

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

Институт физики высоких технологий

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

Кафедра ОХХТ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование кожухотрубчатого теплообменника завода получения полипропилена с целью импортозамещения

УДК 665.6.045.1.001.24(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Найденов Вячеслав Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедры	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
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)

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

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметаким, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологи.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др.).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
	профессиональному самосовершенствованию.	международным стандартам EUR-ACE и FEANI , запросы отечественных предприятий и НИИ..

ОБЩЕКУЛЬТУРНЫЕ, ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ.

1. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими **общекультурными компетенциями (ОК):**

- способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);
- способностью анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2);
- способностью использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-3);
- способностью использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4);
- способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-5);
- способностью работать в коллективе, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОК-6);
- способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способностью использовать методы и средства физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-8);
- способностью использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций (ОК-9).

2. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими **общепрофессиональными компетенциями (ОПК):**

- способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1);
- *способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы*

математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-2);

- *способностью использовать основные естественнонаучные законы для понимания окружающего мира и явлений природы (ОПК-3);*

3. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать **профессиональными компетенциями (ПК)**, соответствующими виду (видам) профессиональной деятельности, на который (которые) ориентирована программа бакалавриата:

производственно-технологическая деятельность:

- способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции (ПК-1);
- способностью участвовать в совершенствовании технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, минимизации воздействия на окружающую среду (ПК-2);
- способностью использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программ и баз данных для расчета технологических параметров оборудования и мониторинга природных сред (ПК- 3);
- способностью использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий (ПК- 4);
- готовностью обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду (ПК-5);
- способностью следить за выполнением правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда на предприятиях (ПК-6);
- готовностью осваивать и эксплуатировать новое оборудование, принимать участие в наладивании, технических осмотрах, текущих ремонтах, проверке технического состояния оборудования и программных средств (ПК-7);
- способностью использовать элементы эколого-экономического анализа в создании энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК-8).

организационно-управленческая деятельность:

- способностью анализировать технологический процесс как объект управления (ПК-9);
- способностью проводить стоимостную оценку основных производственных ресурсов (ПК-10);

- способностью организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения в области организации труда и осуществлении природоохранных мероприятий (ПК-11);
- способностью систематизировать и обобщать информацию по формированию и использованию ресурсов предприятия (ПК-12).

научно-исследовательская деятельность:

- готовностью изучать научно-техническую информацию, анализировать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований (ПК-13);
- *способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе (ПК-14);*
- способностью планировать экспериментальные исследования, получать, обрабатывать и анализировать полученные результаты (ПК-15);
- *способностью моделировать энерго- и ресурсосберегающие процессы в промышленности (ПК-16).*

проектная деятельность:

- способностью участвовать в проектировании отдельных стадий технологических процессов с использованием современных информационных технологий (ПК-17);
- способностью проектировать отдельные узлы (аппараты) с использованием автоматизированных прикладных систем (ПК-18).

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

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки (специальность) Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (МАХП)
 Кафедра ОХХТ

УТВЕРЖДАЮ:
 И.о. зав. кафедрой

 (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
2к22	Найденову Вячеславу Александровичу

Тема работы:

Проектирование кожухотрубчатого теплообменника завода получения полипропилена с целью импортозамещения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.03.16г., 2270/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.16г.
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><u>Кожухотрубчатый теплообменник.</u> <u>Производительность</u> по деминерализованной воде: 200 т/сут.; <u>Поверхность теплообмена:</u> 181 м²; <u>Теплоносители:</u> Горячий – водяной пар: T_н=140 °С, T_к=140 °С; Холодный – азот: T_н=0 °С, T_к=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, Трубная решётка – 08Х21Н6М2Т. <u>Режим работы:</u> непрерывный;</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение; Описание технологической схемы; Технологический расчёт; Конструктивный расчёт; Механический расчёт; Расчёт тепловой изоляции; Гидравлический расчёт; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид теплообменника;</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ахмеджанов Рафик Равильевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сечина Ася Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>02.02.16г.</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедры	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Найденов Вячеслав Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит пояснительной записки, содержащей 85 с., 7 рис., 2 табл., 35 источников литературы, и 2 листа графического материала формата А1.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, фланец, опора, трубная решётка, перегородка.

Цель работы – рассчитать и подобрать кожухотрубчатый теплообменник для замены импортного теплообменника.

Были произведены: технологический, конструктивный, механический, гидравлический расчёты, а также расчёт тепловой изоляции.

В работе приведены разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.

Основные характеристики: производительность - 200 т/сут; поверхность теплообмена: 181 м²; теплоносители – водяной пар и азот; давление: 0,02 и 0,45МПа.

PAPER

Final qualifying work consists of explanatory note, containing 86 p., 7 fig., 2 tab., 35 literature sources, and 3 sheets of A1 format graphic material.

Keywords: shelltube heat exchanger flange prop, tubular grille bulkhead.

Purpose - to calculate and pick shelltube exchanger to replace the import of the heat exchanger.

We were made: technological, structural, mechanical, hydraulic calculations, as well as thermal insulation calculation.

The paper presents the areas: financial management, resource efficiency and resource conservation; Social responsibility.

Main features: capacity - 200 t / d; heat exchange surface: 181 m²; heat transfer fluids - water vapor and nitrogen ; pressure: 0.02 and 0,45MPa

Оглавление

Введение.....	13
1. Описание технологической схемы.....	14
2. Расчёт кожухотрубчатого теплообменника.....	16
2.1 Технологический расчёт теплообменника.....	16
2.2 Конструктивный расчёт теплообменника.....	18
2.2.1 Подбор стандартного теплообменника.....	18
2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей.....	20
2.3 Механический расчёт теплообменника.....	22
2.3.1 Расчётные параметры.....	22
2.3.2 Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки.....	24
2.3.3 Расчет толщины стенок эллиптического днища.....	25
2.3.4 Расчет необходимости укрепления отверстий.....	28
2.3.5 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ.....	33
2.3.6 Расчет толщины трубной решетки.....	43
2.3.7 Расчет развальцовочного соединения.....	44
2.3.8 Расчет опор.....	45
2.4 Расчёт тепловой изоляции.....	53
2.5 Гидравлический расчёт.....	54
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
3.1 Сравнение экономических и технических характеристик кожухотрубчатого теплообменника рассчитанного и импортного.....	56
3.2 Оценка конкурентоспособности теплообменников.....	59
3.3 Оценка расходов на наладку и монтаж кожухотрубчатого теплообменника.....	62
4. Социальная ответственность.....	64
4.1 Производственная безопасность.....	64
4.2 Анализ вредных факторов при эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника.....	65
4.3 Анализ опасных факторов при эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника.....	70
4.4 Экологическая безопасность.....	76
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
4.5.1 Пожарная и взрывная опасность.....	76
4.5.2 Чрезвычайные ситуации на производственном объекте.....	78
4.5.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	80
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
Заключение.....	82
Список использованных источников.....	84

Введение

ООО «Томскнефтехим» - нефтехимическое предприятие в городе Томске, входит в состав ОАО «СИБУР Холдинг». Предприятие выпускает полипропилен, полиэтилен высокого давления (ПЭВД), а также бутилен-бутадиеновую фракцию, тяжелую смолу пиролиза, жидкие продукты пиролиза. Продукция предприятия имеет широкий спрос в России и за рубежом. Остановимся на получении полипропилена.

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

В ходе исследования было выявлено, что импортные теплообменники имеют ряд недостатков:

- Забивается твердыми отложениями, что приводит к необходимости частой чистки и как следствие износу.
- Нарушение герметичности.
- Превышенный срок эксплуатации.

Решением упомянутых проблем является замена импортного теплообменника на рассчитанный кожухотрубный теплообменник. Так как он обладает следующими достоинствами:

- Обладает большой поверхностью теплообмена.
- Прост в использовании и ремонте.
- Долговечен и надёжен.

