

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
Установка для хранения пропилена с разработкой теплообменника

УДК 66.045.1:661.716

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Ан Владимир Вилорьевич	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметакхим, ОАО

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

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:

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
2К32	Карандашову Дмитрию Сергеевичу

Тема работы:

Установка для хранения пропилена с разработкой теплообменника	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	24.03.17 2056/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.17
------------------------------------------	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<u>Кожухотрубчатый теплообменник.</u> Производительность по пропилену: 300 т/ч; Поверхность теплообмена: 65 м ² ; <u>Теплоносители:</u> Горячий – пропилен: T _н =120 °С, T _к =40 °С; Холодный – оборотная вода: T _н =15 °С, T _к =40 °С; Давление в трубном пространстве: 0,1 МПа; Давление в межтрубном пространстве: 0,6 МПа; <u>Исполнение по материалу М1:</u> Кожух – 09Г2С, Распределительная камера – 09Г2С, Теплообменная труба – 10Г2, Трубная решётка – 110Г2. Режим работы: непрерывный; Требования к эксплуатации и обслуживанию: простота ремонта и доступность запчастей.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение; Описание технологической схемы; Технологический расчет; Конструктивный расчет; Механический расчет; Расчет тепловой изоляции; Гидравлический расчет; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение; Социальная ответственность; Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид теплообменника; Лист 3. Выносные элементы теплообменника.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Раденков Тимофей Александрович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.17г.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н.		01.02.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич		01.02.17

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Специальность	«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски	Расчет себестоимости готовой продукции
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования качества товарного пропилена.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности	
2. Расчет технико-экономических показателей	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		12.02.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич		12.02.17

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Энерго-ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочая зона – производственная площадка, с теплообменным аппаратом для охлаждения пропилена.</p> <p>Вредные факторы: утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу, превышение уровня шума, недостаточная освещенность рабочей зоны, отклонение от показателей микроклимата в помещении.</p> <p>Опасные факторы: разрушение аппарата под действие внутреннего избыточного давления, поражение электрическим током, возникновение взрывов и пожаров в результате работы с легковоспламеняющимися парами.</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»</p> <p>Федеральный закон №184-ФЗ «о техническом регулировании от 27 декабря 2002 года.</p> <p>Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Наличие вредных веществ (пропилен, этилен). Недостаточная освещенность помещений. Повышенный уровень шума. Негативные микроклиматические условия в холодное время года.</p> <p>Средства защиты коллективные и индивидуальные.</p>
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p>	<p>К опасным факторам относят оборудование с повышенной или пониженной температурой</p>

<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>поверхности, токоведущие части электрооборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи, молнезащита (необходимо заземление), возникновение пожара.</p> <p>Используемые средства защиты: перчатки, ухватыв, спецодежда.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Селитебная зона должна располагаться с наветренной стороны выше по течению реки. На окружающую среду воздействуют вредные вещества: пропилен, этилен. Химическое загрязнение водотоков в результате отмывания химических отходов в канализационную сеть. Необходимо осуществлять раздельный сбор и хранение отходов, подвергать их переработке, утилизации или захоронению.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясение.</p> <p>Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара. Для его ликвидации необходимо использовать огнетушитель, песок, азотное пожаротушение.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Каждому работающему с химические веществами выдаются средства индивидуальной защиты. Проводятся инструктажи, обучения. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович	-		11.03.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Карандашов Дмитрий Сергеевич		11.03.17

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит пояснительной записки, содержащей 134 с., 12 рис., 25 табл., 38 источников литературы и 4 листов графического материала формата А1.

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

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

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

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

Основные характеристики: производительность - 300 кг/ч; поверхность теплообмена: 65 м²; теплоносители: жидкость – обратная вода с давлением 0,1 МПа и пар - пропилен с давлением 0,6 МПа.

PAPER

Thesis consist of 134 p., 12 fig., 25 tab., 38 sources.

Keywords: shelltube heat exchanger; flange; pedestal; tube sheet; partition.

The object of the research is shelltube exchanger.

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

It was performed: the technological calculation; dimensioning calculation; mechanical calculation; check calculation; calculation of thermal insulation; hydraulic calculation.

The paper presents the areas: financial management, resource efficiency and resource conservation; social responsibility. Main features: capacity - 300 kg / h; heat exchange surface: 65 m²; heat transfer: fluid – circulating water with pressure of 0.1 MPa, and the steam - propylene pressure of 0.6 MPa.

