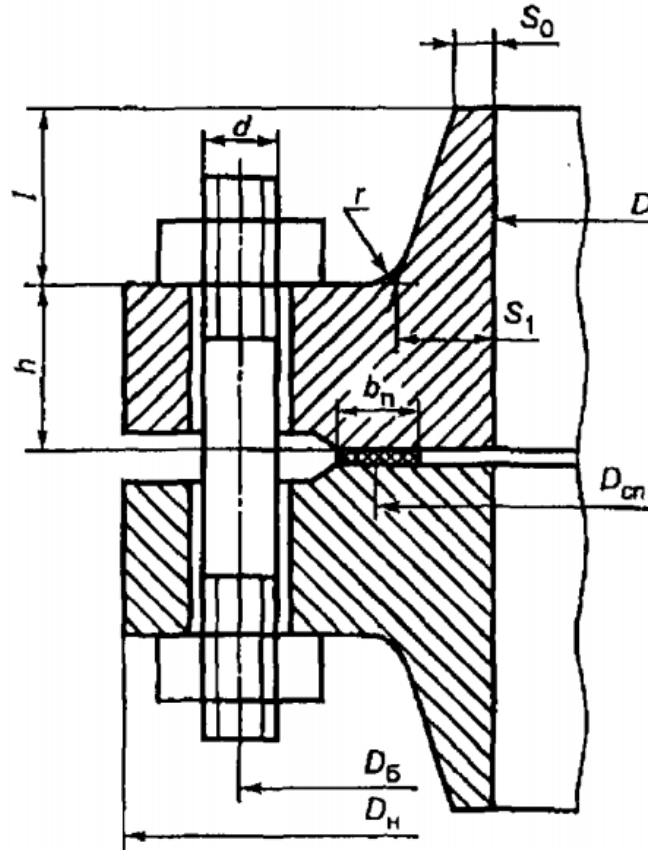


Рисунок 6. Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

$D := 800$ мм	Внутренний диаметр аппарата;
$D_{\text{н}} := 930$ мм	Наружный диаметр фланца;
$D_{\text{б}} := 890$ мм	Диаметр расположения болтов;
$D_{\text{сп}} := 857$ мм	Расчетный диаметр прокладки;
$b_{\text{п}} := 20$ мм	Ширина прокладки;
$h := 0.5 \cdot (D_{\text{н}} - D)$ мм	Ширина тарелки фланца;
$h_{\text{п}} := 2$ мм	Толщина прокладки;
$S_0 := 6$ мм	Толщина втулки приваренного встык фланца в месте приварки к обечайки, толщина обечайки плоского фланца

$n := 32$	Число болтов
$P := 0.45 \text{ МПа}$	Расчётное давление
$M := 0 \text{ МН}\cdot\text{м}$	Внешний изгибающий момент
$F := 0 \cdot 10^6 \text{ МН}$	Осевая сила
$c_o := 1.0 \text{ мм}$	Суммарная прибавка к расчётной толщине
$t := 152 \text{ }^\circ\text{C}$	Рабочая температура

Материал обечайки и фланцев – сталь 16ГС

Материал болтов – сталь 35Х

Материал прокладки – паронит

Приварные плоские стальные фланцы используются для сосудов и аппаратов диаметры, которых лежат в пределах от 400 до 4000 мм при температуре рабочей среды от  $-70 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  и условным давлением 0.3–1.6 МПа, предназначены для работ в химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и других промышленных областях.

### **Выбор крепежных изделий :**

Можно использовать болты так как, давление не превышает 2,5 МПа

### **Расчетные параметры:**

Расчёт температуры неизолированного плоского фланца [13, таб. В.1]

$$t_{\phi} := 0.95 \cdot t = 145.73 \text{ }^\circ\text{C}$$

Расчет температуры болтов [13, Табл. В.1]

$$t_{\sigma} := 0.86 \cdot t = 129.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для болтов [13, Табл. Г.1]

При работе

$$\underline{t} := \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \underline{\sigma} := \begin{pmatrix} 183.4 \\ 164.3 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\sigma}), 0.5) = 172 \text{ МПа}$$

Модуль упругости болтов при рабочей температуре [13, табл. Ж.1]

$$E_{\sigma} := 2.067 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение болтов при 20 °С [13, таб. Г.1]

$$\sigma_{20\sigma} := 191.2 \text{ МПа}$$

Модуль упругости болтов при рабочей температуре [13, таб. Ж.1]

$$E_{20\sigma} := 2.21 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения болтов при температуре от 20 до 160 °С [13, таблице Ж.2]

$$\alpha_{\sigma} := 12.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения фланцев и обечаек [13, Табл. Г.1]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 197 \\ 148 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) = 153.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma = 153.8 \text{ МПа}$$

$\eta := 1$  коэффициент запаса прочности по ГОСТ Р 52857.1-2007

Модуль упругости стали 16ГС при рабочей температуре

$$E := 2.019 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение для стали 16ГС при 20 градусах

$$\sigma_{20} := 197 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{н}20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 197 \text{ МПа}$$

Модуль упругости стали 16ГС при температуре испытания

$$E_{20} := 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при температуре от 20 до 160 °С

$$\alpha_{\phi} := 12.18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

**Эффективную ширину прокладки вычисляют по формуле:**

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

$$b_0 = 16 \text{ мм}$$

где:  $b := 20$  мм ширина прокладки;

**Характеристики прокладки:**

Выбираем характеристики для паронита: [12,табл.И.1]

Таблица 2 – Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент $m$	Удельное давление обжатия прокладки $q_{\text{обж}}$ , МПа	Допускаемое удельное давление $q_d$ , МПа	Коэффициент обжатия $K_o$	Условный модуль сжатия прокладки $E_{\Pi}$ , МПа
Паронит по ГОСТ 481	2.5	20	130	0.9	200

**Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:**

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| = 2.464 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad (3.25)$$

где:  $D_{\text{сп}} := 857$  мм расчётный диаметр прокладки;

$b_0 = 16$  мм эффективная ширина плоской прокладки;

$P := 0.45$  МПа расчётное давление;

**Усилие действующее на прокладку в рабочих условиях, необходимое для предоставления герметичности фланцевого соединения:**

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.26)$$

$$R_{\Pi} = 5.152 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

**Определение усилия в болтах в рабочих условиях и условия при затяжке:**

Площадь поперечных сечений болтов по [13,табл. Д.1]

$$f_b := 225 \text{ мм}^2$$

**Суммарную площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или наружному сечения наименьшего диаметра вычисляют по формуле:**

$$A_b := n \cdot f_b = 7.2 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 \quad (3.27)$$

где:  $n := 32$  число болтов ;

**Равнодействующую нагрузку от давления вычисляют по формуле:**

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{cp})^2 \cdot P = 2.596 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (3.28)$$

где:  $D_{cp} := 857$  мм расчетный диаметр прокладки;

$P := 0.4$  МПа расчётное давление;

**Приведенную нагрузку, вызванную воздействием внешней силы и изгибающего момента вычисляем по формуле:**

$$Q_{FM} := \max\left(\left|F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{cp}}\right|, \left|F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{cp}}\right|\right) = 0 \text{ Н} \quad (3.29)$$

где:  $F := 0 \cdot 10^6$  МН осевая сила;

$M := 0$  МН·м внешний изгибающий момент;

**Податливость прокладки**

$$y_p := \frac{h_p \cdot K_o}{E_p \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot b_p} = 1.871 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (3.30)$$

где:  $h_p := 2$  мм толщина прокладки;

$K_o := 0.9$  коэффициент обжатия;

$E_p := 200$  МПа условный модуль сжатия прокладки;

$B := 20$  мм ширина прокладки;

### **Расстояние между опорными поверхностями гайки опорными поверхностями болта:**

$$L_{60} := 98 \text{ мм}$$

Эффективная длина болтов с учетом определенной податливости

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

где:  $d := 20$  мм диаметр болтов ;

### **Податливость болтов:**

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 6.6 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (3.31)$$

где:  $E_{206} := 2.18 \cdot 10^5$  МПа Модуль упругости болтов при температуре испытания;

$A_6 := 7.2 \cdot 10^3$  мм<sup>2</sup> сумма площадей сечения болтов по нагруженному сечению наименьшего диаметра или внутреннего диаметра резьбы:

### **Расчётные параметры фланцов:**

длина обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 69.282 \text{ мм} \quad (3.32)$$

где:  $D := 800$  мм внутренний диаметр фланца;

$S_0 := 6$  мм толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайки, толщина обечайки плоского фланца;

– Отношения наружного диаметра тарелки фланца к внутреннего диаметра:

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.174 \quad (3.33)$$

– коэффициенты, зависимые от соотношений размеров фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.65 \cdot \log(K)) - 1}{(1.55 + 1.965 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.962 \quad (3.34)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.65 \cdot \log(K)) - 1}{1.76(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 15.453 \quad (3.35)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K-1)} \cdot \left[ 0.68 + 5.42 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2-1)} \right] = 14.178 \quad (3.36)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2+1}{K^2-1} = 6.893 \quad (3.37)$$

Коэффициенты для фланцевого соединения с плоскими фланцами, приварным встык фланцем, с прямой втулкой и свободными фланцами определяются по [13]

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

- коэффициент

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 5.25 \quad (3.38)$$

где:  $h := 65$  мм ширина тарелки фланца;

$l_0 := 69.272$  мм параметр определяющий длину обечайки;

$S_0 := 6$  мм толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайки, толщина обечайки плоского фланца;

**Угловая податливость фланца при затяжки:**

$$y_\phi := \frac{0.86 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.92 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Н} \cdot \text{мм} \quad (3.39)$$

где:  $E_{20} := 2.1 \cdot 10^5$  МПа модуль упругости для фланца при температуре испытаний;

Определим угловую податливость фланца, имеющий нагрузку от внешнего изгибающего момента;

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} = 8.039 \cdot 10^{-12} \text{ 1/Н} \cdot \text{мм} \quad (3.40)$$

где:  $D_6 := 890$  мм диаметр расположения болтов;

$D_H := 930$  мм наружный диаметр фланца;

Коэффициент  $C_F$ , учитывает изгиб тарелки фланца между болтами,

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{\left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m+0.5} \right)}} \right] = 1 \quad (3.41)$$

где:  $d := 20$  мм диаметр болта;

$h := 65$  ширина тарелки фланца;

$m := 2.5$  прокладочный коэффициент;

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{пр} := D = 800 \text{ мм}$$

Плечо действия усилия в болтах для плоских фланцев и приварных встык;

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 16.5 \quad (3.42)$$

Плечо действия усилия на фланец от давления (для всех типов фланцев);

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) = 25.5 \quad (3.43)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев;

$$S_3 = S_0 = 6 \text{ мм.}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для плоских фланцев и приварных встык:

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 2.942 \cdot 10^6 \quad (3.44)$$

где:  $y_{п} := 1.671 \cdot 10^{-7}$  мм/Н податливость прокладки;

$y_6 := 6.6 \cdot 10^{-8}$  мм/Н податливость болта;

$y_{ф} := 1.764 \cdot 10^{-9}$  1/Н·мм угловая податливость фланца при затяжки;

$E_{206} := 2.231 \cdot 10^6$  МПа модуль упругости болта при температуре испытаний;

$E_6 := 2.068 \cdot 10^5$  МПа модуль упругости для болта в рабочий температуры;

$E := 2.018 \cdot 10^5$  МПа модуль упругости стали 16ГС в рабочий температуры

$b := 16.5$  плечо усилий действующих в болтах;



Коэффициент жёсткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для плоских фланцев и приварных встык с использованием плоских прокладок:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 0.968 \quad (3.45)$$

где:  $e := 25.5$  Плечо действия усилия на фланец от давления (для всех типов фланцев);

Коэффициент жёсткости фланцевого соединения, нагруженный от внешнего изгибающего момента:

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{СП}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\Pi} \cdot \left( \frac{D_{\delta}}{D_{\text{СП}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} = 0.33 \quad (3.46)$$

где:  $y_{\Phi H} := 8.039 \cdot 10^{-12}$  1/Н·мм угловая податливость фланца, от внешнего изгибающего момента;

$D_{\delta} := 890$  мм диаметр расположения болтов;

$D_{\text{СП}} := 857$  мм расчетный диаметр прокладки;

**Нагрузку, вызванную стесненностью температурных деформаций, вычисляют по формуле:**

- в соединениях с приварным встык и плоскими фланцами

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\delta} \cdot h \cdot (t_{\delta} - 20)] = 7.803 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad (3.47)$$

Расчётное напряжение на болт при затяжки, необходимое для предоставления в рабочих условиях давления на прокладку, достаточная для герметичности фланцевого соединения:

$$P_{\delta 1} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{3 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{3 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} - Q_t \end{array} \right] = 3.284 \cdot 10^6 \text{ Н} \quad (3.48)$$

Расчётное напряжение на болт при затяжки, достаточное для предоставления обжатия прокладки и минимальное начальное натяжение болта:

$$P_{\delta 2} := \max \{ P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot \sigma_{206} \} \quad (3.49)$$

$$P_{\text{обж}} = 2.464 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\text{б2}} = 5.482 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчётное напряжение на болт при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\text{м}} := \max\{P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}\} = 5.464 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (3.50)$$

Расчётное напряжение на болт фланцевых соединений в рабочих условия:

$$P_{\text{р}} := P_{\text{м}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}} \cdot |M|)}{D_{\text{сп}}} = 6.168 \cdot 10^5 \text{ Н} \quad (3.51)$$

### Проверка на прочность болтов и прокладок

Расчётное напряжение в болтах вычисляют по формуле:

- при затяжки

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{м}}}{A_{\text{б}}} = 69.28 \text{ МПа} \quad (3.52)$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{р}}}{A_{\text{б}}} = 87.418 \text{ МПа} \quad (3.53)$$

### Проверка условия прочности болтов в рабочих условиях и при затяжки:

$$Us1\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{\text{б1}} := 69.28 \text{ МПа} \quad \sigma_{206} := 191.2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{б2}} := 87.418 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д.б}} := 172 \text{ МПа}$$

Определим удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\text{м}}, P_{\text{р}})}{\pi \cdot D_{\text{п}} \cdot b_{\text{п}}} = 12.836 \text{ МПа} \quad (3.54)$$

### Проверка условия прочности мягких прокладок:

$$Us1\_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 12.836 \text{ МПа}$$

$$q_d = 124 \text{ МПа}$$

### Расчёт фланцевого соединения на статическую прочность:

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

- для приварного встык фланцевого соединения

$$M_M := C_F \cdot P_{\text{бм}} \cdot b = 8.71 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3.55)$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

- для приваренного встык фланцевого соединения

$$M_p := C_F \cdot \min[P_{\text{бр}} \cdot b + (Q_d + Q_{\text{FM}}) \cdot e, |Q_d + Q_{\text{FM}}| \cdot e] = 6.619 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3.56)$$

Расчётное напряжение во фланцевом соединении при затяжки:

Меридиональные изгибные напряжения во втулки приварного встык фланцевого соединения, обечайки плоского фланца вычисляются по формуле:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 82.964 \text{ МПа} \quad (3.57)$$

Напряжение в тарелки приварного встык фланца, плоского фланца при затяжке вычисляются по формуле:

- радиальное напряжение

$$\sigma_R := \frac{1.53 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M_M = 1.048 \text{ МПа} \quad (3.58)$$

- окружное напряжение

$$\Sigma_{\text{ТМ}} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{\text{RM}} = 26.74 \text{ МПа} \quad (3.59)$$

Расчётное напряжение во фланцах при рабочих условиях

Меридиональные изгибаемые напряжения во втулки приварного встык фланца или обечайки плоского фланца в рабочих условиях вычисляются по формуле:

- с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0) \cdot D_{пр}} = 63.046 \text{ МПа} \quad (3.60)$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулки приваренного встык фланца или обечайки плоского фланца при рабочих условиях вычисляются по формуле:

- с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{0m} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{6|M|}{D_{II}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c)}, \frac{Q_d + F - \frac{6|M|}{D_{II}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] = 21.784 \text{ МПа} \quad (3.61)$$

Напряжение в тарелки приварного встык фланца или плоского фланца при рабочих условиях:

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 0.797 \text{ МПа} \quad (3.62)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 20.32 \text{ МПа} \quad (3.63)$$

### Проверка условия статической прочности фланца

$K_t := 1.3$  для расчёта с учётом стесненности температурной деформации

$K_t := 1$  для расчёта без учёта стесненности температурной деформации

$$Us1\_3 := \begin{cases} PR\_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) < K_T \cdot \sigma_{20} \\ PR\_2 & \text{if } \max \left( \begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}| \end{array} \right) < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR\_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_3 := "Условия статической прочности выполняется"

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 109.704 \text{ МПа} \quad (3.64)$$

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

$$\max \left( \begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}| \end{array} \right) = 83.548 \text{ МПа} \quad (3.65)$$

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

### Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца в рабочих условиях вычисляют по формуле:

$$\Theta := M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1,254 \cdot 10^{-3} \quad (3.66)$$

Допустимый угол поворота плоского фланца [13]:

$$[\Theta_d] := 0.013 \text{ при } D \text{ больше } 2000 \text{ мм}$$

$$Us1\_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

### 2.3.6 Поверочный расчет теплообменника

Поверочный расчет теплообменника устанавливает возможность использования рассчитанного кожухотрубчатого теплообменника для заданного процесса и проводят его по ГОСТ Р 52857.7- 2007 [16]

#### Определение расчётных параметров:

трубы	корпус
16ГС	16ГС
$t_T := 67.5$	$t_T := 140$
$\alpha_T := 11.644 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_T := 12.14 \cdot 10^{-6}$
$\sigma_{tr} := 156.7$	$\sigma_{tr} := 150.8$
$E_T := 2.0628 \cdot 10^5$	$E_T := 2.026 \cdot 10^5$

#### Наружный диаметр аппарата:

$$D_H := \frac{D + 2 \cdot S_{ЦО}}{1000} = 0.812 \text{ м} \quad (3.67) \quad D := \frac{D}{1000} = 0.8 \text{ м} \quad (3.68)$$

#### Поперечного сечения труб и корпуса вычисляем по:

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (0.812^2 - 0.8^2) = 7.578 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (3.69)$$

$$F_T := N \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) = 0.055 \text{ м}^2 \quad (3.70)$$

#### Определение температурных усилий:

$$Q_t := \frac{(|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K|) \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 1.235 \text{ МН} \quad (3.71)$$

#### Определение температурных напряжений:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 22.272 \text{ МПа} \quad (3.72) \quad \sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 163.247 \text{ МПа} \quad (3.73)$$

$$Us1\_ := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_T \leq \sigma_{tT} \\ \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_K \leq \sigma_{tK} \\ \text{"Условие прочности не выполняется, теплообменник ТН не подходит"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_ = "Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"

### **Коэффициенты влияния перфорации на параметры трубной решетки**

Коэффициент ослабления трубной решетки при расчете кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками:

### **Определение коэффициентов системы кожух-решетка, обечайка-фланец камеры и коэффициента жесткости фланцевого соединения при изгибе:**

$$\varphi_p := \frac{t - d_{отв}}{t} = 0.188 \quad (3.74)$$

$d_{отв} := 26$  мм диаметр отверстий в решетке;

$t_{пр} := 1.225 + 2 = 32$  мм шаг расположения отверстий в решетке

$s_1 := 6$  мм толщина кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем

$s_2 := 6$  мм толщина стенки распределительной камеры в месте соединения с трубной решеткой или фланцем

$D_H := 930$  мм диаметр фланца

$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 432.5$  мм радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха

$E_D := 2 \cdot 10^5$  МПа модуль упругости материала распределительной камеры [7, Таб. В.1]

Так как диаметр распределительной камеры и кожуха равны, то  $R_2 = R_1$

фланец для распределительной камеры выполнен из того же материала что и фланец для кожуха следовательно

$E_1 := 2 \cdot 10^5$  МПа  $E_1 := E_2$

$h_1 := h_2 = 65$  мм толщина тарелки фланца кожуха, толщина тарелки фланца распределительной камеры

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.027 \quad (3.75) \quad \beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_2}} = 0.027 \quad (3.76)$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_k \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} := 1.928 \cdot 10^5 \quad (3.77) \quad K_2 := \frac{\beta_2 \cdot a \cdot E_D \cdot s_2^3}{5.5 \cdot R_2} := 1.928 \cdot 10^5 \quad (3.78)$$

### Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой

$\sigma_{dT} := \sigma_{dp} = 194.4$  МПа допустимое напряжение для труб и трубной решетки

Так как трубы развальцовываются на всю толщину трубной решетки, то глубина развальцовки труб равна:

$$l_B := s_p$$

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой:

$$N_{dTp} := \begin{cases} \left[ 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 1 \\ \left[ 0.6 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 2 \\ \left[ 0.8 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_{dp}) \right] & \text{if } iii = 3 \end{cases}$$

$$N_{dTp} := 2.247 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

### Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

#### Приведенное давление

$\alpha_k := 12.6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$  коэффициент линейного расширения кожуха [7, таблица Г.1 ]

для материала 08X21H6M2T

$$\alpha_{T1} := 13.8 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_T := \begin{cases} \alpha_k & \text{if material} = 1 \\ \alpha_{T1} & \text{if material} = 2 \end{cases}$$

коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.289 \quad (3.79)$$



$$p_0 := [\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_r \cdot (t_r - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 + [\eta_r - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_r - [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M = -3.202 \text{ МПа} \quad (3.80)$$

### Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 0.071 \quad (3.81)$$

### Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб

Безразмерный параметр системы решетка - трубы вычисляют по формуле:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2.606$$

$$\Phi := \begin{cases} \begin{aligned} f1 &\leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \left( \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \right) + \text{bei}(0, \omega) \\ f2 &\leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) - \text{ber}(0, \omega) \\ x1 &\leftarrow \frac{0.7}{\omega} \cdot \left( \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \cdot \text{bei}(0, \omega) - \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \cdot \text{ber}(0, \omega) \right) \\ T_\Phi &\leftarrow -f2 \cdot \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) - f1 \cdot \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \\ &\left[ \begin{aligned} &\frac{\omega}{T_\Phi} \cdot (\text{ber}(0, \omega)^2 + \text{bei}(0, \omega)^2 + x1) \\ &\frac{\omega}{T_\Phi} \cdot \left( \text{ber}(0, \omega) \cdot \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) + \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \cdot \text{bei}(0, \omega) \right) \end{aligned} \right] \text{ if } \omega < 10 \\ &\left[ \begin{aligned} &\frac{\omega}{T_\Phi} \cdot \left[ \left( \frac{d}{d\omega} \text{ber}(0, \omega) \right)^2 + \left( \frac{d}{d\omega} \text{bei}(0, \omega) \right)^2 \right] \\ &\left( \frac{\sqrt{2 \cdot \omega}}{\omega} \right) \end{aligned} \right] \text{ if } \omega \geq 10 \end{aligned} \end{cases}$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} 3.775 \\ 2.337 \\ 3.984 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := 3.775$$

$$\Phi_2 := 2.337$$

$$\Phi_3 := 3.984$$

Значения  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  определяют по приложению Ж в зависимости от  $\omega$  и  $m_n$  или вычисляют по формулам [16]:

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 8.533 \quad (3.82)$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 397.688 \quad (3.83)$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 19.943 \quad (3.84)$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 12.212 \quad (3.85)$$

где: Относительную характеристику беструбного края трубной решетки вычисляют по формуле [16]

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 3.065 \quad (3.86)$$

### **Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки**

- для изгибающего момента

Коэффициент влияния давления на изгиб 1 и 2 го фланца

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 1.935 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 \quad (3.87)$$

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2} = 1.935 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 \quad (3.88)$$

Приведенное давление на фланцы

$$P_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = 9.735 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} \quad (3.89)$$

$$M_n := \left( \frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 97.728 \quad (3.90)$$

- для перерезывающей силы

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -1.138 \text{ Н/мм} \quad (3.91)$$

## Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки

-для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = -208.969 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм} \quad (3.92)$$

для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = -3.488 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм} \quad (3.93)$$

## Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу

-для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = 5.544 \text{ Н} \quad (3.94)$$

-для изгибающего момента:

$$J_T := \frac{\pi \cdot d_T^4}{64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_T - 2 \cdot s_T}{d_T} \right)^4 \right] = 9.628 \cdot 10^3 \text{ мм}^4 \quad (3.95)$$

$L_{1R} := 6000 \text{ мм}$  Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой

$$l_{\Pi R} := \begin{cases} 1 & \text{if } jj = 2 \\ \frac{l_{1R}}{3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l_{\Pi R} := 2 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\Pi R}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -2.179 \cdot 10^3 \quad (3.96)$$

Усилия в кожухе

-усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_{\Pi} = 5.138 \text{ Н/мм} \quad (3.97)$$

-изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{II} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{II}) - \frac{P_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -319.485 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм} \quad (3.98)$$

-суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_k = 1,291 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad (3.99)$$

### Расчетные напряжения в элементах конструкции

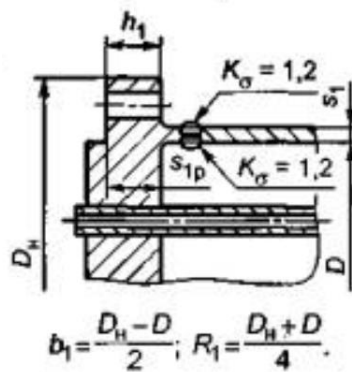


Рисунок 8. Расчетные схемы присоединения решетки к кожуху

$b_1 := 65$  мм ширина тарелки фланца кожуха

$R_1 := 432.5$  мм радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха

$s_{1p} := s_p = 25$  мм толщина решетки в зоне кольцевой канавки,

Т.к. теплообменник типа ТН подбираем ширину тарелки фланца камеры равную ширине тарелки фланца кожуха:

$b_2 := b_1 = 65$  мм

Принимаем:

$s_3 := s_k = 6$  мм эквивалентная толщина втулки фланца

$s_1 := s_3 = 6$  мм толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной

### Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом:

$c := 1$  мм расчетная прибавка к толщине трубной решетки

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 1.196 \quad (3.100)$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 0.836 \quad (3.101)$$

коэффициент А, В, определяем по [ 7, Приложение Г]

$$A := 1.491 \quad B := 0.909$$

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } -1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1 \\ B \cdot |M_a| & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.102)$$

$$M_{\max} := 189.953 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\max}|}{(s_{1p} - c)^2} = 1.979 \text{ МПа} \quad (3.103)$$

касательные:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_{\Pi}|}{s_{1p} - c} = 0.047 \text{ МПа} \quad (3.104)$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки:

изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{[\Phi_p \cdot (s_p - c)^2]} = 10.553 \text{ МПа} \quad (3.105)$$

касательные:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_{\Pi}|}{\Phi_p \cdot (s_p - c)} = 0.775 \text{ МПа} \quad (3.106)$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке:

$c_k := 1 \text{ мм}$  - расчетная прибавка к толщине стенки кожуха

- в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_K|}{(s_p - c_K)} = 1.028 \text{ МПа} \quad (3.107)$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_K|}{(s_1 - c_K)^2} = 76.676 \text{ МПа} \quad (3.108)$$

- в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{s_1 - c_K} = 36 \text{ МПа} \quad (3.109)$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 23.003 \text{ МПа} \quad (3.110)$$

Напряжения в трубах

- в осевом направлении:

мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi(d_T - s_T) \cdot s_T} = 0.038 \text{ МПа} \quad (3.111)$$

суммарные:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2J_T} = 0.321 \text{ МПа} \quad (3.112)$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \cdot \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 2.587 \text{ МПа} \quad (3.113)$$

## Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$U_{sl\_1} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{p1} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl\_1} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$U_{sl\_2} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{p2} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl\_2} = \text{"Условие выполняется"}$$

**Проверка трубной решётки на малоцикловую прочность проводят по [17]**

в месте соединения с кожухом:

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := \Delta\sigma_2$$

$$K_\sigma := 1.2$$

Допускаемая амплитуда напряжений

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} = 1.187 \text{ МПа} \quad (3.114)$$

в перфорированной части:

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := \Delta\sigma_2$$

Допускаемая амплитуда напряжений

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} = 1.187 \text{ МПа} \quad (3.114)$$

Допускаемая амплитуда напряжений

Характеристики материала  $A_M$ ,  $B_M$ ,  $C_t$  выбираем по [17, таблица 3]

$$A_M := 0.4 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$B_M := 0.4 \cdot R_{mt} = 171.6 \text{ МПа}$$

$$C_t := \frac{2300 - t_K}{2300} = 0.939$$

$R_{mt} := 429 \text{ МПа}$  временное сопротивление материала при расчетной температуре определяется по [7]

$n_N := 10$  коэффициент запаса прочности по числу циклов [17]

$n_\sigma := 2$  коэффициент запаса прочности по напряжениям [17]

$$K_\sigma := 1.2$$

Допускаемое число циклов: [17, стр.15]

$$N_d := \frac{1}{n_N} \cdot \left( \frac{A_M}{\sigma_a \frac{B_M}{n_\sigma}} \cdot C_t \right)^2 = 7.406 \cdot 10^4 \quad (3.115)$$

$N := 5 \cdot 10^3$  принимаем число циклов нагружения

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_M}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_M}{n_\sigma} = 253.797 \text{ МПа} \quad (3.116)$$

Условие малоциклового прочностного будет выполняться, если

$$Usl\_3 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_3 := \text{"Условие выполняется"}$$



## прочность трубных решёток в зоне паза под перегородку

допускаемая амплитуда упругих напряжений по [17]

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_M}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_M}{n_\sigma} = 253.7 \text{ МПа} \quad (3.116)$$

$$s_{pp} := (s_p - c) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{2 \cdot \sigma_{da}} = 0.499 \text{ мм} \quad (3.117)$$

$$Usl\_3 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{dp} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_3 = \text{"Условие выполняется"}$$

## Проверка жесткости трубных решеток [16]

Максимальный прогиб трубной решетки:

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 0.227 \text{ мм} \quad (3.118)$$

где:  $K_y := 16.747 \text{ Н/мм}^3$  модуль упругости основания (системы труб);

$a_1 := 329 \text{ мм}$  расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы;

$T_1 := 19.943$  коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и

$T_2 := 397.688$  поддерживающие влияние труб;

$Q_n := -1.138 \text{ Н/мм}$  перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки

$\beta := 0.02 \text{ 1/мм}$  коэффициент системы решетка — трубы

$M_n := 97.728 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}$  изгибающий момент, распределенный по периметру трубной решетки

$W_d$  Рекомендуемая допустимая величина прогиба трубной решетки, мм, в зависимости от диаметра аппарата

$$W_d := \begin{cases} W_d \leftarrow 0.7 & \text{if } D \leq 600 \\ W_d \leftarrow 0.9 & \text{if } 600 < D \leq 1000 \\ W_d \leftarrow 1.1 & \text{if } 1000 < D \leq 2000 \\ W_d \leftarrow 1.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W_d = 0.9 \text{ мм}$$

Проверка условия жесткости:

$$Usl\_4 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " } & \text{if } W \leq W_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_4 = \text{"Условие выполняется "}$$

### **Расчет прочности и устойчивости кожуха**

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

$\sigma_{Mx} := 1.028$  МПа мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении;

$\sigma_{dk} := 172.2$  МПа допускаемое напряжение для материала кожуха;

$$Usl\_5 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " } & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dk} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_5 = \text{"Условие выполняется "}$$

**Проверку кожуха на малоцикловую прочность в месте присоединения к решетке проводят по [17]**

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{Mx} + \sigma_{ux} = 77.704$$

$$\Delta\sigma_2 := \sigma_{M\phi} + \sigma_{u\phi} = 59.003$$

$$\Delta\sigma_3 := 0$$

$$K_\sigma := 1.2$$

Допускаемая амплитуду напряжений

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} = 42.148 \text{ МПа} \quad (3.114)$$