1 Описание технологической схемы

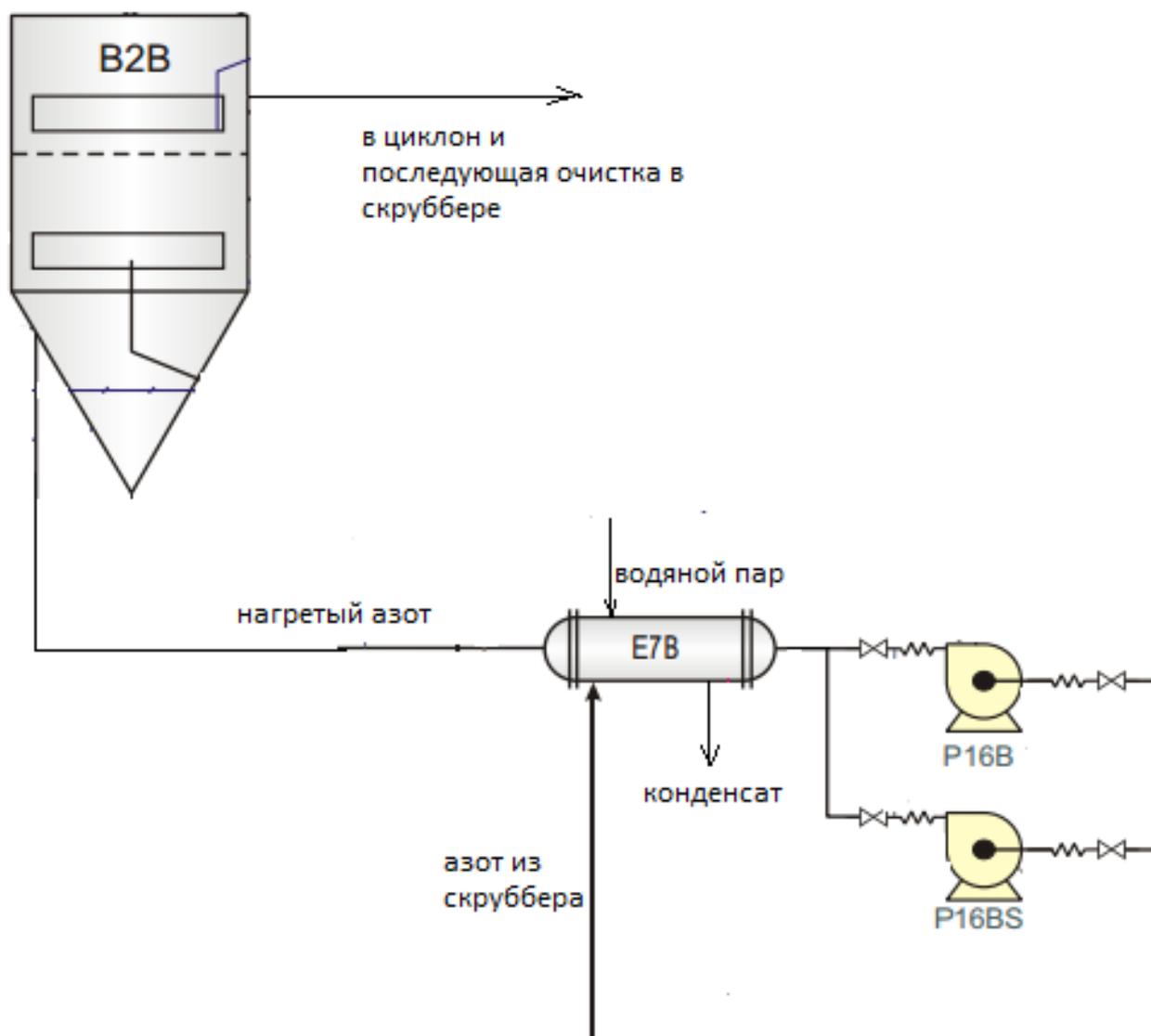


Рисунок 1.1. Сушильная установка полипропилена-порошка.

Сушильная установка полипропилена-порошка, предназначена для глубокой сушки полимера восходящим потоком горячего азота. Сушка полимера осуществляется на двух параллельно работающих технологических линиях "А" и "В".

Глубокая сушка полимера происходит восходящим потоком горячего азота, подаваемого через перфорированные листы последовательно в нижнюю и верхнюю камеры сушилки. Полимер поступает в верхнюю камеру сушилки В2В, от центра проходит к периферии, обтекая по спирали волнорезы, пересыпается с верхней камеры в нижнюю аналогичным образом, обтекая по спирали волнорезы проходит от периферии к центру, и через центральную трубу питателями подается в линию пневмотранспорта.

Азот насыщенный парами растворителя из верхней камеры сушилки В2В поступает в циклон, где происходит отделение унесенного порошка и возврат его

питателем в линию выгрузки сухого порошка. Из циклонов азот газодувкой через холодильник подается в нижнюю часть скруббера.

В скруббере происходит охлаждение азота и его очистка от паров нефраса. Очищенный азот из скруббера газодувкой возвращается, предварительно нагреваясь в теплообменнике поз.Е7В, в сушилку В2В.

2. Расчёт кожухотрубчатого теплообменника

2.1 Технологический расчёт теплообменника

Исходные данные:

Кожухотрубный теплообменник для нагрева азота водяным паром

$$G_1 := 200 \frac{\text{т}}{\text{сут}} \text{ производительность, расход}$$

$$\rho_{\text{гр.п}} := 1.962 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ плотность греющего пара}$$

$$\rho_{\text{а0}} := 1.669 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ плотность азота при 0 градусах}$$

$$\rho_{\text{а135}} := 2.220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ плотность азота при 135 градусах}$$

$$\rho_{\text{сред}} := \frac{\rho_{\text{а0}} + \rho_{\text{а135}}}{2} = 1.943 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$G := G_1 \cdot \frac{1000}{86400} = 2.315 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Определение поверхности теплообмена и основных размеров теплообменника

Примем температуру греющего пара

Выбираем температуру греющего пара так, чтобы $\Delta t < 50 \text{ C}$:

140 греющий пар 140 °C

0 азот 135 °C

Давление греющего пара [Павлов, Романков, табл. LVI]:

$$p_{\text{г.п.}} := 0.368510^6$$

Рассчитываем среднюю разность температур:

$$t_{\text{кип}} := 135 \text{ C, температура азота}$$

$$t_{\text{г.п}} := 140 \text{ C}$$

$$\Delta t_{\text{н}} := 0 \text{ C}$$

$$\Delta t_{\delta} := t_{r,п} - \Delta t_{н} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{м} := t_{r,п} - t_{кип} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{2.3 \log \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}} \right)} = 40.559 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Рассчитаем тепловую нагрузку $t_{cp} := \frac{\Delta t_{н} + t_{кип}}{2} = 67.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Теплоемкость определяем из [рис.IX,Романков]

$$C_a := 1040.6 \text{ ; удельная теплоемкость азота}$$

$$Q_{см} := G \cdot C_a \cdot (t_{кип} - \Delta t_{н}) = 3.252 \times 10^5 \text{ Вт}$$

по табл.LVI,Романков: $\gamma_{r,п.} := 2150 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Находим расход греющего пара:

$$G_{r,п.} := \frac{1.05 Q_{см}}{\gamma_{r,п.}} = 0.159 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Коэффициент динамической вязкости: $\mu_{см} := 0.0001 \text{ Па}\cdot\text{с}$

Принимаем $R=20000$ и находим требуемое число труб диаметром $25 \cdot 2 \text{ мм}$:

$$n := \frac{G}{0.785 R e \cdot d \cdot \mu_{см}} = 36.952 \text{ число труб на 1 ход}$$

Вычислим ориентировочную поверхность теплообмена при максимальном и минимальном коэффициентах теплоотдачи [табл.4.8,Романков]:

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

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

$$F_{min} := \frac{Q_{см}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{max}} = 133.629 \text{ м}^2$$

$$F_{max} := \frac{Q_{см}}{\Delta t_{cp} \cdot K_{min}} = 801.774 \text{ м}^2$$

2.2 Конструктивный расчёт теплообменника

2.2.1 Подбор стандартного теплообменника

Рассмотрим вариант теплообменника с трубами 25x2

$$N_{\text{общ}} := 384 \text{ шт.} \quad Z := 6 \quad h := 6 \text{ м} \quad F_{\text{пл}} := 181 \text{ м}^2 \quad n_y := \frac{N_{\text{общ}}}{Z} = 64 \quad D := 0.5 \text{ м} \quad n = 36.952$$

$$Re_i := Re \cdot \frac{n}{n_y} = 1.155 \times 10^4$$

$$Pr_{\text{см}} := 0.685$$

$$Nu := 0.021 Re^{0.8} \cdot Pr_{\text{см}}^{0.43} = 49.248$$

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_{\text{см}} := 0.028 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad [1, \text{табл. XXIX, рис. X}]$$

$$\alpha_{\text{см}} := \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{см}}}{d} = 66.368$$

$$\mu_{\text{г.п.}} := 0.201110^{-3} \quad \text{Коэффициент вязкости для греющего пара}$$

$$t_{\text{ст}} := t_{\text{г.п.}} - 0.1 \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 135.944 \quad \lambda_{\text{г.п.}} := 0.685 \quad t_{\text{пл}} := \frac{t_{\text{г.п.}} + t_{\text{ст}}}{2} = 137.972$$

$$\rho_{\text{г.п.}} := 926.1 \text{ г/дм}^3 \quad \text{плотность греющего пара}$$

$$\alpha_{\text{конд}} := 3.78 \lambda_{\text{г.п.}} \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{г.п.}} \cdot d \cdot n}{\mu_{\text{г.п.}} \cdot G_{\text{г.п.}}}} = 731.006$$

$$\Sigma R := \frac{0.002}{17.5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 4.591 \times 10^{-4}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{см}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} + \Sigma R} = 59.19 \text{ Вт/м}^2$$

$$F_{\text{действ}} := \frac{Q_{\text{см}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 135.457 \text{ м}^2$$

$$\Delta := \frac{F - F_{\text{действ}}}{F_{\text{действ}}} \cdot 100 = 33.622 \%$$

2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей

Скорость движения жидкости лежит в пределах 0.5-2 м/с, а газа- 10-30 м/с.

Поскольку у нас 4 штуцера, то найдем диаметры для каждого из них:

$$\omega_{\Gamma} := 27 \text{ м/с}$$

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

$$\pi = 3.142$$

Внутренние или условные диаметры штуцеров рассчитывается по формуле массового расхода [1,стр.17]:

$$d_{\text{вх.гр.пар}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\Gamma.п.}}{\rho_{\Gamma.п.} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.062 \text{ диаметр штуцера для входа пара}$$

$$d_{\text{конд}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\Gamma.п.}}{\rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{ж}}}} = 0.012 \text{ диаметр штуцера для выхода конденсата}$$

$$d_0 := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\rho_{\text{а0}} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.256 \text{ диаметр штуцера для входа азота}$$

$$d_{135} := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\rho_{\text{а135}} \cdot \pi \cdot \omega_{\Gamma}}} = 0.222 \text{ диаметр штуцера для выхода нагретого азота}$$

По [6] Принимаем следующие размеры труб:

$$d_{\text{вх.гр.пар}} := 0.07 \text{ м} \quad S_{\text{вх.гр.пар}} := 0.002 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{конд}} := 0.02 \text{ м} \quad S_{\text{конд}} := 0.001 \text{ м}^2$$

$$d_0 := 0.25 \text{ м} \quad S_0 := 0.003 \text{ м}^2$$

$$d_{135} := 0.25 \text{ м} \quad S_{135} := 0.004 \text{ м}^2$$

$$M_{\Gamma 220 \times 3.5} := 23.2 \text{ кг} \quad m_{\text{п} 250 \times 3.5} := M_{\Gamma 220 \times 3.5}^{0.2} = 4.652$$

$$M_{\Gamma 250 \times 4} := 23.7 \text{ кг} \quad m_{\text{п} 250 \times 4} := M_{\Gamma 250 \times 4}^{0.2} = 4.744$$

$$M_{\Gamma 70 \times 2} := 3.0 \text{ кг} \quad m_{\text{п} 70 \times 2} := M_{\Gamma 70 \times 2}^{0.2} = 0.606$$

$$M_{\Gamma 20 \times 1} := 0.271 \text{ кг} \quad m_{\text{п} 20 \times 1} := M_{\Gamma 20 \times 1}^{0.2} = 0.054$$

подбираем стандартные фланцы. [5,стр 547]

Выбираем Тип 1. Указаны внутренние диаметры фланцев.

подбор фланцев на штуцера:

$$d_{\text{фвх.гр.пар}} := 0.07 \quad m_{\text{ф65}} := 1.97$$

$$d_{\text{фконд}} := 0.02 \quad m_{\text{ф15}} := 0.4$$

$$m_{\text{ф800}} := 56.2$$

$$d_{\text{ф0}} := 0.25(\quad d_{\text{ф135}} := 0.25(\quad m_{\text{ф267}} := 11$$

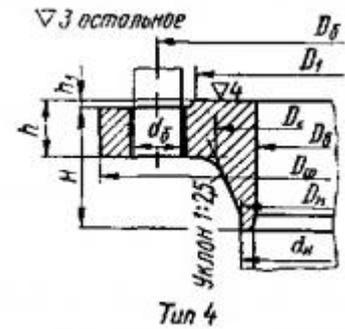


Рисунок 2. Фланец арматуры, соединительных частей из чёрных металлов, цельный.

2.3 Механический расчёт теплообменника

2.3.1 Расчётные параметры

Исходные данные

$D := 800 \text{ мм}$ Внутренний диаметр;

$P := 0.4 \text{ МПа}$ рабочее давление

$H := 600 \text{ мм}$ Длина цилиндрической части обечайки;

$t_c := 140 \text{ °C}$ Температура среды;

$P := 0.0 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ Скорость коррозии;

$Y := 1 \text{ лет}$ Срок эксплуатации;

исполнение М23

крышка, трубы и трубная решетка из 08Х21Н6М2Т

Марка стали корпуса 16ГС

[3, таблица А.1]

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при $t=140 \text{ °C}$

$\sigma_{тк} := 192.8 \text{ МПа}$

$\sigma_{т0} := 170.7 \text{ МПа}$

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при нормальных условиях

$\sigma_{20к} := 233 \text{ МПа}$

$\sigma_{200} := 196 \text{ МПа}$

Коэффициент запаса прочности

$\eta := 1$

$g_x := 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ Ускорение свободного падения

Расчётное значение предела текучести для стали марки 16ГС при $t=140 \text{ °C}$ [3, таблица Б.1]

$R_{02к} := 289.7 \text{ МПа}$ для крышек

$R_{020} := 256.1 \text{ МПа}$ для обечайки

$n_T := 1.1$ Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании по таблице 1
ГОСТ Р 52857.1-2007;

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

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

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при гидравлических испытаниях

значения предела текучести при 20 °С для стали 16ГС

$$\sigma_{ик} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02к}}{1.1}, 0.5\right) \quad \sigma_{ик} = 263 \text{ МПа} \text{ для крышек}$$

$$\sigma_{ио} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02о}}{1.1}, 0.5\right) \quad \sigma_{ио} = 232.5 \text{ МПа} \text{ для обечайки}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата:

$$\sigma_{д20к} := \eta \cdot \sigma_{20к} = 233 \text{ для крышек}$$

$$\sigma_{20о} = 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20о} := \eta \cdot \sigma_{20о} = 196 \text{ для обечайки}$$

$$P_{про} := 1.25 P \cdot \frac{\sigma_{д20о}}{\sigma_{то}} = 0.646 \text{ МПа} \text{ для обечайки}$$

$$P_{прк} := 1.25 P \cdot \frac{\sigma_{д20к}}{\sigma_{тк}} = 0.68 \text{ МПа} \text{ для крышек}$$