Оглавление

Введение	17
1. Описание технологической схемы	18
2. Расчёт кожухотрубчатого теплообменника	19
2.1 Технологический расчёт теплообменника	19
2.2 Конструктивный расчёт теплообменника	27
2.2.1 Подбор стандартного теплообменника	27
2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей	29
2.3 Механический расчёт теплообменника	31
2.3.1 Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки	31
2.3.2 Определение температурных напряжений в трубах и корпусе	34
2.3.3 Расчет эллиптической крышки и днища на кожухе аппарата	36
2.3.4 Расчет толщины стенки распределительной камеры	38
2.3.5 Определение деформаций под действием давления	41
2.3.6 Расчет развальцовочного соединения	41
2.3.7 Расчет на прочность и устойчивость кожухотрубчатого теплообменного аппарата	43
2.3.8 Расчет трубной решетки	44
2.3.9 Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений	65
2.3.10 Расчет необходимости укрепления отверстий в цилиндрической части кожуха	82
2.3.11 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор	83
2.3.12 Расчет тепловой изоляции	98
2.3.13 Гидравлический расчет	99
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	102
3.1 Расчет производственной мощности	103
3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству	105
3.3 Расчет затрат на производство продукции	110
3.4 Расчет годовой потребности в электроэнергии	110
3.5 Расчет амортизационных отчислений	111
3.6 Определение цены готовой продукции	112
3.7 Анализ безубыточности по действующему производству	112

3.8 Определение технико-экономических показателей	114
4. Социальная ответственность	115
4.1 Производственная безопасность	115
4.2 Освещаемость	116
4.3 Превышение уровней шума	117
4.4 Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	118
4.5 Электробезопасность	118
4.6 Статическое электричество	119
4.7 Техника безопасности при работе с аппаратами, работающими под действием внутреннего избыточного давления	120
4.8 Безопасность в ЧС	128
4.9 Пожаровзрывоопасность	128
4.10 Чрезвычайные ситуации техногенного характера	130
Заключение	131
Список использованных источников	132

Введение

ООО «Томскнефтехим» - нефтехимическое предприятие в городе Томске, входит в состав ОАО «СИБУР Холдинг».

Предприятие выпускает полипропилен, полиэтилен высокого давления (ПЭВД), а также бутиленбутадиеновую фракцию, тяжелую смолу пиролиза, жидкие продукты пиролиза.

Продукция предприятия имеет широкий спрос в России и за рубежом. Остановимся на получении полипропилена.

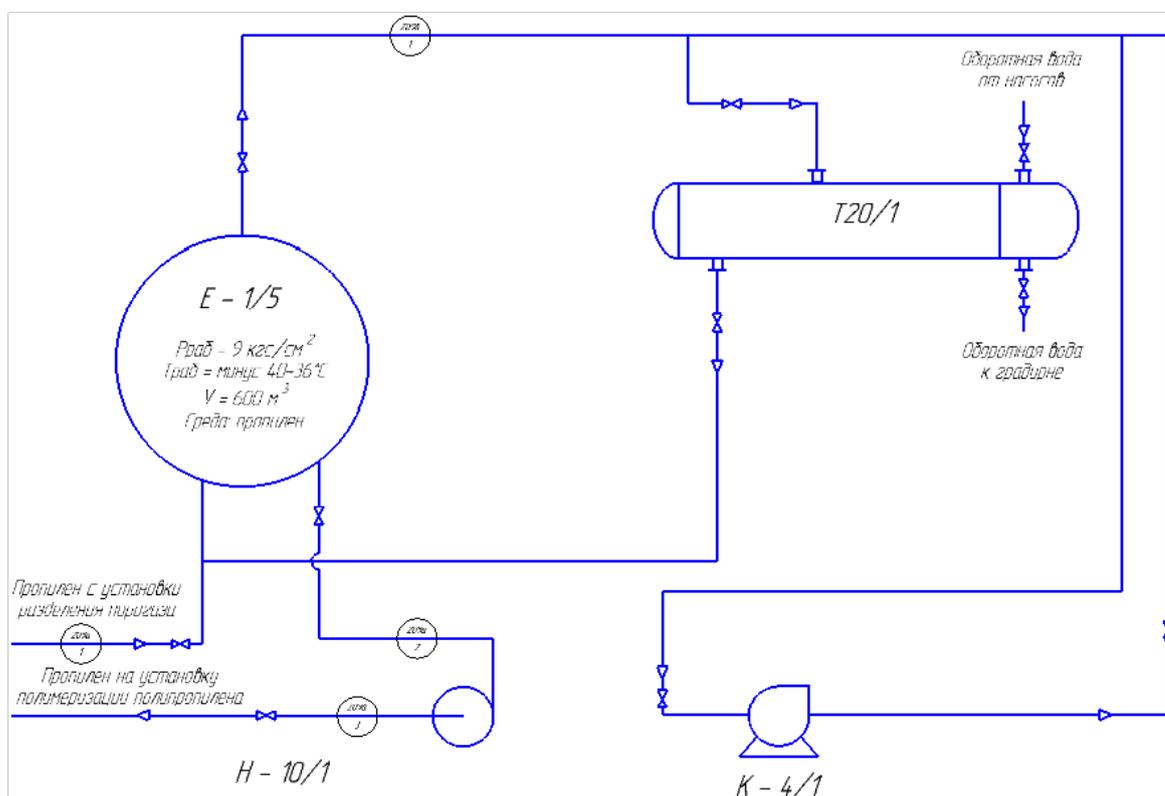
Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической отрасли промышленности. Удельный вес теплообменного оборудования составляет на предприятиях химической промышленности в среднем 15-18%, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 50%.