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_M}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_M}{n_\sigma} = 253.797 \text{ МПа} \quad (3.116)$$

Условие малоциклового прочностии будет выполняться, если

$$Usl\_6 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_6 = \text{"Условие выполняется "}$$

**Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке**

$\sigma_{1T} := 0.038$  МПа мембранные напряжения в трубах в осевом направлении;

$\sigma_{2T} := 2.587$  МПа мембранные напряжения в трубах в окружном направлении;

$\sigma_{dT} := 194.4$  МПа допускаемое напряжение для материала труб;

Условие статической прочностии труб:

$$Usl\_7 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_7 = \text{"Условие выполняется "}$$

**Проверка труб на малоцикловую прочностии[17]:**

$\sigma_1 := 0.321$  МПа суммарные напряжения в трубах в осевом направлении

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_1$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := 0$$

$$K_\sigma := 1$$

Допускаемая амплитуду напряжений вычисляют по формуле: [17]

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} = 0.193 \text{ МПа} \quad (3.114)$$

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_M}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_M}{n_\sigma} = 253.797 \text{ МПа} \quad (3.116)$$

Условие малоциклового прочностии будет выполняться, если

$$\text{Usl\_8} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl\_8} = \text{"Условие выполняется "}$$

### **Проверка прочностии крепления трубы в решетке**

$N_T := 5.544 \text{ Н}$  осевая сила действующие на трубу;

$N_{dтр} := 2.247 \cdot 10^4 \text{ Н}$  допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой;

Для труб, крепящихся в решетке с помощью развальцовки, должно выполняться условие:

$$\text{Usl\_9} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } |N_T| \leq N_{dтр} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl\_9} = \text{"Условие выполняется "}$$

### **Толщина трубной решетки в сечении канавки для многоходовых по трубному пространству аппаратов**

$Bп := 7 \text{ мм}$  ширина канавки под прокладку;

$c := 1$  расчетная прибавка к толщине решетки;

$d_0 := 26 \text{ мм}$  диаметр отверстия в решетке;

$s_p := 25 \text{ мм}$  толщина трубной решетки;

$S_n := 22 \text{ мм}$  толщина трубной решетки в сечении канавки;

$t_n := 64$  мм расстояние между осями рядов отверстий, расположенных с двух сторон от паза;

$t_{шр} := 32$  мм шаг расположения отверстий в решетки;

$\phi_p := 0.188$  коэффициент ослабления решетки кожухотрубчатого теплообменного аппарата с неподвижными трубными решетками;

$$Usl\_10 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } S_n \geq (s_p - c) \cdot \max \left[ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{B_{\Pi}} \cdot \left( \frac{t_n}{t_{шр}} - 1 \right)}, \sqrt{\phi_p} \right] + c \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl\_10 = \text{"Условие выполняется"}$

### **Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов**

$B_{пер} := 800$  мм ширина перегородки;

$L_{пер} := 400$  мм длина перегородки;

$\Delta p := 0.2 \cdot p_T = 4 \cdot 10^{-3}$  мм перепад давления между ходами;

$\sigma_{дп} := 194.4$  МПа Допускаемое напряжение для материала перегородки;

$c_{\Pi} := 3$  глубина канавки под прокладку;

$s_{пер} := 6$  мм толщина перегородки;

$$f_p := \frac{1}{1 + \frac{B_{пер}}{L_{пер}} + \left( \frac{B_{пер}}{L_{пер}} \right)^2} = 0.143 \quad (3.119)$$

$$Usl\_11 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } s_{пер} \geq 0.71 \cdot B_{пер} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{\Pi}}{\sigma_{дп}}} + c_{\Pi} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl\_11 = \text{"Условие выполняется"}$

### 2.3.7 Расчёт опор.

Расчёт опор проводим в соответствии с методикой [5,29.2]

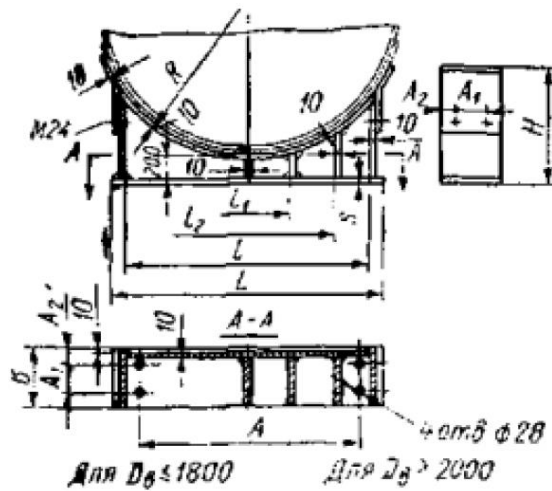


Рисунок 9. Расчетная схема опор для горизонтальных аппаратов.

Реакция опор:

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

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

$$\text{Приведенная длина аппарата } H := 0.2 \quad h := 0.065 \quad S_{\text{ЭК}} := 0.003$$

$$L_{\text{пр}} := L_{\text{об}} + L_{\text{в.к.}} + (H + h + S_{\text{ЭК}}) \cdot 2 = 6.786 \text{ м} \quad (3.120)$$

Расстояние между опорами:

$$l_1 := 0.205 \cdot L_{\text{пр}} = 1.405 \text{ м} \quad (3.121)$$

Расчётный изгибающий момент:

$$M_u := 0.0105 \cdot G_{\text{ап}} \cdot L_{\text{пр}} = 5.41 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (3.122)$$

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести определяется по формуле:

$$\sigma_u := \frac{M_u}{0.8 \cdot D^2 \cdot (s_{\text{об}} - c)} = 5.34 \text{ МН/м}^2 \quad (3.123)$$

Выбираем ширину опоры:

$$b := 0.2 \cdot D = 0.16 \text{ м}$$

Момент сопротивления сечения корпуса над опорой

$$W := \frac{[b + 7 \cdot (s_{\text{об}} - c)] \cdot (s_{\text{об}} - c)^2}{6} = 1.173 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (3.124)$$

Напряжение на изгиб в корпусе определяется по формуле:

$$\sigma_U := \frac{0.06 \cdot P_A \cdot D}{W} = 5.243 \cdot 10^3 \text{ МН/м}^2 \quad (3.125)$$

$$\sigma_{ид} := 171 \text{ МН/м}^2$$

Допускаемое напряжение на изгибе для стали 16ГС:

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

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

Требуемый момент сопротивления элемента стенки усиленного сечения:

$$W := \frac{0.06 \cdot P_B \cdot D_H}{\sigma_{ид}} = 3.652 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.126)$$

$$4 \cdot \sigma_{ид} = 684 \text{ МПа} < \sigma_U = 5.243 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$S_H := 1.6 \cdot s = 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_H := 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетная площадь поперечного сечения стенки кожуха:

$$F'_c := [b + 9 \cdot (s - c_k)] \cdot (s - c_k) = 2.97 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (3.127)$$

Расчетная площадь поперечного сечения накладки:

$$F'_H := (b + 5 \cdot S_H) \cdot S_H = 2.109 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (3.128)$$

Момент инерции площади  $F'_c$

$$J_c := \frac{F'_c \cdot (s - c_k)^2}{14} = 1.285 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \quad (3.129)$$

Момент инерции площади  $F'_H$

$$J_H := \frac{F'_H \cdot S_H^2}{14} = 1.734 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \quad (3.130)$$

Расстояние от центра тяжести площади до нижней поверхности накладки  $F'_c + F'_H$  определяется по:

$$y := \frac{F'_c [s_H + 0.5 \cdot (s - c_K)] + 0.5 \cdot F'_H \cdot s_H}{F'_c + F'_H} = 5.876 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (3.131)$$

Расчётный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса:

$$W_y := \frac{J_c + J_H + F'_c [s_H + 0.5 \cdot (s - c_K) - y]^2 + F'_H \cdot (y - 0.5 \cdot s_H)^2}{y} = 4.673 \cdot 10^{-6} \quad (3.132)$$

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

$\text{Prov}' = \text{"прочность обеспечена"}$

Для обеспечения прочности между корпусом и опорами установим подкладку толщиной 10 мм

Расчет массы теплообменника:

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

**масса обечайки:**

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

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

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

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

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

$$m_{об} := \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} = 711.02 \text{ кг} \quad (3.133)$$

**масса эллиптического днища и крышки:**

Согласно таблице 5:

$$M_{кр} := 24 \text{ кг}$$

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



**масса трубок:**

внутренний диаметр трубок

наружный диаметр трубок

$$d_{\text{вн}} = 0.021 \text{ м}$$

$$d_{\text{нар}} = 0.025 \text{ м}$$

$$m_{\text{тр}} := N \cdot \left[ \frac{\pi}{4} (d_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot L_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{ст}} \right] = 2.586 \cdot 10^3 \text{ кг} \quad (3.134)$$

**масса фланцев и штуцеров на корпусе:**

$$M_{\text{ш.и.ф}} := (m_{\text{п}220 \times 3.5} + m_{\text{ф}220}) + (m_{\text{п}250 \times 4} + m_{\text{ф}250}) + (m_{\text{п}70 \times 2} + m_{\text{ф}70}) + (m_{\text{п}20 \times 1} + m_{\text{ф}15}) + m_{\text{ф}800} \cdot 4 = 259.226 \quad (3.135)$$

**масса трубных решеток:**

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

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

$$V_{\text{реш}} := \left( \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S_{\text{тр}} \right) - N \left( \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{отв}}^2 \cdot S_{\text{тр}} \right) = 8.963 \cdot 10^{-3} \quad (3.136)$$

$$M_{\text{тр.р}} := 2 \cdot (V_{\text{реш}} \cdot \rho_{\text{ст}}) = 139.828 \text{ кг} \quad (3.137)$$

**масса входной камеры:**

$$L := L_{\text{об}} + L_{\text{в.к}} \quad (3.138)$$

$$V_{\text{в}} := \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \right) + V_{\text{ёмк}} = 3.282 \text{ м}^3 \quad (3.139)$$

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

$$m_{\text{в}} := V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} = 3.282 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad (3.140)$$

**масса воды при гидроиспытаниях:**

$$L := L_{\text{об}} + L_{\text{в.к}} \quad (3.138)$$

$$V_{\text{в}} := \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \right) + V_{\text{ёмк}} = 3.282 \text{ м}^3 \quad (3.139)$$

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

$$m_{\text{в}} := V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} = 3.282 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad (3.140)$$

**Общая масса аппарата:**

$$M_{\text{ап}} := (m_{\text{об}} + 2m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + M_{\text{ш.и.ф}} + M_{\text{тр.р}} + m_{\text{в.к}}) = 3.785 \cdot 10^3 \text{ кг} \quad (3.141)$$

$$M := M_{\text{ап}} \cdot 1.2 + m_{\text{в}} = 7.823 \cdot 10^3 \text{ кг} \quad (3.142)$$

$$G_{\text{ап}} := g \cdot M = 7.675 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad (3.143)$$

$$G_{\text{ап}} := G_{\text{ап}} \cdot 10^{-6} = 0.077 \text{ МН} \quad (3.144)$$

Количество опор :  $k := 2$

Нагрузка на одну сторону:

$$G_{\text{наг}} := \frac{G_{\text{ап}}}{k} = 0.38 \text{ МН} \quad (3.145)$$

Исходя, из полученных нагрузок выбираем соответствующий тип опор.  
Выбор опор производится согласно с данными, указанные в [14, табл. 29.12].