Вид сварного шва и способ сварки:

Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*.

$$\phi_p := 0.9 \quad [3, \text{таблица Д.1}]$$

2.3.2 Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки

$$s_p := \max \left[\frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{тк} - P_p)}, \frac{P_{про} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{ио} - P_{про})} \right] = 1.236 \text{ мм}$$

Добавка на коррозию и на компенсацию минусового допуска:

c — сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм;

$$c := 1 \text{ мм}$$

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

Исходя из рекомендаций принимаем толщину стенки равной 6мм

Проверка на условие прочности

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{то} \cdot \phi_p \cdot (S_{ЦО} - c)}{D + (S_{ЦО} - c)} = 1.909$$

$$P = 0.45 \text{ МПа}$$

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

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

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

Расчётные габариты листа:

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

Габариты листа 1400*6000*6 мм

2.3.3 Расчёт толщины стенки эллиптического днища

$P := 0.1$ МПа Давление жидкости

$\rho_{\text{сред}} = 1.943 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Средняя плотность жидкости

Высота крышки

Поскольку крышка эллиптическая, то, согласно ГОСТ Р 52857.2-2007,

$H := 0.25D$ $H = 200$ мм -высота выпуклой части крышки без учета цилиндрической части

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

$\rho_{\text{сред}} = 1.943$

$P_{\text{вн}} := P + \frac{\rho_{\text{сред}} \cdot g \cdot H}{10^9} = 0.1$ МПа

Проверка на условие применимости формул

$U_{S1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$U_{S1} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

Радиус кривизны

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

Расчётная толщина стенки

$\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки

$S_p := \max\left[\frac{P_p \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{тк}} - 0.5 \cdot P_p)}, \frac{P_{\text{прк}} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{ик}} - 0.5 \cdot P_{\text{прк}})}\right] = 1.034$ мм

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

Исходя из рекомендаций принимаем толщину стенки равной 6мм

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$P_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{тк}} \cdot \phi \cdot (S_{\text{ЭК}} - c)}{R + 0.5(S_{\text{ЭК}} - c)}$$

$$P_{d1} = 2.403 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P \leq P_{d1} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

$$h_1 := \text{ceil}\left[0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (S_{\text{ЭК}} - c)}\right] = 51 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки 2:

Высота крышки

Поскольку крышка эллиптическая, то, согласно ГОСТ Р 52857.2-2007,

$$H_{\text{н}} := 0.25D \quad H = 200 \text{ мм} \text{ -высота выпуклой части крышки без учета цилиндрической части}$$

Проверка на условие применимости формул

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s1} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Радиус кривизны

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

Расчётная толщина стенки

$\phi := 1$ коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки

$$S_{\text{прк}} := \max\left[\frac{P_p \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{тк}} - 0.5P_p)}, \frac{P_{\text{прк}} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{ик}} - 0.5P_{\text{прк}})}\right] = 1.034 \text{ мм}$$

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

Исходя из рекомендаций принимаем толщину стенки равной 6мм

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{тк}} \cdot \phi \cdot (S_{\text{эк}} - c)}{R + 0.5(S_{\text{эк}} - c)}$$

Проверка на условие прочности

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

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

2.3.4 Расчет укрепления отверстий

Расчетные диаметры укрепляемых элементов

$$x := 250$$

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

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

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

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

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

$$\text{Ширина накладного кольца выхода азота} \quad l_{221} := 0.5d_{13\zeta}$$

На входе

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

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

На выходе

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

для цилиндрической обечайки

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

в обечайке

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

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

Расчётная толщина стенки оболочки:

$$s_{\text{рк}} := \frac{P_r \cdot D_{\text{po}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{дк}} - P_r} = 0.935 \text{ для обечайки}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

для отверстия входа водяного пара

$$s_{1'p} := \frac{P_r \cdot (d_{\text{рвх.гр.пар}} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot \phi - P_r} = 0.086 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d_{\text{вх.гр.пар}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 1)} \right] \quad l_{11p} = 12 \text{ мм}$$

$$l_{31p} := \min \left[l_3, 0.5 \sqrt{(d_{\text{вх.гр.пар}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 4.243 \text{ мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

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

Расчётная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_{1p} := \sqrt{D_{\text{po}} \cdot (3 - c)} = 40 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

$$\text{для внешней части штуцера} \quad \chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{д1}}}{\sigma_{\text{дк}}} \right) \quad \chi_1 = 1$$

$$\text{для накладного кольца} \quad \chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{д2}}}{\sigma_{\text{дк}}} \right) \quad \chi_2 = 1$$

$$\text{для внутренней части штуцера} \quad \chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_{\text{д3}}}{\sigma_{\text{дк}}} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{1\text{оп}} := 0.4 \sqrt{D_{\text{po}} \cdot (3 - c)} = 16 \text{ мм}$$

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

$$d_{1o} := 2 \cdot \left[\left(\frac{3 - c}{s_{pk}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{po} \cdot (3 - c)} = 107.196 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$\text{Prov1} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{1o} < d_{\text{вх.гр.пар}} \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov1 = "Укрепление не требуется"

для отверстия выхода конденсата

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d_{\text{рконд}} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.028 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p}' := \min \left[l_1, \sqrt{(d_{\text{конд}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 1)} \right] \quad l_{11p} = 6.633 \text{ мм}$$

$$l_{31p}' := \min \left[l_3, 0.5 \sqrt{(d_{\text{конд}} + 2 \cdot c) \cdot (3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 2.345 \text{ мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

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

Расчётная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_{1p}' := \sqrt{D_{po} \cdot (3 - c)} = 40 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

$$\text{для внешней части штуцера } \chi_{1p}' := \min \left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_{dk}} \right) \quad \chi_1 = 1$$

$$\text{для накладного кольца } \chi_{2p}' := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_{dk}} \right) \quad \chi_2 = 1$$

$$\text{для внутренней части штуцера } \chi_{3p}' := \min \left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_{dk}} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{1op}' := 0.4 \sqrt{D_{po} \cdot (3 - c)} = 16 \text{ мм}$$

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

$$d_{1_{\text{расч}}} := 2 \cdot \left[\left(\frac{3 - c}{s_{\text{рк}}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{\text{ро}} \cdot (3 - c)} = 107.196 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$\text{Prov5} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{1_{\text{о}}} < d_{\text{конд}} \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov5} = \text{"Укрепление не требуется"}$$

2.3.5 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ

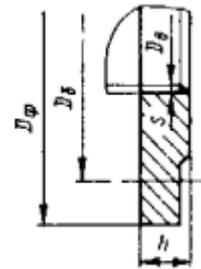
Подбор фланцев стальных сварных аппаратов для обечаек и днищ с внутренними базовыми размерами.

0,3																		
0,6		930	890	—	—			26	32	—								
1,0						6		38	44			M20	32	31,6	31,0			
1,6	800	945	905	848	818		90	52	58	35			36	63,2	72,1			
2,5		955	915	860	830	8		60	65				40	75,0	82,9			
4,0		1005	945	872	838		98											
6,4		1055	985	904	852		125						M30	36	—	—		
							165	175					M36	32				

Таблица 1. Конструкционные размеры фланцев.

Исходные данные для расчёта на прочность и герметичность фланцевых соединений:

Рисунок 3. Фланец с гладкой уплотнительной поверхностью.