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.

1. Описание технологической схемы

Хранение пропилена осуществляется полуизотермическим способом в шаровом резервуаре Е-1/5 вместимостью 600 м³. Давление паров пропилена исключает возможность образования вакуума в шаровом резервуаре при температуре окружающего воздуха выше -40 °С, поэтому основной задачей технологической схемы при хранении является исключение повышения давления выше 0,9 МПа в теплое время года.

Понижение давления осуществляется за счет откачки паров пропилена из шарового резервуара Е-1/5 компрессором К-4/1 последующей их конденсацией в теплообменнике Т-20/1, дросселицией и возвращением в резервуар хранения. Паровая фаза из шарового резервуара Е-1/5 по трубопроводам 209 б/1, поступает во всасывающий трубопровод компрессора К-4/1. Компримированные пары пропилена по трубопроводу 209 б/1, подаются в теплообменник Т-20/1, где конденсируется и охлаждается оборотной водой. Сконденсированный пропилен дросселируется, проходя через клапан и по трубопроводу 209 а/1 возвращается в резервуар хранения Е-1/5.



Технологический расчет

Исходные данные:

Хладагент - вода:

Расход воды

$$G_{\text{воды}} := 0.26 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Температуры воды на входе

$$t_{\text{н.воды}} := 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура воды на выходе

$$t_{\text{к.воды}} := 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Давление воды

$$P_{\text{воды}} := 0.1 \text{ МПа}$$

Теплоемкость воды

$$c_{\text{воды}} := 4185 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

Температура пропилена на входе

$$t_{\text{н.проп}} := 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Теплоемкость пропилена при 40°C, согласно методике изложенной в [1]

$$c_{\text{проп40}} := 2759 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

Теплоемкость пропилена при 50°C, согласно методике изложенной в [1]

$$c_{\text{проп50}} := 2981 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

Теплоемкость пропилена при температуре 80°C

$$x := (40 \ 50)^{\text{T}}$$

$$y := (2759 \ 2981)^{\text{T}}$$

$$c_{\text{проп}} := (\text{linterp}(x, y, 80)) = 3.647 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Температура пропилена на выходе:

$$t_{\text{к.проп}} := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определим тепловую нагрузку в соответствии с заданными технологическими условиями [2]. Так как агрегатное состояние теплоносителя не изменяется, то:

$$G_{\text{ВОДЫ}} = 0.26 \text{ кг/с}$$

$$Q_{\text{ВОДЫ}} := G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{н.ВОДЫ}} - t_{\text{к.ВОДЫ}}) = -2.72 \times 10^4 \text{ Вт}$$

$$c_{\text{ВОДЫ}} = 4.185 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Также при передаче тепла возможны его потери в пределах 3-5%:

$$Q_{\text{П}} := 0.05 \cdot Q_{\text{ВОДЫ}} = -1.36 \times 10^3 \text{ Вт}$$

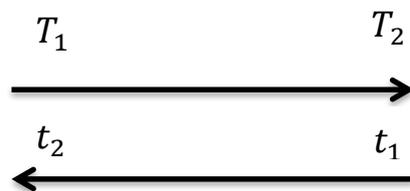
Суммарная тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_{\text{ВОДЫ}} + Q_{\text{П}} = -2.856 \times 10^4 \text{ Вт}$$