В таблице 3 указаны основные сведения о выбранной опоре.

Тип	$G \cdot 10^3, \text{ МН (тс)}$	$D_s$	$L$	$l$	$l_1$	$l_2$	мм					$R$	$s$	Масса, кг
							$B$	$H$	$A$	$A_1$	$A_2$			
	17	800	750	705				440	500			422		67,9

## 2.4 Расчет тепловой изоляции.

Температура стенки аппарата будет равна температуре среды в межтрубном пространстве:

$t_c := 140 \text{ }^\circ\text{C}$  температура стенки;

$t_{из} := 120 \text{ }^\circ\text{C}$  температура изоляции;

$t_0 := 20 \text{ }^\circ\text{C}$  температура окружающей среды;

рассчитаем разницу между температурой поверхности изоляционного слоя и температурой окружающей среды:

$$\Delta t := t_{из} - t_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.1)$$

$$\alpha := 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t = 16.74 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (4.2)$$

Используем совелит в качестве теплоизоляционного покрытия

$$\lambda_{из} := 0.097$$

Из равенства удельного теплового потока определим толщину теплоизоляционного слоя.

$$\delta_{из} := \frac{\lambda_{из}}{\alpha} \cdot \frac{(t_c - t_{из})}{(t_{из} - t_0)} := 1.174 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.3)$$

Исходя из этого, принимаем толщину изоляции 12 мм.

## 2.5 Гидравлический расчёт.

Гидравлический расчет производится по указанной методике в [4,стр.39]

### Гидравлическое сопротивление аппарата:

$Re_1 := 20000$  критерии Рейнольдса;

$d_{вн} := 0.021$  м внутренний диаметр трубки;

$N_{ход} := \frac{N}{6} = 64$  количество трубок на один ход

$\rho_1 := 1943$  кг/м<sup>3</sup> плотность азота

$\mu_{см} := 0.00019$

Скорость движения азота в трубах:

$$\omega_1 := \frac{Re_1 \cdot \mu_{см}}{d_{вн} \cdot \rho_1} = 21.6 \text{ м/с} \quad (5.1)$$

Коэффициент сопротивления трения, при турбулентным режиме

$$\lambda := \frac{0.287}{Re_1^{0.25}} = 0.027 \quad (5.2)$$

Скоростное давление в трубах:

$$\Delta p_d := \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 582.234 \text{ Па} \quad (5.3)$$

Потеря давления на преодоление сопротивления трения.

$l := 6$  м длина трубы;

$n := 6$  число ходов;

Определим коэффициент местных сопротивлений:

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

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

Гидравлическое сопротивление аппарата:

$$\Delta p_a := \lambda \cdot \left( \frac{n \cdot l}{d_{BH}} + \sum \xi \right) \cdot \Delta p_{c.d} = 2.097 \cdot 10^4 \text{ Па} \quad (5.4)$$

### **Подбор насосов:**

Рассчитаем насос для подачи азота:

Плотность среды:  $\rho_1 := 1.953 \text{ кг/м}^3$

$$\text{Объёмный расход } V := \frac{G}{\rho_1} = 1.191 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.5)$$

к.п.д. зададимся:  $\eta := 0.65$

$$N_{\text{нас}} := \frac{V \cdot \Delta p_a}{1000 \cdot \eta} = 38.262 \text{ кВт} \quad (5.6)$$

Выберем насос [14, стр. 38]

Выбираем насос X90/85 по мощности ( $2.5 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и высоте столба жидкости (56 м),  $n=48.3 \text{ с}^{-3}$ ,  $\eta_H=0.65$ , электродвигатель типа АО2-81-2,  $N=40 \text{ кВт}$ .

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической отрасли промышленности. Почти все основные процессы химической технологии связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты. И совершенствование процесса теплообмена теоретически и практически может уменьшить энерго- и трудозатратность при производстве. Задачей является замена импортного теплообменника на рассчитанный кожухотрубный теплообменник

#### 3.1 Расчёт производственной мощности

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле: [24]:

$$M = P_{\text{час.}} * T_{\text{эф.}} * K_{\text{об.}},$$

где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность, т/ч;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{об}}$  – количество однотипного оборудования.

Определим эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}},$$

где  $T_{\text{ном.}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период,

Производство имеет непрерывный характер, поэтому

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}};$$

где  $T_{\text{во}}$  – время внеплановых остановок.

$$T_{\text{ппр}} = 18 \text{ дн.} (432 \text{ ч.}),$$

$$T_{\text{во}} = 7,5 \text{ дн.} (180 \text{ ч.}),$$

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}} = 357,5 \text{ дн.} (8580 \text{ ч.});$$

Таким образом,  $T_{\text{эф}} = 8760 - 432 - 180 = 8148 \text{ ч.}$

Полученные данные представлены в табл.4.

$$P_{\text{час}}=8.33 \text{ т/час};$$

$$T_{\text{эф}}=8148 \text{ ч};$$

$$M =8148 \cdot 8.33 \cdot 1=67872.84 \text{ т/год.}$$

Таблица 4.1 Баланс рабочего времени проектируемого теплообменника

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени, $T_{\text{кал}}$	360 (8760)
Режимные потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздники</li> <li>• внеплановые остановки производства, <math>T_{\text{во}}</math></li> </ul>	0 (0) 0 (0) 7,5 (180)
Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{ном.}}$	357,5 (8580)
Простой оборудования в ремонтах, $T_{\text{ппр}}$	14(336)
Эффективное время работы оборудования за год, $T_{\text{эф}}$	339,5 (8244)

Таблица 4.2 Баланс рабочего времени импортного теплообменника

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени, $T_{\text{кал}}$	360 (8760)
Режимные потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздники</li> <li>• внеплановые остановки производства, <math>T_{\text{во}}</math></li> </ul>	0 (0) 0 (0) 7,5 (180)
Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{ном.}}$	357,5 (8580)
Простой оборудования в ремонтах, $T_{\text{ппр}}$	45(1080)
Эффективное время работы оборудования за год, $T_{\text{эф}}$	312,5 (7500)

$$M =7500 \cdot 8.33 \cdot 1=62475 \text{ т/год.}$$

Коэффициент экстенсивного использования оборудования характеризует эффективность его использования во времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}}=T_{\text{эф}} / T_{\text{ном}}$$

где  $K_{\text{экс}}$  - коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эф}}$  - эффективное время работы оборудования, оборудования, ч.;

$T_{ном}$  - календарный фонд времени работы оборудования, ч.

Проектируемый

Импортный

$$K_{экс} = 8148/8580 = 0.94 \quad K_{экс} = 7500/8580 = 0.87$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудования по производительности.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{инт} = Q_{ПП} / Q_{max}$$

где  $Q_{ПП}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{max}$  – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{инт} = 8.33/8.33 = 1$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

- для проектируемого:

$$K_{им.} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0.94 \cdot 1 = 0.94$$

- для импортного:

$K_{им.} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0.87 \cdot 1 = 0.87$  Для определения реального выпуска продукции рассчитывается

производственная программа ( $N_{год}$ ):

$$N_{год} = K_{им} \cdot M$$

- для проектируемого:

$$N_{год} = 67872.84 \cdot 0.94 = 63800.47 \text{ (т/год)}$$

- для импортного:

$$N_{год} = 62475 \cdot 0.87 = 54353.25 \text{ (т/год)}$$

### **3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству**

Нефтехимическое предприятие работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно данным с производства график сменности является четырехбригадным. Основные рабочие на производстве работают в две смены, первая смена работает с 8.00ч. до 20.00 ч., а вторая смена работает с 20.00ч. до 8.00 ч.



## Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл. 5):

Таблица 5. Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки	Число единиц оборудования	Явочная численность	Эффективное время рабочего	Коэффициент перехода	Списочная численность
	$N_{обс}$	$S$	$n$	$N_{яв}$	$T_{эфф}$	$K_{пер}$	$N_{сп}$
Основные рабочие	7	2	7	4	1494	4	16
Вспомогательные рабочие	7	2	7	2	1494	4	8
МОП	2	1	2	1	1494	4	4
Итого							28

Таблица 6. Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	1
Мастер	ИТР	11	2	1	2
Технолог	ИТР	13	2	1	2
Начальник отдела	ИТР	11	1	1	1
Итого	ИТР				6

## Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

Таблица 7.

№, п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2.	Нерабочие дни		
	Выходные	182.5	2190
	Праздничные	-	-
3.	Номинальный фонд рабочего времени	182.5	2190
4.	Планируемые невыходы		
	Очередные и дополнительные отпуска (смены)	30	720
	Невыходы по болезни (смены)	7	168
	Отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	21	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	124.5	1494

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (Таблица 8)

### График сменности

Таблица 8

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	А		12	12		4	12	8			12	12		4	12
2	Б	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
3	В	4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	Г	8			12	12		4	12	8			12	12	

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8			12	12		4	12	8			12	12		4	12
	12	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
12		4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	12	8			12	12		4	12	8			12	12	

Часы работы: 8<sup>00</sup> - 20<sup>00</sup>

20<sup>00</sup> - 8<sup>00</sup>

Таблица 9. Штатное расписание

Наименование	Категория	Кол.шт.ед.	Т/ставка (руб/час)
Инженерно-технические работники	ИТР	6	180
Основные рабочие	ОР	16	160
Вспомогательные рабочие	ВР	8	140
Младший обслуживающий персонал	МОП	4	120
Итого		34	

Для примера приведен расчет месячной заработной платы основных рабочих (16 человек).

Зарплата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{р.к.}} + D_{\text{усл.тр.}}$$

где  $Z_{\text{тар}}$  - тарифная заработная плата, руб.;

$D_{\text{ноч}}$  - доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{\text{празд}}$  - доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{\text{прем}}$  - премиальная заработная плата, руб.;

$D_{\text{р.к.}}$  - районный коэффициент, руб.;

$D_{\text{усл.тр.}}$  - компенсационная доплата за условия труда, руб.