$D_{\phi} := 80 \text{ мм}$ Внутренний диаметр аппарата

$D_{\text{н}} := 93 \text{ мм}$ Наружный диаметр фланца

$D_{\text{б}} := 89 \text{ мм}$ Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)

$D_{\text{сп}} := 857 \text{ мм}$ Расчётный диаметр прокладки

$b_{\text{п}} := 20 \text{ мм}$ Ширина прокладки

$h := 0,5 \cdot (D_{\text{н}} - D) \text{ мм}$ Ширина тарелки фланца

$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$ Толщина прокладки

$S_0 := 6 \text{ мм}$ Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке (трубе), толщина обечайки плоского фланца

$d := 20 \text{ мм}$ диаметр болтов (шпилек)

$n := 32$ Число болтов (шпилек)

$P := 0,4 \text{ Мпа}$ Расчётное давление

$M := 0 \text{ МН·м}$ Внешний изгибающий момент

$F := 0 \cdot 10^6$ МН Осевая сила

$c_0 := 1.0$ мм Суммарная прибавка к расчётной толщине

$t := 152$ °С Рабочая температура

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - Паронит

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

Выбор крепежных элементов:

При давлении до 25 кгс/см² (2,5 МПа) можно использовать болты. Они дешевле шпилек.

Определение расчетных параметров:

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

$$t_{\phi} := 0,96 t = 145,92 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов

$$t_{\sigma} := 0,85 t = 129,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х из ГОСТ Р 52857.1-2007

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 183,3 \\ 163,3 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д, \sigma} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\sigma}), 0,5) = 171 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре, согласно таблице Ж.1

$$E_{\sigma} := 2,06810^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20$ °С

$$\sigma_{20\sigma} := 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения для стали 35Х при $t=20-160$ °С

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

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

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

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) = 149.5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma = 149.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при рабочей температуре

$$E := 2.018 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t = 20$ °С

$$\sigma_{20} := 163.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 163.3 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для сталь 16ГС при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при $t = 20 - 160$ °С

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

Эффективная ширина плоской прокладки

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

$$b_0 = 17 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки:

Согласно [12, табл. И.1] выбираем значения для паронита:

$$m := 2.4 \quad q_{обж} := 20 \text{ МПа} \quad q_d := 130 \text{ МПа}$$

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

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| = 2.575 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{II} = 5.149 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице Д.1

$$f_b := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b = 7.2 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

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

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

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

Податливость прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 1.671 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 98 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_{\text{б}} := L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d = 103.6 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{20\text{б}} \cdot A_{\text{б}}} = 6.693 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

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

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} \quad K = 1.163$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_{\text{T}} = 1.852$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \log(K)) - 1}{1.36 (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_{\text{U}} = 14.254$$

$$\beta_{\text{Y}} := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_{\text{Y}} = 13.098$$

$$\beta_{\text{Z}} := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_{\text{Z}} = 6.691$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.5 \quad f := 1$$

- коэффициент

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

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 1.82 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_\delta}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 8.039 \times 10^{-12}$$

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

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

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{пр} := D$$

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

$$b := 0.5(D_\delta - D_{сн}) = 16.5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

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

Эквивалентная толщина плоских фланцев

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

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_{б} \cdot \frac{E_{20\delta}}{E_\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 2.942 \times 10^6$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} \quad \alpha = 0.958$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.31$$

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

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

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

$$P_{\delta 1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right] \quad P_{\delta 1} = 3.002 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

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

$$P_{\text{обж}} = 2.575 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{\delta 2} = 5.279 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta M} := \max(P_{\delta 1}, P_{\delta 2}) \quad P_{\delta M} = 5.279 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

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

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке $\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бМ}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б1}} = 73.32 \text{ МПа}$

- в рабочих условиях $\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б2}} = 85.668 \text{ МПа}$

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

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

Us1_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 73.32 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} = 183.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 85.668 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 171 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\text{бМ}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 11.455 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

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

Us1_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 11.455 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{д}} = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность:

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\text{бМ}} \cdot b \quad M_M = 8.71 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

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

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

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

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 1.048 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 26.74 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0p} = 63.046 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 20.503 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

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

$$\sigma_{Rp} = 0.797 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rf}$$

$$\sigma_{Tp} = 20.32 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

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

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

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

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

$$Us1_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max\left(\left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \right)\right)\right) > K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_3 = "Условия статической прочности выполняются"

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

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

$$\max\left(\left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \right)\right)\right) = 83.548 \text{ МПа}$$

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

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 1.254 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{\text{д}} := 0.01^{\circ}$$

$$\text{Us1_P} := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \Theta_{\text{д}} \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_{\text{д}} \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

Определение расчётных параметров:

	трубы	корпус
Материал:	16ГС	16ГС
	$t_T := 67.5$	$t_K := 140$
	$\alpha_T := 11.64410^{-6}$	$\alpha_K := 12.1410^{-6}$
	$\sigma_{tT} := 156.7$	$\sigma_{tK} := 150.8$
	$E_T := 2.062810^5$	$E_K := 2.02610^5$

Наружный диаметр аппарата:

$$D_{\text{нв}} := \frac{D + 2 \cdot S_{\text{ЦО}}}{1000} = 0.812 \text{ м}$$

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

Определение поперечного сечения труб и корпуса:

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (0.806^2 - 0.8^2) = 7.568 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

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

Определение температурных усилий:

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

Определение температурных напряжений:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 22.262 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 163.237 \text{ МПа}$$

$$Us1_ := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_T \leq \sigma_{tT} \\ \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_K \leq \sigma_{tK} \\ \text{"Условие прочности не выполняется, теплообменник ТН не подходит"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_ = \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"}$$

2.3.6 Расчёт толщины трубной решётки:

Коэффициент прочности решетки:

Коэффициент прочности решетки учитывает ослабление сечения

решетки отверстиями под трубы и определяется в зависимости от шага t и

$d_{\text{ОТВ}}$ диаметра отверстий по формуле:

$$d_{\text{ОТВ}} := 2\epsilon \text{ мм}$$

$$t := 1.225 + 2 = 32 \text{ мм}$$

$$\varphi_p := \frac{t - d_{\text{ОТВ}}}{t} = 0.188$$

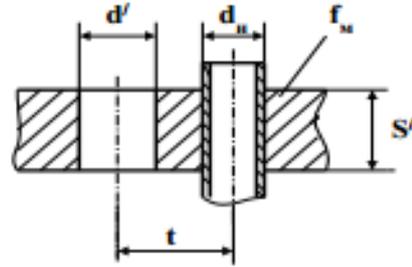


Рисунок 5.Схема к расчёту трубных решёток.

Толщина стенки из условия надёжности развальцовки труб:

$$d_H := 25 \text{ мм}$$

$$P_{\text{раб.тр}} := 0.02$$

$$P_{\text{раб.мжт}} := 0.45$$

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

$$S_{\text{тр1}} := \text{ceil}\left(\frac{f_M}{t - d_{\text{ОТВ}}}\right) + c = 22 \text{ мм}$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решётки:

$$Q_p := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - P_{\text{раб.тр}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 + Q_t = 1.452 \text{ МН}$$

Расчётное давление:

$$P_p := \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D^2} = 2.888 \text{ МПа}$$

Толщина трубной решетки, если считать её плоской заземленной плитой:

$$S_{\text{тр}2} := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma \cdot \phi_p}} + c = 1.055 \text{ мм}$$

Расчет трубной решетки будем производить по методике главы 25 [5]

Определяем номинальную расчетную высоту решетки снаружи, подобрав значения из [5,табл.25.3]

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

$$c := 0.001 \text{ м} \quad K_{\text{xxx}} := 0.28 \quad D_B := 0.995D = 0.796 \text{ м}$$

$$h_{1p} := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma}} = 0.031 \text{ м}$$

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$$\phi_0 := \left| \frac{D_B - (N \cdot 0.026)}{D_B} \right| = 11.543$$