Найдем расход пропилена, необходимый для нагревания:

$$G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{н.ВОДЫ}} - t_{\text{к.ВОДЫ}}) = G_{\text{ПРОП}} \cdot (t_{\text{н.ПРОП}} - t_{\text{к.ПРОП}})$$

$$G_{\text{ПРОП}} := \left| \frac{Q_{\text{П}} + G_{\text{ВОДЫ}} \cdot c_{\text{ВОДЫ}} \cdot (t_{\text{н.ВОДЫ}} - t_{\text{к.ВОДЫ}})}{[c_{\text{ПРОП}} \cdot (t_{\text{н.ПРОП}} - t_{\text{к.ПРОП}})]} \right| = 0.098 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$



Определение средней разности температур согласно методике изложенной в [1]:

$$\Delta t_{\text{б}} := t_{\text{н.ПРОП}} - t_{\text{к.ВОДЫ}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{\text{к.ПРОП}} - t_{\text{н.ВОДЫ}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)} = 47.285 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура воды:

$$t_2 := 0.5 \cdot (t_{\text{н.ВОДЫ}} + t_{\text{к.ВОДЫ}}) = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура пропилена:

$$t_1 := t_2 + \Delta t_{cp} = 74.785 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Далее, на основании ориентировочной оценки коэффициента теплопередачи, приближенно определяем поверхность теплообмена, выбираем конкретный вариант конструкции, а затем проводим уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и требуемой поверхности.

Воду направим в трубное пространство, так как она дает загрязнения, а пропилен - в межтрубное пространство. Для удобства расчетов примем с индексом "Т" обозначения для трубного пространства и с индексом "МТ" - для межтрубного пространства. Значения теплофизических свойств теплоносителей при их средних температурах подбираем из справочника [18].

Теплофизические свойства пропилена :

Плотность

$$\rho_{MT} := 1.81 \text{ кг/м}^3$$

Теплопроводность

$$x := (40 \ 120)^T$$

$$y := (0.0191 \ 0.0291)^T$$

$$\lambda_{MT} := (\text{linterp}(x, y, t_1)) = 0.023 \text{ Вт/(м*К)}$$

Теплоемкость

$$c_{MT} := c_{проп} = 3.647 \times 10^3 \text{ Дж/(кг*К)}$$

Динамическая вязкость

$$x := (40 \ 120)^T$$

$$y := (0.000009 \ 0.00001128)^T$$

$$\mu_{MT} := (\text{linterp}(x, y, t_1)) = 9.991 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Теплофизические свойства охлаждающей воды согласно методике изложенной в [1].

Плотность

$$\rho_T := 983 \text{ кг/м}^3$$

Теплопроводность

$$\lambda_T := 0.65 \text{ Вт/(м*К)}$$

Теплоемкость

$$c_T := 4182 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

Динамическая вязкость

$$\mu_T := 0.469 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи принимаем по [1]. При свободном движении при теплопередачи от газа к жидкости (воде) рекомендуется принимать ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 6-20 Вт/(м²*К).

$$K_{\text{оп1}} := 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad K_{\text{оп2}} := 20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Ориентировочная поверхность теплопередачи:

$$F_{\text{max}} := \frac{|Q|}{K_{\text{оп1}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 100.675 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{min}} := \frac{|Q|}{K_{\text{оп2}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 30.202 \text{ м}^2$$

Согласно [36] принимаем одноходовый кожухотрубчатый теплообменник с неподвижной трубной решеткой со следующими размерами и параметрами: Поверхность теплообмена:

$$F := 41.6 \text{ м}^2$$

Диаметр трубок:

$$d := 25 \text{ мм}$$

Длина труб:

$$l := 2000 \text{ мм}$$

Площадь проходного сечения одного хода по трубам:

$$S := 0.0928 \text{ м}^2$$

Площадь проходного сечения между перегородками:

$$S_{\text{MT}} := 0.0525 \text{ м}^2$$

Объемные расходы теплоносителей:

$$V_{MT} := \frac{G_{\text{проп}}}{\rho_{MT}} = 0.054 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$V_T := \frac{G_{\text{ВОДЫ}}}{\rho_T} = 2.645 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определим скорость и критерий Рейнольдса для трубного пространства (воды) по [1]

$$\omega_T := \frac{V_T}{S} = 2.85 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$Re_T := \frac{\omega_T \cdot \left(\frac{d-4}{1000} \right) \cdot \rho_T}{\mu_T} = 125.45$$