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{фак}} \cdot N,$$

где  $T_{\text{ст}}$  - тарифная ставка данной категории рабочих, руб./ч.;

$T_{\text{фак}} = 184$  ч.;

$N$  - количество рабочих данной категории, человек;

$$Z_{\text{тар}} = 160 \cdot 184 \cdot 16 = 471040 \text{ (руб.)}$$

Доплата за работу в ночное время [20]:

$$D_{\text{ноч}} = 0.4 \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ноч}} \cdot N,$$

где  $T_{\text{ст}}$  - почасовая тарифная ставка, руб.;

$$D_{\text{ноч}} = 0.4 \cdot 471040 = 188416 \text{ (руб.)}$$

Доплата в праздничные дни:

$$D_{\text{празд}} = T_{\text{празд}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot 2 \cdot N;$$

где  $T_{\text{празд}}$  - количество часов, отработанное в праздники, ч;

(1 и 9 мая -  $T_{\text{празд}} = 24$  часа)

$$D_{\text{празд}} = 24 \cdot 160 \cdot 2 \cdot 16 = 122880 \text{ (руб.)}$$

Премиальная заработная плата:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} \cdot \text{Прем} / 100 \%$$

где  $Z_{\text{тар}}$  - тарифная заработная плата, руб.;

Прем - Премииальные, % за май 2018 года. Прем = 50%,

$$D_{\text{прем}} = 471040 \cdot 50 / 100 = 235520 \text{ (руб.)}$$

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$$D_{\text{усл.тр}} = Z_{\text{тар}} \cdot 10 / 100,$$

$$D_{\text{усл.тр}} = 471040 \cdot 10 / 100 = 47104 \text{ (руб.)}$$

$$Z_{\text{осн}} = 471040 + 188416 + 122880 + 235520 + 47104 = 1064960 \text{ (руб.)}$$

Итак, основная заработная плата 16 основных рабочих с учетом районного коэффициента за май месяц составит:

$$Z_{\text{осн1}} = 1064960 \cdot 1,3 = 1384448 \text{ (руб.)}$$

$$ЗП = Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп}},$$

где  $Z_{\text{осн1}}$  - основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  - дополнительная заработная плата, руб.;

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн1}} \cdot K / T_{\text{кал}},$$

где  $K$  - число законных невыходов, дней;

$T_{\text{кал}}$  - календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$Z_{\text{доп}} = 1384448 \cdot 58 / 365 = 223049.96 \text{ (руб.)}$$

ЗП 16 основных рабочих за месяц составит:

$$ЗП = 223049.96 + 1384448 = 1607497.96 \text{ (руб.)}$$

Аналогично производится расчет месячного фонда заработной платы всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд заработной платы представлен в табл. 11.

Таблица 10. Месячный и годовой фонд заработной платы

№	Наименование	Численность, чел	МФЗП, тыс. руб	ГФЗП, тыс. руб
1.	Инженерно-технические работники (ИТР)	6	678.17	8137.96
2.	Основные рабочие (ОР)	16	1607.5	19290
3.	Вспомогательные рабочие (ВСР)	8	703.28	8439.35
4.	Младший обслуживающий персонал (МОП)	4	301.4	3616.8
5.	Итого	34		39484.11

## Расчет затрат на производство продукции

### Расчет годовой потребности в сырье и материалах:

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

Таблица 11.1 Расчёт годовой потребности в сырье и материалах Q=63800.47т

#### Проектируемый теплообменник

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, руб	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1	2	3	4	5	6	7
Азот	кг	35435	1	63800.47	35.435	2260769.65
Пар	кг	1560	0.255	16269.2	0.398	25392.59
<b>Итого</b>					35.833	2286162.24

Таблица 11.2 Расчёт годовой потребности в сырье и материалах Q=54353.25т

#### Действующий теплообменник

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, руб	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1	2	3	4	5	6	7
Азот	кг	35435	1	54353.25	35.435	1926007.41
Пар	кг	1560	0.73	39677.8	1.138	61853.99
<b>Итого</b>					36.67	1987861.4

## Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 12. Расчёт потребности в энергоресурсах

Проектируемый:

Таблица 12.1

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт·ч
Вентилятор центробежный	40	8148	325920
Освещенность	14,8	8148	120590.4
<b>Итого</b>			<b>446510.4</b>

Действующий:

Таблица 12.2

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт·ч
Вентилятор центробежный	40	7500	300000
Освещенность	14,8	7500	111000
<b>Итого</b>			<b>411000</b>

Таблица 13. Расчёт амортизационных отчислений

Проектируемый теплообменник

Таблица 13.1

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации,	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1	2	3	4
<b>1. Здания</b>			
1.1 Здание 1	2857.14	0.145	414.29
1.3 Здание 2	107142.86	0.145	15535.71
<b>2. Рабочие машины и оборудование</b>			
2.1 Теплообменник проектируемый	120	0,077	9.24
2.6 Насос	68.2	0,083	5.66
<b>Итого:</b>	<b>110188.2</b>		<b>15964.9</b>

## Действующий теплообменник

Таблица 13.2

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации,	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1	2	3	4
1. Здания			
1.1 Здание 1	2857.14	0.145	414.29
1.2 Здание 2	107142.86	0.145	15535.71
2. Рабочие машины и оборудование			
2.1 Теплообменник действующий	220	0.077	16.94
2.2 Насос	68.2	0.083	5.66
<b>Итого:</b>	<b>110288.2</b>		<b>15972.6</b>

### Расчёт калькуляции производства

Таблица 14. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q=63800.47т/год)

#### Проектируемый теплообменник

Статьи затрат	Ед. изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1	2	3	4
1. Сырье	тыс. руб.	35.833	2286162.24
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс. руб	0.033	2143.3
4. Заработная плата производственных рабочих	тыс. руб	0.3	19290
4.1. Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс. руб	0.09	5787
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб	36.26	2313382.84
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования;	тыс. руб	0.245	15964.9
• Ремонт оборудования;	тыс. руб	0.075	4789.47

<ul style="list-style-type: none"> <li>Заработная плата ремонтного персонала;</li> </ul>	тыс. руб	0.132	8439.35
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%).</li> </ul>	тыс. руб	0.039	2531.805
5.2. Заработная плата ИТР	тыс. руб	0.127	8137.96
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)</li> </ul>	тыс. руб	0.038	2441.388
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб	0.057	3616.8
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)</li> </ul>	тыс. руб	0.017	1085.04
5.4. Охрана труда	тыс. руб	$3.2 \cdot 10^{-5}$	2.0506
<ul style="list-style-type: none"> <li>Пожарный инвентарь(огнетушители)</li> </ul>	тыс. руб	$1.2 \cdot 10^{-6}$	0.07971
<ul style="list-style-type: none"> <li>Аптечка</li> </ul>	тыс. руб		
<b>Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)</b>	тыс. руб	36.996	2360391.68
<b>Условно-переменные издержки</b>	тыс. руб	36.26	2313382.84
<b>Условно-постоянные издержки</b>	тыс. руб	0.736	47008.84

### Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С \cdot (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

$$Ц = 36.996 \cdot (1 + 5/100) = 38.85 \text{ тыс. руб/т.}$$

Определение выручки

Выручку считаем по формуле

$$ВР = Ц_{ryn} \cdot N_{год} \quad (3.11)$$

где,  $N_{год}$  – объём производства,

$$ВР = 38.85 \cdot 63800.47 = 2478648.26 \text{ тыс.руб без НДС.}$$



## Расчёт калькуляции производства

Таблица 15. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q=54353.25т/год)

### Действующий теплообменник

Статьи затрат	Ед. изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1	2	3	4
1. Сырье	тыс. руб.	36.67	1987861.4
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс. руб	0.036	1972.8
4. Заработная плата производственных рабочих	тыс. руб	0.35	19290
4.1. Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс. руб	0.106	5787
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб	37.17	2014911.2
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования;	тыс. руб	0.29	15972.64791.78
• Ремонт оборудования;	тыс. руб	0.088	8439.35
• Заработная плата ремонтного персонала;	тыс. руб	0.155	2531.805
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%).	тыс. руб	0.047	
5.2. Заработная плата ИТР	тыс. руб	0.15	8137.96
• Отчисление на соц. Нужды ИТР (30%)	тыс. руб	0.045	2441.388
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб	0.067	3616.8
• Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)	тыс. руб	0.02	1085.04
5.4. Охрана труда			
• Пожарный инвентарь(огнетушители)	тыс. руб	$3.77 \cdot 10^{-5}$	2.0506
• Аптечка	тыс. руб	$1.47 \cdot 10^{-6}$	0.07971
<b>Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)</b>	тыс. руб	38.032	2061930.05
<b>Условно-переменные издержки</b>	тыс. руб	37.17	2014911.2
<b>Условно-постоянные издержки</b>	тыс. руб	0.86	47018.85

$$Ц = C * (1 + P/100) = 39.94 \text{ т/р}$$

$$\text{Цена годовой продукции} \quad \text{BP} = \text{Ц}_{\text{рын}} \cdot \text{N}_{\text{год}} = 2170520.94$$

### 3.3 Анализ безубыточности

#### Проектируемый теплообменник

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{\text{Ц} - \text{Изд}_{\text{пер}}}, \text{ ТЫС. ТОНН,}$$

где Ц – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

Изд<sub>пер</sub> – удельные переменные издержки.

$$Q_{\text{кр}} = 47008.84 / (38.85 - 36.26) = 18150.13 \text{ т}$$

#### Действующий теплообменник

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{\text{Ц} - \text{Изд}_{\text{пер}}}, \text{ ТЫС. ТОНН,}$$

$$Q_{\text{кр}} = 47018.85 / (39.94 - 37.17) = 16974.31 \text{ т}$$

2. Графическим способом:

**Точки безубыточности** - минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

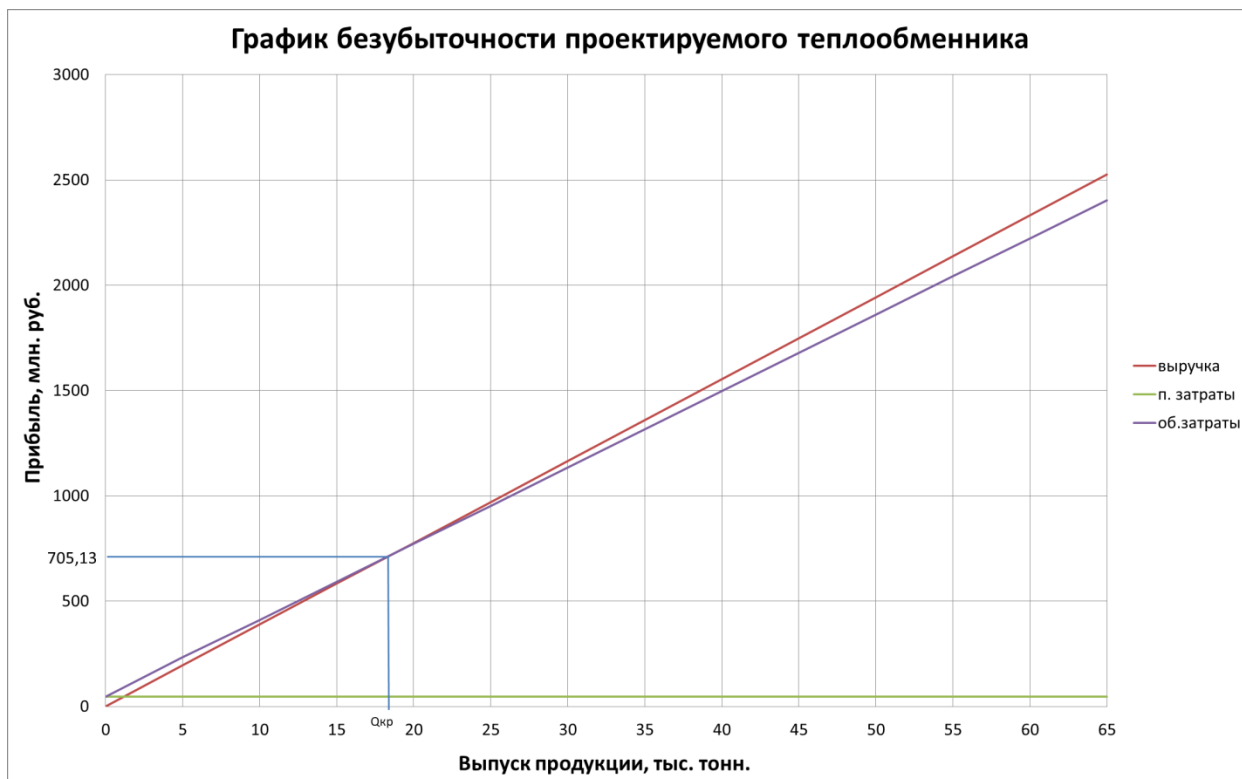


Рис. 1.1 График безубыточности при  $N= 63800.47$ т/год.

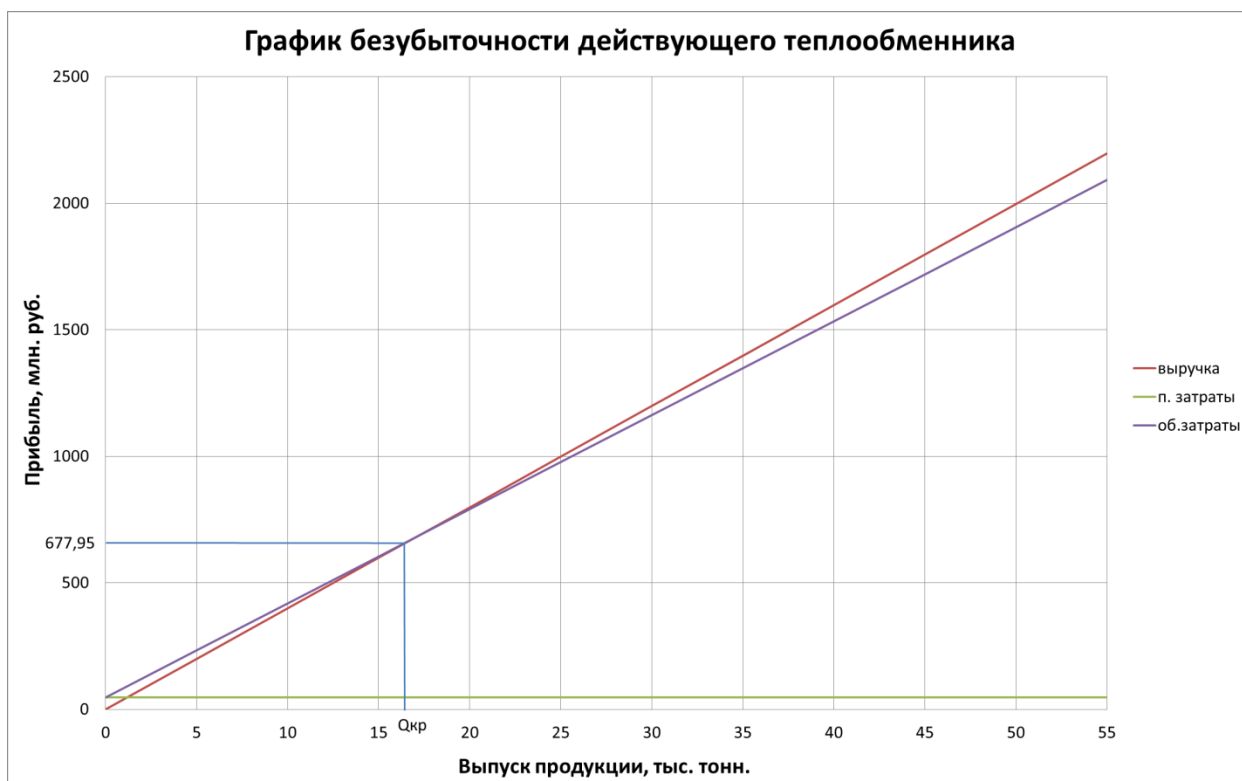


Рис. 1.2 График безубыточности при  $N= 54353.25$ т/год

### 3.4 Потребность в инвестициях для инновационной деятельности

Проектируемый теплообменник

$$PP = \frac{I_0}{\text{ЧДП}}$$

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции;

ЧДП – чистый денежный поток от операционной деятельности.

$$\text{ЧДП} = \text{Пчист.} + \Delta \Gamma$$

$$\text{ЧДП} = 94605.2 + 15964.9 = 110570.164 \text{ тыс.руб.}$$

$$PP = \frac{120}{110570.164} = 1.08 \text{ года}$$

### 3.5 Определение технико-экономических показателей

Таблица 16. Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Проектируем.	Действующий
1. Объем производства	т	63800.47	54353.25
2. Объем продаж	т	63800.47	54353.25
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	38.85	39.94
4. Выручка от продажи (2·3)	тыс. руб.	2478648.26	2170858.8
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	2360391.68	2061930.05
5.1. Издержки условно-переменные	тыс. руб.	2313382.84	2014911.2
5.2. Издержки условно-постоянные	тыс. руб.	47008.84	47018.85
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	118256.58	108928.7
7. Налог на прибыль (6·20%)	тыс. руб.	23651.316	21785.75
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	94605.264	87143
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	36.996	38.032
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	110188.2	110288.2
11. Численность основных рабочих	чел.	16	16
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	6886.76	6893
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	22.49	19.68
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0.044	0.05
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	154915.5	135678.7
16. Рентабельность производства (8·100%/5)	%	4.22	4.009
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	4.01	3.8
18. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. т	18150.13	16974.31
19. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. руб.	705132.5	677953,9
20. Срок окупаемости	годы	1,08	

## 4. Социальная ответственность

### 4.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-15 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[20]. Выявленные факторы перечислены в таблице 17.

Таблица 17. Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-15)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1.Монтаж опор; 2.Монтаж аппарата; 3.Монтаж арматуры; 4. Наладка аппарата; 5. Эксплуатация	1. Повышенный уровень вибрации; 2. Повышенная температура воздуха рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума;	1.Электрический ток. 2. Подвижные части производственного оборудования. 3. Повышенная температура поверхности оборудования.	1. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. 2. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. 3. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 4. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 5. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности 6. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 7. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах 8. ГОСТ 12.1.007-76 устанавливает требования безопасности вредных веществ

## **4.2 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника**

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией. [21]

### **Вибрация.**

Появление данного вредного фактора вызвано тем, что через кожухотрубчатый теплообменник проходят потоки воды со скоростью от 0,6 до 1 м/с. При этом поток многократно меняет своё направление, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Вследствие этого возникает вибрация. Под воздействием вибрации может возникать усталость, а как следствие низкий уровень производительности труда оператора.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе [22].

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза) [23].

При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [23].

Режим труда должен устанавливать требования:

- по рациональной организации труда в течение смены;
- по сокращению длительности непрерывного воздействия вибрации на оператора и введению регулярно повторяющихся перерывов (защита временем). [23]

Рациональная организация труда в течение смены должна предусматривать:

длительность рабочей смены не более 8 ч (480 мин);

установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки:

длительностью 20 мин через 1 - 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва;

обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены.

Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. [23]

Основным способом обеспечения вибробезопасности должно быть создание и применение вибробезопасных машин.

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения, которые приведены в ГОСТ 26568-85.

При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения, по ГОСТ 26568-85 . [22]



## **Повышенная температура воздуха рабочей зоны.**

Относительно высокое значение температуры воздуха рабочей зоны обуславливается тем, что в кожухотрубчатом теплообменнике производится теплообменный процесс. Корпус аппарата нагревается до 60 градусов Цельсия и нагревает воздух. На аппарате установлена теплоизоляция для уменьшения теплопотерь и защиты от ожогов.

Зачастую именно повышенная температура воздуха может стать причиной сокращения рабочего времени. Поэтому и существуют определённые требования, нормы и санитарные правила к микроклимату производственных помещений.

Температура в рабочих помещениях соответствующих категорий работ не может быть выше или ниже установленных нормативов. СанПиН 2.2.4.3359-16 устанавливает определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [23] в таблице 18.

Таблица 18. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0.1
Теплый	22-24	40-60	0.1

## **Повышенный уровень шума.**

Шум непосредственно связан с вибрацией. В теплообменнике проходят потоки воды, при этом поток многократно меняет своё направление, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Кроме того основной шум создают насосы, которые и перекачивают потоки горячей и холодной воды.

Шум и вибрация в большей или меньшей степени могут временно активизировать или постоянно подавлять определенные психические процессы организма человека. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [23]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [23].

Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- устранение причин шума и вибрации или существенное их ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума и вибрации от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- архитектурно - планировочные решения, предусматривающие рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов, акустическая обработка помещений; применение средств индивидуальной защиты;
- профилактические мероприятия медицинского характера.

Борьба с аэродинамическим шумом, возникающим при работе вентиляционных установок, кондиционеров, компрессоров и т.д. требует больших усилий и часто является недостаточной. Основное снижение шума чаще всего достигается звукоизоляцией источника или применением глушителей - активных и реактивных[25].

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

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

#### **4.3 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника**

##### **Электрический ток.**

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором. Для минимизации опасности удара электрическим током разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам, установленный [26]. Данный ГОСТ устанавливает требования для изоляции, защитного заземления, органов управления, блокировки, оболочки, зажимов и выводных устройств, экранов и прочих средств защиты от опасного и вредного влияния электромагнитных полей, теплового, оптического и рентгеновского излучения, предупредительных знаков, надписей, сигнализаций. Также, для минимизации риска, следует соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

Согласно требованиям [21]:

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

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

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве,

представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва. [21]

Особенно опасно прикосновение человека к токоведущим частям находящимся под напряжением.