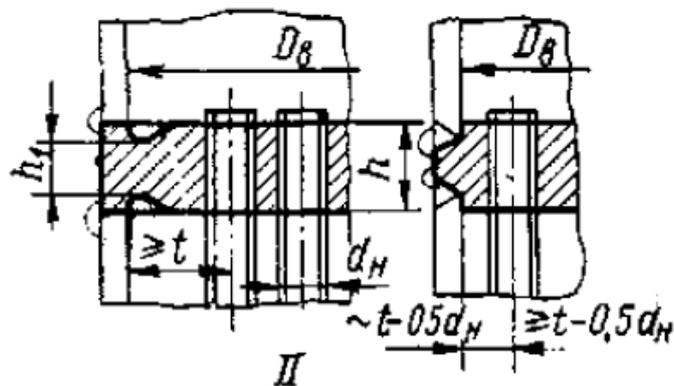


Рис. 6 Изображение вида трубной решетки типа II

Определяем номинальную расчетную высоту решетки посередине, выбрав значения величин из [5,табл.25.3]

$$K_{\text{xxx}} := 0.47 \quad D_{\text{xxx}} := D = 0.8 \text{ м} \quad h_p := K \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\phi_0 \cdot \sigma}} = 0.015 \text{ м}$$

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

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

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

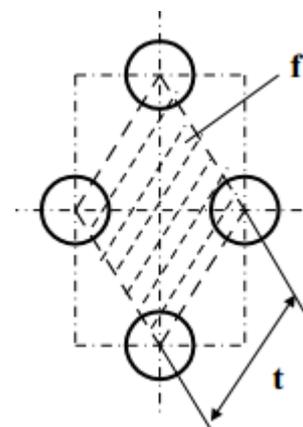
Принимаем толщину трубной решетки 25 мм

$$S_{\text{тр}3} := 0.025 \cdot 1000 = 25 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$S_{\text{тр}} := \max(S_{\text{тр}1}, S_{\text{тр}2}, S_{\text{тр}3}, 30) = 30 \text{ мм}$$

Рисунок 7. Схема к расчёту развальцовочного соединения.



2.3.7 Расчёт развальцованного соединения:

Площадь трубной решетки:

$$f_{\text{т}} := 0.866t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4} = 395.91 \text{ мм}^2$$

Осевое усилие: $Q_{\text{о.у.}} := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - N \cdot d_{\text{нар}}^2) + P_{\text{раб.тр}} \cdot N \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{вн}}^2 = 0.144 \text{ МН}$

Усилие, действующее на 1 трубку:

$$q := \frac{Q_{\text{о.у.}}}{N} = 3.751 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Температурное усилие, приходящее на одну трубу:

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$f_{\text{т}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2) = 1.445 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Температурные напряжения в трубе:

$$\sigma_{\text{т}} = 22.262 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{т}} := \sigma_{\text{т}} \cdot f_{\text{т}} = 3.217 \times 10^{-3}$$

Суммарное усилие:

$$q_{\text{с}} = q \pm q_{\text{т}}, \text{ МН}$$

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

В нашем случае:

Средняя температура трубного пространства:

$$t_{\text{ср.ХС}} := 67.5^{\circ}\text{C}$$

Средняя температура межтрубного пространства:

$$t_{\text{ср.ГС}} := 14^{\circ}\text{C}$$

$$q_{\text{с}} := q + q_{\text{т}} = 3.592 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

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

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

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

Проверка условия прочности:

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"} & \text{if } \sigma_o \leq 0. \\ \text{"Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"} & \text{if } \sigma_c \leq 0. \\ \text{"Условие не выполняется, необходим другой способ развальцовки"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Usl}_1 = \text{"Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"}$

2.3.8 Расчёт опор.

Расчёт опор ведётся согласно методике, указанной в[5,29.2]

Реакция опор:

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

Приведенная длина аппарата $H := 0.2$ $h := 0.06$ $S_{\text{эж}} := 0.002$

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

Расстояние между опорами:

$$l_1 := 0.207 L_{\text{пр}} = 1.405 \text{ м}$$

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

Расчётный изгибающий момент от силы тяжести:

$$M_u := 0.0105 G_{\text{ап}} \cdot L_{\text{пр}} = 5.468 \times 10^{-3} \text{ МН*м}$$

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести:

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

Выберем ширину опоры:

$$b := 0.2 D = 0.16 \text{ м}$$

Момент сопротивления расчётного сечения стенки корпуса над опорой:

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

Напряжение на изгиб в стенке аппарата от действия реакции опоры:

$$\sigma_U := \frac{0.02 P_A \cdot D}{W} = 5.233 \times 10^3 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma_{\text{ид}} := 17c \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Для стали 16ГС допускаемое напряжение при изгибе:

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

Prov' = "требуется усилить стенку над опорой"

Требуемый момент сопротивления усиленного сечения элемента стенки:

$$W := \frac{0.02 P_A \cdot D}{\sigma_{\text{ид}}} = 3.612 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$4 \cdot \sigma_{\text{ид}} = 680 \text{ МПа} < \sigma_{\text{U}} = 5.233 \times 10^3 \text{ МПа}$$

$$S_{\text{H}} := 1.6_{\text{об}} = 4.8 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_{\text{H}} := 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётная площадь поперечного сечения стенки корпуса:

$$F_{\text{C}} := [b + 8 \cdot (s_{\text{об}} - c)] \cdot (s_{\text{об}} - c) = 3.52 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Расчётная площадь сечения накладки:

$$F_{\text{H}} := (b + 4 \cdot S_{\text{H}}) \cdot S_{\text{H}} = 2 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Момент инерции площади F_C:

$$J_{\text{C}} := \frac{F_{\text{C}} \cdot (s_{\text{об}} - c)^2}{12} = 1.173 \times 10^{-10} \text{ м}^4$$

Момент инерции площади F_H:

$$J_{\text{H}} := \frac{F_{\text{H}} \cdot (S_{\text{H}})^2}{12} = 1.667 \times 10^{-8} \text{ м}^4$$

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

$$y := \frac{F_{\text{C}} \cdot [S_{\text{H}} + 0.5 \cdot (s_{\text{об}} - c)] + 0.5 F_{\text{H}} \cdot S_{\text{H}}}{F_{\text{C}} + F_{\text{H}}} = 5.898 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса:

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

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

Prov' = "прочность обеспечена"

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

Расчёт массы аппарата.

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

масса обечайки:

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

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

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

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

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

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

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

$d_{вн} = 0.021 \text{ м}$

$d_{нар} = 0.025 \text{ м}$

$$m_{тр} := N \cdot \left[\frac{\pi}{4} (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} \right] = 2.597 \times 10^3 \text{ кг}$$

массы штуцеров и фланцев корпуса:

$$M_{\text{ш.и.ф}} := (m_{\text{мп}250 \times 3.5} + m_{\text{ф}250}) + (m_{\text{мп}250 \times 4} + m_{\text{ф}250}) + (m_{\text{мп}70 \times 2} + m_{\text{ф}65}) + (m_{\text{мп}20 \times 1} + m_{\text{ф}15}) + m_{\text{ф}800} \cdot 4 = 259.22 \text{ т}$$

масса трубных решеток:

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

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

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

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

масса входной камеры:

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

$$m_{\text{в.к.}} := \frac{\pi}{4} (D_{\text{н}}^2 - D^2) \cdot L_{\text{в.к.}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 29.626 \text{ кг}$$

масса воды при гидротестированиях:

$$L_{\text{в}} := L_{\text{об}} + L_{\text{в.к.}}$$

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

$$\rho_{\text{в}} := 1000 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

$$m_{\text{в}} := V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} = 3.282 \times 10^3 \text{ кг}$$

Общая масса аппарата:

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

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

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

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

Принимаем количество опор: $k := 2$

Нагрузка на одну сторону:

$$G_{\text{наг}} := \frac{G_{\text{ап}}}{k} = 0.038 \text{ МН}$$

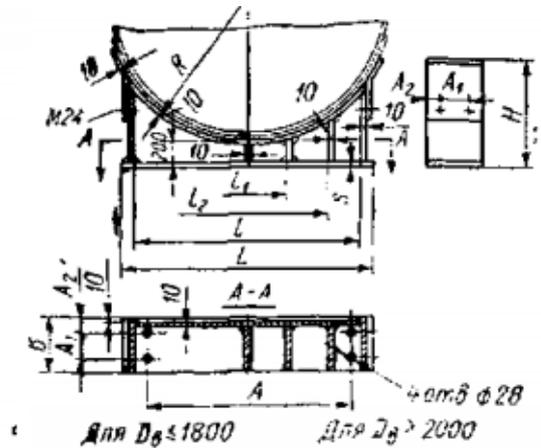


Рисунок 8. Опоры горизонтальных аппаратов

По полученной нагрузке на одну сторону аппарата выбираем подходящий тип опор. Выбор производим в соответствии с данными, указанными в [14, табл 29.12]. На рисунке 15 представлена опора горизонтальных аппаратов.