Скорость и критерий Рейнольдса для межтрубного пространства (пропилен):

$$\omega_{MT} := \frac{V_{MT}}{S_{MT}} = 1.03 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$Re_{MT} := \frac{\omega_{MT} \cdot 0.025 \cdot \rho_{MT}}{\mu_{MT}} = 4.666 \times 10^3$$

Для потока в трубах при $Re < 10000$ значение t_{CT2} влияет на выбор вида расчетной формулы через посредство произведения GrPr. Зададимся значениями t_{CT1} и t_{CT2} , исходя из условия $t_1 < t_{CT1} < t_{CT2} < t_2$.

$$t_{CT.1} := 50^\circ\text{C}$$

$$t_{CT.2} := 70^\circ\text{C}$$

а) Коэффициент теплоотдачи для пропилена ($Re_{MT}=4666$)

Для воздуха и потоком трубного пучка, шахматном расположении труб, $Re \geq 1000$ применяется следующее соотношение, [1]:

$$Nu = 0.356 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re^{0.6}$$

Применительно к кожухотрубчатым теплообменникам с поперечными перегородками в вышеупомянутой формуле применяют коэффициент $\varepsilon_\phi = 0.6$, учитывая, что теплоноситель в межтрубном пространстве лишь часть пути движется поперек труб и при угле атаки, меньшем 90° , кроме того, он может протекать через щели между перегородками и кожухом или трубами, [1]

$$\varepsilon_\phi := 0.6$$

Тогда

$$Nu_1 := 0.4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_{MT}^{0.6} = 38.156$$

$$\alpha_1 := \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_{\text{MT}}}{0.025} = 35.788 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

б) Коэффициент теплоотдачи для воды ($\text{Re}_T=125.5$)

Для выбора расчетной формулы определим произведение (GrPr) при определяющей температуре - средней температуре пограничного слоя, [1]:

$$t_2 := 0.5(t_{\text{сг.2}} + t_2) = 48.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Физические свойства воды при температуре 40 °C, [1]

Плотность

$$x := (40 \ 50)^T$$

$$y := (988 \ 983)^T$$

$$\rho_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 983.625 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вязкость

$$x := (40 \ 50)^T$$

$$y := (0.000549 \ 0.000470)^T$$

$$\mu_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 4.799 \times 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Теплопроводность

$$x := (40 \ 50)^T$$

$$y := (0.648 \ 0.659)^T$$

$$\lambda_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 0.658 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Теплоемкость

$$x := (40 \ 50)^T$$

$$y := (4180 \ 4180)^T$$

$$c_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 4.18 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Коэффициент объемного расширения жидких веществ

$$x := (40 \ 60)^T$$

$$y := (0.00039 \ 0.00053)^T$$

$$\beta_2 := (\text{linterp}(x, y, t_2)) = 4.512 \times 10^{-4} \text{ К}^{-1}, [1]:$$

Критерий Прандтля:

$$Pr_2 := \frac{\mu_2 \cdot c_2}{\lambda_2} = 3.05$$

$$g := 9.8 \frac{m}{c^2}$$

$$Gr_2 := \frac{g \cdot 0.021^3 \cdot \rho_2^2 \cdot \beta_2 \cdot (t_{ст.2} - 56)}{\mu_2^2} = 2.409 \times 10^6$$

$$Pr_2 \cdot Gr_2 = 7.348 \times 10^6$$

По [1] определяем расчетную формулу нахождения критерия Nu.
Так как у нас протекает процесс охлаждения, то принимаем по [1]
 $n := 0.25$

$$Nu_2 := 0.037 \cdot Re_T^{0.75} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu_T}{\mu_2} \right)^n = 2.161$$

$$\alpha_2 := \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{0.021} = 67.678 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коэффициент теплопередачи:

Принимаем:

$$r_1 := 2800 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \text{ - тепловая проводимость загрязнений со стороны}$$

пропилена [1]

$$r_2 := 2900 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \text{ - тепловая проводимость загрязнений со стороны воды}$$

среднего качества [1]

$$\lambda_{ст} := 17.5 \text{ - Вт/м}^2 \cdot К \text{ - теплопроводность нержавеющей стали, [1]}$$

$$l_{ст} := 0.002 \text{ м - толщина труб}$$

Найдем общее термическое сопротивление:

$$R_{ПТ} := \frac{1}{r_1} + \frac{l_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_2} = 8.163 \times 10^{-4} \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + R_{ПТ} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{ПТ} + \frac{1}{\alpha_2}} = 22.97 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Поверхностная плотность теплового потока:

$$q := K \cdot \Delta t_{cp} = 1.086 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Уточняем значения :

$$t_{ст1} := t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 44.435 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ст2} := t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 64.799 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Имеем несущественное расхождение между полученными и принятыми значениями температур стенок, что никак не влияет на коэффициент теплоотдачи α_1 .