Вследствие теплового воздействия электрического тока при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям и при воздействии электрической дуги возникают внешние местные поражения (ожоги).

Ожоги могут быть поверхностные или глубокие, сопровождающиеся поражением не только кожных покровов, но и подкожной ткани, жира, глуболежащих мышц и кости.

Различают три степени электрических ожогов :

1 Покраснение кожи.

Опасные факторы действия электрического тока

2 Образование пузырей.

3. Обугливание и омертвление кожи.

Раны от ожогов заживают очень долго, а поражение 2/3 поверхности тела может привести к смертельному исходу. Возникают также механические повреждения — разрыв тканей и некоторых внутренних органов, это может быть следствием динамических перенапряжений при прохождении через тело человека электрического тока (практически — тока короткого замыкания) при случайном прикосновении одновременно к двум токоведущим шинам, напряжением выше 1000 В.

Механическое повреждение может быть вызвано падением человека с высоты вследствие испуга при незначительном воздействии силы тока, практически безопасного, если не были выполнены меры безопасности при работе на высоте.

Наибольшую, опасность при всех видах поражения представляет электроудар, когда при прохождении тока через тело человека поражается весь организм в целом, возникают судороги, расстройство дыхания, аритмия работы сердца. Степень опасности силы тока зависит от силы тока, проходящего через организм. Если сила тока, проходящего через организм 1,5 мА (при постоянном напряжении), то в месте контакта с токоведущими

частями ощущается зуд и нагрев. Такую силу тока называют порогом ощущения.[27]

Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук. При такой силе тока человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такую силу тока называют условно безопасной.

Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, руки парализуются, наступает паралич дыхания, самостоятельно оторваться от токоведущих частей невозможно. Сила тока при снижении сопротивления человеческого тела постоянно возрастает и при достижении 100 мА, как при переменном, так и при постоянном напряжении наступает клиническая смерть (отсутствие внешних признаков жизни).[27]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Для предотвращения этих и других несчастных случаев необходимо разработать электробезопасность конструкций. [27]

Согласно ПЭУ данная лаборатория относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и или особую опасность.

Основные способы и средства электрозащиты:

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

## **Повышенная температура поверхности оборудования.**

На теплообменник необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит. [29]

Теплообменник, температура наружных поверхностей которого в процессе эксплуатации может превышать 45 °С, должен быть теплоизолирован. Рекомендуется дополнительная установка ограждающих конструкций теплообменника. Теплоизоляция и ограждающие конструкции теплообменника разрабатываются и изготавливаются по документации эксплуатирующей организации (Заказчика) и в комплект поставки не входят. [29]

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.). [30]

Работы, при которых возможно бурное протекание химического процесса, разбрызгивание горячих или вредных веществ, а также работы под вакуумом должны выполняться в вытяжных шкафах на противнях или поддонах. При работе следует пользоваться специальными защитными очками, спецодеждой, фартуками и перчатками из материалов, стойких к воздействию вышеназванных веществ. [30]

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. [20]

Все горячие участки поверхностей оборудования и трубопроводов, находящиеся в зоне возможного попадания на них легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ. Должны быть покрыты металлической обшивкой для предохранения тепловой изоляции от пропитывания этими веществами.

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место. [30]

#### **4.4 Экологическая безопасность**

Работа с данным теплообменником не оказывает негативного влияния на атмосферы. Так как в процессе эксплуатации аппарата не используются и не выделяются газообразные продукты (выбросы). В процессе эксплуатации аппарата не происходит воздействия на гидросферу, так как в процессе теплообмена в качестве теплоносителей используется деминерализованная и обратная вода, которая является абсолютно безопасной для окружающей среды. В цехе подготовки воды производится подготовка и очистка воды. В процессе эксплуатации в воду не добавляются никакие химические соединения. В результате эксплуатации аппарат не появляются отходы, а значит нет воздействия объекта на литосферу. В результате чего можно сделать вывод о том, что негативного воздействия на качество окружающей среды не оказывается.

## 4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

### 4.5.1 Пожарная и взрывная опасность

При эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро- и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Согласно [31] не электротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током, присваивается группа I по электробезопасности.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты[32]. В цехе размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Согласно Статье 11 [33] установлен и выполняется запрет на курение в помещении. Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

Горючие компоненты в помещении - строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) - накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее



помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться

#### **4.5.2 Чрезвычайные ситуации на производственном объекте**

Перечень основных возможных аварийных ситуаций и причин их вызывающих. [36]

Возможные аварийные ситуации:

1. Отключение электроэнергии.
2. Прекращение подачи воздуха КИПиА

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

3. Прекращение подачи оборотной воды.

Причина: остановка блока оборотного водоснабжения, разрыв трубопровода.

4. Прекращение подачи технологического воздуха.

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

5. Прекращение подачи пара.

Причина: остановка котельного цеха разрыв трубопровода.

6. Отсутствие азота.

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

6. Разлив едкого натра.

Причина: разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры.

7. Нарушение герметичности трубопровода диатермического масла.

Причина: нарушение при переключениях аппаратов Д213-Д216, разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры.

8. Нарушение герметичности трубопровода топливного газа.  
Причина: разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры, приборов КИПиА. 78

9. Пожар.

Причина: образование взрывопожароопасной смеси при разгерметизации трубопроводов, нефраса, пропилена, топливного газа, диатермического масла, АПП. Нарушения при подготовке и проведении огневых и газоопасных работ.

10. Загазованность в помещении отделения.

Причина: разгерметизация трубопроводов нефраса, пропилена, топливного газа, диатермического масла, АПП, едкого натра. Попадание облака вредных веществ в помещение отделения в результате аварийных ситуаций в других отделениях и производствах.  
[36]

Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций.

Действия персонала определяются «ПЛАС» УПП [36].

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;

- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;

- применяемые, обращающиеся и получаемые вещества не обладают способностью быстро и спонтанно полимеризоваться, реагировать с водой, саморазогреваться и самовоспламеняться, не склонны к произвольному термическому разложению при высоких температурах и давлениях;

- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обрабатываемых веществ;

- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов;

- предусмотрены система аварийного освобождения аппаратов от продуктов в аварийную емкость и аварийный сброс на факел;

- на наружной установке, где расположено оборудование, в котором обращаются взрывопожароопасные вещества, предусмотрены датчики загазованности, сигналы от которых поступают в операторную.

Способы и средства пожаротушения. В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно на установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);

- стационарная система пенотушения открытой насосной;

- водяная оросительная система колонных аппаратов;

- лафетные стволы;

- пожарные краны в помещении компрессорной.

### 4.5.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты.

В условиях ЧС необходимо знать правила поведения во избежание паники и несчастных случаев.

Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара.

Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

Стихийные бедствия - ураганы, наводнения, землетрясения предотвратить нельзя, поэтому, отключив электричество в здании, его необходимо покинуть или спуститься в подвальное помещение (бомбоубежище).

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения .

## 4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить **федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”**. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [35]

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

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

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

Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др. 8

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в

результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ.

**В** Федеральном законе от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности.

Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями на 07.03.2017) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

**Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (с изменениями на 19.07.2011) характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.**

## Заключение

В данной работе был рассчитан и спроектирован кожухотрубчатый теплообменник для подогрева азота водяным паром.

В результате проделанной работы был проведен технологический расчет, в ходе которого была определена поверхность теплообмена.

Проведен конструктивный расчет, в результате которого подобрали стандартный теплообменник с неподвижными трубными решетками, а так же штуцера для входа и выхода теплоносителей.

И также, проведен механический расчет, в котором были рассчитаны толщина стенок: цилиндрической обечайки и эллиптических днищ. Также были рассчитаны температурные деформации. Кроме того в механическом расчете был проведен расчет укрепления отверстия, расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений в результате которого выбрали стандартные фланцы и прокладки. В механическом расчете так же был проведен поверочный расчет теплообменника, в котором была проведена проверка прочности трубных решеток, расчет прочности и устойчивости кожуха, расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке. И были рассчитаны опоры.

Рассчитана и подобрана теплоизоляция теплообменника. Произведен гидравлический расчёт и подобран насос.

Кроме того, в дипломной работе представлены разделы: «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность»

## Список использованных 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 / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с., ил
2. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. -10-е изд. Стрелитипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753с.
3. ГОСТ 15120-79. Холодильники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – Введ. 1981-01.01. – М.:Госуд. комитет СССР по стандартам, 1981.-27 с.
4. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 1 /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118 с.
5. А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Л., «Машиностроение», 2004г., 752с.1.
6. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. – Введ. 1979-01.01. – М.:Изд-во стандартов, 1988.- 11 с.
7. ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.- Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-38 с.
8. В.М.Беляев, В.М.Миронов В. В. Тихонов. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 95 с.
9. ГОСТ 31842-2012. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. – Введ. 1979-01.01. – М.:Изд-во стандартов, 1988.- 11 с.
10. ГОСТ Р 52857.2-2007. Расчет обечаек и днищ. - Введ. 2009-27.12.-М.: Стандартиформ, 2008-41 с.
11. ГОСТ Р 52857.3-2007. Укрепление отверстий. - Введ. 2009-15.12. –М.: Стандартиформ, 2011-29 с.



12. ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. - Введ. 1992-01.01. – М.:Госуд. комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. 1992.- 20 с.
13. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. - Введ. 2009 15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-40с.
14. Ю.И. Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.:Химия, 1991. — 496 с.
15. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.
16. ГОСТ 52857.7-2007. Теплообменные аппараты. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011- 50с.
17. ГОСТ Р 52857.6-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках - Введ. 2008-04.01. – М.: Стандартиформ, 2008- 20с.
- 18.Инженерный справочник [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://tehtab.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
19. Каталог продукции [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://www.esbk.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
- 20.ГОСТ 12.0.003-15 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[Текст]. – Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство Стандартиформ, 2016.- 22с.
21. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
22. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

23. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах – утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 21.06.2016 N 81: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2016. – 43 с.
24. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.[Текст]. – официальное издание М.: Стандартиформ, 2007-4с. ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности [Текст]. –официальное издание М.: Стандартиформ, 20015-20 с.
25. Макаров Г.В. Охрана труда в химической промышленности.- М.:Химия,1989-496с.
26. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
27. Инструкция по охране труда по электробезопасности.
28. Экология и безопасность жизнедеятельности» Под редакцией доктора физ.- мат. наук, чл.-корр. РЭА, профессора Л.А. Муравья.
29. Руководство по эксплуатации. Теплообменники кожухотрубчатые.
30. РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.
31. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593.
32. Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003г.N313 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)».
33. Федеральный закон от 23 февраля 2013 г. N 15-ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака"
34. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”
35. Федеральный закон «О пожарной безопасности».
36. Требования по охране труда. Цех получения полипропилена. ТНХК.