В таблице 2 указаны основные сведения об выбранной опоре.

Тип	$G^* \cdot 10^2$, МН (тс)	$D_{\text{б}}$	L	l	l_1	l_2	B	H	A	A_1	A_2	R	s	Масса, кг
	17	800	750	705				440	500			422		67,9

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

2.4 Расчет тепловой изоляции.

принимая температуру стенки равной температуре среды в межтрубном пространстве,
 $T=140^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{ст}} := 140^{\circ}\text{C}$$

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

$$t_{\text{окр}} := 20^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t := t_{\text{из}} - t_{\text{окр}} = 100^{\circ}\text{C}$$

Разность между температурой поверхности слоя изоляции и температурой окружающей среды.

$$\alpha_{\text{н}} := 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t = 16.74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

В качестве теплоизоляционного материала примем совелит

$$\lambda_{\text{из}} := 0.09$$

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

$$\delta_{\text{из}} := \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{\alpha_{\text{н}} \cdot (t_{\text{из}} - t_{\text{окр}})} = 1.171 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Следовательно, толщину изоляции примем равной 12 мм

2.5 Гидравлический расчёт.

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

Гидравлическое сопротивление трубного пространства.

$$Re_1 := 2000 \quad d_{\text{ВН}} = 0.021 \quad N_{\text{ХОД}} := \frac{N}{6} \quad \rho_1 := 1.94 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \mu_{\text{СМ}} := 0.00019$$

Скорость движения азота в трубах:

$$\omega_1 := \frac{Re_1 \cdot \mu_{\text{СМ}}}{d_{\text{ВН}} \cdot \rho_1} \quad \omega_1 := 21.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент сопротивления трения:

При турбулентном режиме движения потока

$$\lambda := \frac{0.316}{Re_1^{0.25}} = 0.027$$

Скоростное давление в трубах:

$$\Delta p_{\text{скт}} := \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 453.263 \text{ Па}$$

Потеря давления на преодоление трения в трубах:

$n_{\text{хх}}$:= 6 число ходов по трубному пространству.

$L_{\text{хх}}$:= 6 длина труб

Коэффициент местных сопротивлений $\Sigma \xi$ определяют опытным путем. Ниже приведены значения:

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

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

Общее гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta p_{\text{тр.пр}} := \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot L}{d_{\text{ВН}}} + \Sigma \xi \right) \cdot \Delta p_{\text{скт}} = 2.087 \times 10^4 \text{ Па.}$$

Подбор насосов:

Мощность насоса для подачи азота:

$$\text{Плотность среды: } \rho_1 := 1.94 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\text{Объёмный расход } V_{\text{о.в.}} := \frac{G}{\rho_1} = 1.191 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

к.п.д. зададимся: $\eta := 0.6$

$$N_{\text{нас}} := \frac{V_{\text{о.в.}} \cdot \Delta p_{\text{тр.пр}}}{1000 \eta} = 38.252 \text{ кВт}$$

Выбираем по [14, стр. 38] насос.

По значению мощности и высоте столба жидкости выбрали насос X90/85, $Q=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=56 \text{ м}$. столба жидкости, $n=48.3 \text{ с}^{-1}$, $\eta_H=0,65$, электродвигатель тип: АО2-81-2, $N_H=40 \text{ кВт}$.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Сравнение экономических и технических характеристик кожухотрубчатого теплообменника рассчитанного и импортного производства

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

Для проведения сравнительного анализа экономических и технических характеристик теплообменника рассчитанного и импортного производства необходимо выделить основные критерии, по которым можно судить.

Производительность теплообменника - массовое количество теплоносителей прошедших через оборудование в единицу времени, т.е. расход теплоносителей. А важным критерием производительности является **поверхность теплообмена**. По определению это двумерное топологическое многообразие, на котором происходит процесс теплообмена.

Удобство в эксплуатации - наличие условия, возможностей для лёгкого, необременительного использования аппарата. Основными показателями удобства являются: управляемость, обслуживаемость, освоенность, безопасность.

Помехоустойчивость - понятие, характеризующее способность аппарата противостоять искажающему действию помех. В данном случае помехой для нормального протекания процесса теплообмена являются загрязнения воды и отложения на стенках аппаратов.

Надёжность - свойство изделия выполнять свои функции, сохраняя во времени значения показателей качества неизменными или в заранее установленных пределах. Этот пункт связан с предыдущим.

Уровень шума - уровень звукового давления, в децибелах (дБ). В рамках производства это важный фактор, влияющий на здоровье персонала.

Безопасность - многозначное понятие, характеризующее в первую очередь защищённость и низкий уровень риска для человека, общества или любых других субъектов, объектов или их систем.

Ремонтопригодность - это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Доступность запасных частей. Этот критерий играет важную роль при обслуживании и ремонте аппаратов. Если запасные части редки или дороги, то это может негативно сказаться на ходе производственного процесса. Удорожить оборудование.

Габариты. Длина, ширина, высота. Необходимые параметры для расположения аппарата на производственной площадке.

Конкурентоспособность товара - способность продукции быть привлекательной по сравнению с другими изделиями аналогичного вида и назначения благодаря лучшему соответствию своих характеристик требованиям данного рынка и потребительским оценкам.

Предполагаемый срок эксплуатации – время, которое будет работать аппарат без серьёзных неисправностей.

Уровень проникновения на рынок - показатель того, насколько распространён данный образец на рынке.

Цена - стоимость готового аппарата с завода изготовителя.

Наглядное сравнение характеристика двух теплообменников представлена в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика теплообменников.

Характеристика	Кожухотрубчатый рассчитанный теплообменник (КРТ)	Кожухотрубчатый импортный теплообменник (КИТ)	Предпо- чтение
Поверхность теплообмена	181 м ²	90 м ²	КРТ
Расход теплоносителей	200 т/сутки	200 т/сутки	Одина- ково
Устойчивость к загрязнению	Устойчив. Загрязнения не мешают нормальному функционированию	Устойчив. Загрязнения не мешают нормальному функционированию	Одина- ково
Удобство в эксплуатации	<ul style="list-style-type: none"> • Управляемость • Обслуживаемость • Осваимость • Безопасность 	<ul style="list-style-type: none"> • Управляемость • Обслуживаемость • Осваимость • Безопасность 	Одина- ково
Уровень шума (без насосов)	65 дБ	50 дБ	КИТ
Надёжность	Конструктивная простота. Средний срок - высокий	Конструктивная простота. Средний срок - высокий	КРТ
Безопасность	Безопасен. Находится в тепловой изоляции	Безопасен. Находится в тепловой изоляции	Одина- ково
Ремонтопригодность	Прост и неприхотлив	Прост и неприхотлив	Одина- ково

Доступность запасных частей	Запасные части распространены и унифицированы	Запасные части распространены и унифицированы	Одинаково
Предполагаемый срок эксплуатации	15 лет	15 лет	Одинаково
Уровень проникновения на рынок	Распространён	Распространён	Одинаково

1.1 Оценка конкурентоспособности теплообменников

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты табл. 2. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения будут служить упомянутые выше критерии экономических и технических теплообменников. Но в данном случае необходимо детальной разобрать достоинства и недостатки двух типов теплообменников.