Расчетная поверхность теплопередачи:

$$F_p := \frac{|Q|}{K \cdot \Delta t_{cp}} = 26.297 \text{ м}^2$$

Рассчитаем по [1] запас поверхности теплообмена, согласно принятому нами теплообменнику:

$$\Delta F := \frac{F - F_p}{F} \cdot 100 = 36.786 \% , \text{запас поверхности теплообмена нам вполне}$$

2.2 Конструктивный расчет

2.2.1 Подбор стандартного теплообменника

Выбор стандартного теплообменника проводится по методике, изложенной в [4]

Исходные данные:

Давление в корпусе, МПа	$P_K := 0.6$
Давление в трубах и распределительной камере, МПа	$P_{Tp} := 0.1$
Расход смеси в трубках, кг/с	$\underline{G} := 0.26$
Плотность смеси в трубках, кг/м ³	$\rho := 983$
Внутренний диаметр трубок, м	$d_B := 0.021$
Наружный диаметр трубок, м	$d_H := 0.025$
Расчетная поверхность теплообмена, м ²	$\underline{F} := 26.3$

Скорость движения в трубках

$$\omega := \frac{G}{\rho \cdot 0.785 \cdot d_B^2 \cdot 25} = 0.031$$

$$\omega = 0.031 \quad \text{м/с}$$

Площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G}{\rho \cdot \omega} = 8.655 \times 10^{-3} \quad \text{м}^2$$

Число трубок одного хода:

$$n_1 := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_B^2} = 25$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$\alpha_{\text{тр}} := 125.5$ коэффициент теплоотдачи в трубном пространстве, Вт/м²*К

$\alpha_{\text{мтр}} := 4666$ коэффициент теплоотдачи в межтрубном пространстве, Вт/м²*К

Поскольку:

$$\alpha_{\text{тр}} < \alpha_{\text{мтр}}$$

То принимаем:

$$d_p := d_B$$

$$L := \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 15.946 \quad \text{м}$$

Принимаем рабочую длину трубок

$$l := 4 \quad \text{м}$$

Число ходов трубного пространства:

$$Z := \frac{L}{l} = 3.986$$

Принимаем

$$Z := 4 \quad \text{хода}$$

Количество труб на трубной решетке рассчитываем по формуле:

$$n := Z \cdot n_1 = 100$$

Диаметр теплообменника находим из соотношения:

$$d_{\text{тр}} := 25 \quad \text{мм}$$

Коэффициент заполнения трубной решетки

$$\eta := 0.8$$

Шаг в расположении труб в трубной решетке

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

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 393.548 \quad \text{Н*м}$$

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по [15]

$$D_{\text{вн}} := 600 \quad \text{мм}$$

$$Z := 4$$

$$n := 206$$

$$F := 65 \quad \text{м}^2$$

Длина труб:

$$l := 4000 \quad \text{мм}$$

Длина распределительной камеры:

$$h := 300 \quad \text{мм}$$

Общая высота кожухотрубчатого теплообменника:

$$H := l + 1 \cdot h = 4.3 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей

Внутренние диаметры штуцеров рассчитываются по формуле [1]

Расход охлаждаемого пропилена, кг/с $G_{\text{с}} := 0.098$

Расход охлаждающей воды, кг/с $G_{\text{д}} := 0.26$

Плотность пропилена, кг/м³ $\rho_{\text{б}} := 2.83$

Плотность воды, кг/м³ $\rho_{\text{и}} := 983$

Скорость пропилена, м/с $\omega_1 := 1.03$

Скорость воды, м/с $\omega_2 := 15.85 \cdot 10^{-3}$

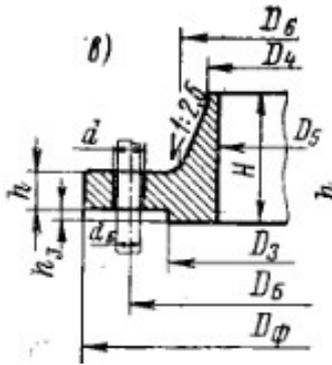


Рисунок 1 - Фланец арматуры, соединительных частей из чёрных металлов, цельный

1. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода пропилена:

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{вн.шт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_s}{\pi \cdot \omega_1 \cdot \rho_b}} = 0.207 \quad \text{мм} \quad \text{при давлении } 0.6 \text{ МПа}$$

Расчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубных т/о. Согласно [6], подбираем патрубки.

Принимаем $d_{\text{вн.шт}} = 250 \text{ мм}$

2. Внутренний диаметр штуцеров для подвода и отвода воды.

Диаметр штуцера равен:

$$d_{\text{вн.шт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot \omega_2 \cdot \rho_i}} = 0.146 \quad \text{мм} \quad \text{при давлении } 0.1 \text{ МПа}$$

Расчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубных т/о. Согласно [6], подбираем патрубки.

Принимаем $d_{\text{вн.шт}} = 150 \text{ мм}$

Таблица 1 - Основные размеры фланцевого соединения
 $D_y=(150, 250, 600)$ мм

p_y , МПа	Размеры, мм										Число от- верстий z	
	D_y	D_ϕ	D_B	D_1	D_2	D_4	D_6	h	h_1	h_2		d
$\leq 0,25$	250	370	335	312	304	273	279	18	18	20	18	12
	150	260	225	202	192	161	164	13	16	16	18	8
	600	755	705	670	662	630	—	20	—	—	27	20

2.3 Механический расчет

2.3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [5,3,10], в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8].

$$d_{\text{норм}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot \omega_2 \cdot \rho_i}} = 0.146 \text{ мм} \quad \text{при давлении } 0.1 \text{ МПа}$$

Исходные данные:

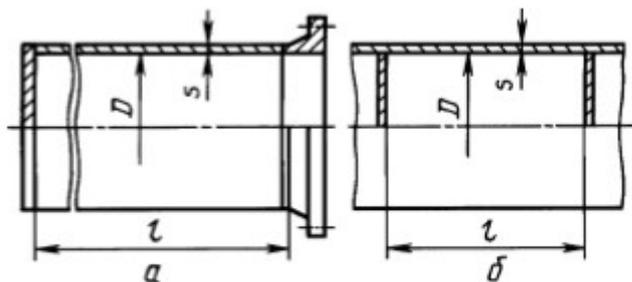
Внутренний диаметр, мм $D := 600$

Рабочее давление, МПа $P := 0.6$

Температура среды внутри аппарата, °С $t_c := 120$

Скорость коррозии, мм/год $\Pi := 0.2$

Срок эксплуатации, лет $\tau_{\text{в}} := 15$



a — обечайка с фланцем или с плоским днищем;
 b — обечайка с жесткими перегородками

Рисунок 2 - Гладкие цилиндрические обечайки с приварными плоскими элементами

Обоснование выбора стали 09Г2С согласно, [17]

Так как теплообменник устанавливается на открытой площадке выбор стали для кожуха теплообменника обоснован в первую очередь хладостойкостью данной стали, сталь может использоваться с рабочей температурой от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+475\text{ }^{\circ}\text{C}$, относится к морозостойким, углеродистым, низколегированным сталям. Обладает легкой свариваемостью и высокой механической прочностью.

Выбор стали для теплообменных труб обоснован использованием рабочей температурой от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$, относится к морозостойким, углеродистым, низколегированным сталям.

Расчетная температура стенки обечайки

$$t_w := t_c$$

$$t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, определим согласно с [7]:

$$\sigma_d := 174\text{ МПа}$$

При гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{T20} := 300\text{ МПа}\quad \text{для стали марки 09Г2С при температуре } 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Согласно примечанию [7] значение предела текучести принимаем:

$$\sigma_{\text{И}} := \frac{\sigma_{T20}}{1.1}$$

$$\sigma_{\text{И}} = 272.727\text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

Так как рабочее давление маленькое, пренебрегаем и принимаем, что:

$$P_p := P$$

$$P = 0.6 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{д20} := 196 \quad \text{МПа для стали 09Г2С при температуре } 20^{\circ}\text{C, по [7]}$$