Производительность: Оба представленных аппарата имеют сопоставимый расход горячего и холодного теплоносителей. Порядка 200 м³/сутки. Площадь теплообмена для обоих аппаратов различна, рассчитанный превосходит импортный в 2 раза. **Удобство в эксплуатации:** Основными показателями удобства являются: управляемость, обслуживаемость, освоенность, безопасность. Оба аппарата в достаточной мере удовлетворяют приведенным требованиям. **Помехоустойчивость:** В кожухотрубчатом теплообменнике практически исключена проблема «забивания» из-за низкого качества воды, что

могло бы негативно сказаться на производительности.

Надёжность: Оба аппарата достаточно надёжны, кожухотрубчатый теплообменник благодаря своей простоте очень неприхотлив, а как следствие и весьма надёжен. Но импортный довольно долгое время находится в

эксплуатации, что не могло не сказаться на его надёжности **Уровень шума:**

Оба аппарата являются шумными, т.к. в цепочке с ними идут мощные насосы

Безопасность: Оба аппарата снабжены защитными кожухами.

Ремонтопригодность: Кожухотрубчатый теплообменник благодаря простоте своей конструкции очень прост и удобен при ремонте, сборке и разборке.

Доступность запасных частей : Для кожухотрубчатого теплообменника

детали широко распространены и дешевы. **Предполагаемый срок**

эксплуатации кожухотрубчатого аппарата более 15 лет, цена от 120 тыс.

рублей.

Таблица 2. Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого теплообменника

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бкт	Бпт	Ккт	Кпт
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	0,1	5	3	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,08	5	5	0,4	0,4
3. Помехоустойчивость	0,09	5	5	0,45	0,45
4. Надёжность	0,09	5	3	0,45	0,27
5. Уровень шума	0,06	5	5	0,24	0,24
6. Безопасность	0,07	5	5	0,35	0,35

7. Ремонтпригодность	0,08	5	5	0,4	0,4
8. Доступность запасных частей	0,09	5	5	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность	0,07	5	5	0,28	0,28
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Цена	0,07	4	4	0,28	0,28
4. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
ИТОГО	1	-	-	4,64	4,48

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

По результатам табл. 2 можно выразить только то, что рассчитанный превосходит импортный в поверхности теплообмена и надежности, т.к. импортный находится в эксплуатации с момента начала работы предприятия и довольно таки сильно устарел и, возможно, выработал свой ресурс.

1.2 Оценка расходов на наладку и монтаж кожухотрубчатого теплообменника.

В данном разделе рассматривается оценка расходов на закупку, монтаж, эксплуатацию и обслуживание аппарата.

В качестве единицы времени служит 1 смена = 8 часов. Заработная плата персонала за одну смену принимается 2000 рублей. При монтаже применяются специальные устройства типа талей, тельферов, домкратов, лебедок и такелажной оснастки. Затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание кожухотрубчатого теплообменника представлены в табл. 3.

Таблица 3. Затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание кожухотрубчатого теплообменника

Операция	Персонал и техника	Время	Цена, расходы (руб.)	Сумма
Приобретение				
Приобретение кожухотрубчатого теплообменника	-	-	120000	120000
Монтаж				
Установка бетонных опор	3 человека 1 тельфера	1/2 смены	Блоки: 2*1000 Работа: 3*1000	5000
Установка теплообменника	4 человека 2 тельферы и такелажная оснастка	1 смена	Работа: 4*2000	8000
Установка арматуры и датчиков	3 человека 1 тельфера	1 смена	Датчики: 4*10000 Арматура: 10000	56000

	1 таль		Работа:3*2000	
Наладка				
Испытания и доработка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Наладка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Обслуживание и ремонт				
Разборка, осмотр	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Ремонт и замена частей	3 человека	1-2 смены	Работа: 3*2000	6000
Сборка и испытание	3 человека	1 смена	Работа: 3*1000	6000
Наладка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Дополнительные расходы				
Запасные части и датчики	-	-	От 5000 до 50000	15000
Электроэнергия	-	-	2000	2000
ИТОГО:				230000

В приведенной выше таблице указана примерная оценка расходов на закупку, монтаж, эксплуатацию и обслуживание аппарата. Судить о разности расходов для теплообменника импортного и рассчитанного трудно, т.к. принцип обслуживания аппаратов идентичен, главным критерием замены является долгий срок эксплуатации импортного теплообменника, в следствие этого сниженная эффективность и надежность аппарата.

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 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[19]. Выявленные факторы перечислены в таблице 13.

Таблица 13. Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		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.Электрически й 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 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. 3. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 4. ГОСТ 12.1.003–83 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 2.2.4.1191-03 устанавливает требования к электромагнитным полям для потребительской продукции; 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. [20]

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 [21].

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) [22].

При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [22].

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). [22]

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. [22]

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.

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 . [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. Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [23] в таблице 14.

Таблица 14. 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[24].

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются [20]:

- 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 [25]. 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 [20]:

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. [20]

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, глубоколежащих 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.[26]

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).[26]

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. [26]

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 электробезопасности.[9]

Подвижные части производственного оборудования.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например двуручное управление), предотвращающие травмирование. [20]

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности. [20]

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие. [20]

Конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии.

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не

определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих. [20]

Части производственного оборудования (в том числе трубопроводы гидро-, паро-, пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания. [20]

Конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации.

Производственное оборудование должно быть пожаровзрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации. [20]

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. [28]

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. [28]

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите от ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.). [29]

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 вышеуказанных веществ. [29]

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. Оознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. [29]

Все горячие участки поверхностей оборудования и трубопроводов, находящиеся в зоне возможного попадания на них легко воспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ, должны быть покрыты металлической обшивкой для предохранения тепловой изоляции от пропитывания этими веществами.

Трубопроводы агрессивных, легко воспламеняющихся, 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. [29]

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 [30] 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[31]. 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 [32] 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. [35]

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.

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. [35]

Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций.

Действия персонала определяются «ПЛАС» УПП [35].

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 непроизвольному 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. [34]

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

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

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

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

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

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ.

В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

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

Заключение

В результате проделанной работы был проведен технологический расчёт, целью которого явилось определение поверхности теплообмена.

Проведён конструктивный расчёт, где был подобран стандартный теплообменник, а также штуцера для входа и выхода теплоносителей.

Проведён механический расчёт, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки, эллиптических днищ. Также в механическом расчёте были рассчитаны температурные деформации, подобраны фланцы и прокладки для обечаек и днищ. Кроме того, была рассчитана толщина трубной решетки, рассчитано развальцовочное соединения. Фланцевые соединения были рассчитаны на прочность и герметичность, проведён расчет необходимости укрепления отверстий.

Для аппарата были рассчитаны стандартные опоры.

Выбрана и рассчитана изоляция теплообменника. Произведен гидравлический расчет данного теплообменника.

Кроме того, в дипломной работе представлены разделы: « Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

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. Лашинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Л., «Машиностроение», 1970г., 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 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.
12. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-40с.
13. ГОСТ Р 52857.3-2007. Укрепление отверстий. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-29 с.
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. Инженерный справочник [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://tehtab.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
18. Каталог продукции [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://www.esbk.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
19. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[Текст]. – Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.- 4с.
20. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
22. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[Текст]. – утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1996. – 12 с.
23. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Текст]. – официальное издание М.: Стандартиформ, 2007- 4с. ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) [Текст]. –официальное издание М.: Стандартиформ, 2008-20 с.
24. Макаров Г.В. Охрана труда в химической промышленности.- М.:Химия,1989-496с.
25. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
26. Инструкция по охране труда по электробезопасности.
27. Экология и безопасность жизнедеятельности» Под редакцией доктора физ.-мат. наук, чл.-корр. РЭА, профессора Л.А. Муравья.
28. Руководство по эксплуатации. Теплообменники кожухотрубчатые.
29. РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.
30. 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.
31. Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003г.N313 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)».
32. Федеральный закон от 23 февраля 2013 г. N 15-ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака"
33. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”
34. Федеральный закон «О пожарной безопасности».
35. Требования по охране труда. Цех получения полипропилена. ТНХК.