Пробное давление при гидравлическом

$$P_{и} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}}$$

$$P_{и} = 0.845 \quad \text{МПа}$$

В соответствии с [10] исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем в соответствии с формулой:

$$s \geq s_p + c$$

Коэффициент прочности продольных сварочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы, выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [7]:

$$\phi_p := 1$$

Прибавки к расчетной толщине стенки:

$$c_k := \Pi \cdot t_{в}$$

$$c_{э} := 0 \quad \text{для компенсации эрозии}$$

$$c_1 := c_k + c_{э}$$

$$c_2 := 0 \quad c_2 \text{ - поправка на минусовое отклонение}$$

$$c_3 := 0.1 \quad \text{на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях}$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad c = 3.1 \quad \text{так как } c < 3.5, \text{ то округляем его до } 3$$

$$c_{\text{ww}} := 3 \quad \text{мм}$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{II} \cdot \phi_p - P_{II}} \right) \right) \quad s_p = 1.036 \quad \text{мм}$$

$$c_0 := 0$$

$$s := s_p + c + c_0 = 4.036$$

С учетом запаса прочности округляем до 8 мм

$$s := 8 \quad \text{мм}$$

Так как $\frac{s - c}{D} = 8.333 \times 10^{-3}$

< 0.1, условия применения формул выполняются. Согласно с [10].

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$P_d := \frac{[2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s - c)]}{D + (s - c)} = 2.876 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление для гидравлических испытаний

$$P_{ди} := \frac{[2 \cdot (\sigma_{II}) \cdot \phi_p \cdot (s - c)]}{D + (s - c)} = 4.508 \quad \text{МПа}$$

По условию рабочее давление $P = 0.6$ МПа, а рассчитанное допускаемое давление $P_d = 2.67$ МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку рабочим давлением $P = 0,6$ МПа.

2.3.2 Определение температурных напряжений в трубах и корпусе

Расчет проводим по методике указанной в [4]

$$\alpha_T := 12.6 \cdot 10^{-6} \quad \text{Коэффициент линейного расширения для стали ст10Г2, } K^{-1}$$

$$\alpha_K := 12.6 \cdot 10^{-6} \quad \text{Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С, } K^{-1}$$

$$t_K := 80 \quad \text{Температура кожуха, } ^\circ C$$

$t_T := 28$	Температура труб, °C
$E_K := 1.89 \cdot 10^5$	Модуль продольной упругости материала корпуса, МПа
$E_T := 1.96 \cdot 10^5$	Модуль продольной упругости материала труб, МПа
$d_{\text{вн}} := 0.025$	Наружный диаметр трубок, м
$d_{\text{вн}} := 0.021$	Внутренний диаметр трубок, м
$n = 206$	Количество трубок
$D_{\text{вн}} := 0.600$	Внутренний диаметр кожуха, м
$D_{\text{н}} := 0.616$	Наружный диаметр кожуха, исходя из толщины стенки, м

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0.015 \quad \text{м}^2$$

$$F_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot n = 0.03 \quad \text{м}^2$$

Исходя из условий посчитаем температурные напряжения в корпусе и в трубах:

$$\sigma_K := \frac{|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K| \cdot E_K \cdot E_T \cdot F_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 82.833 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_T := \frac{|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K| \cdot E_K \cdot F_K \cdot E_T}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 42.518 \quad \text{МПа}$$

$\sigma_{K1} := 162$ Допускаемое напряжение для стали 09Г2С, МПа

$\sigma_{T1} := 134$ Допускаемое напряжение для стали 10Г2, МПа

Исходя из того, что температурные напряжения в корпусе и трубах, меньше допускаемых напряжений в корпусе и трубах, выбираем теплообменник типа ТН.

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по [15]

$$D_{\text{вн}} := 600 \quad \text{мм}$$

$Z := 4$ хода
 $D_{\text{вн}} := 616$ мм
 $n := 206$ шт
 $F := 41.6$ м²
 $l := 6000$ мм
 $d_{\text{вн}} := 0.021$ м
 $d_{\text{вн}} := 0.025$ м
 $h := 300$ мм
 $\Delta F := 36.8$ %

2.3.3 Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища на кожухе аппарата

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [5,7,10], в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8]

Внутренний диаметр аппарата

$D := 600$ мм

Рабочее давление

$P := 0.1$ МПа

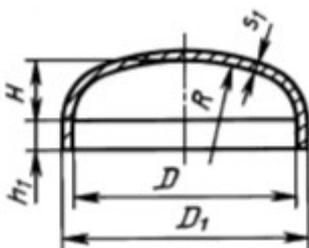


Рисунок 3 - Эллиптическое днище

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в [10]

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

$$h := 0.25 \cdot D$$

где h это высота эллиптической крышки

$$h = 150 \text{ мм}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании

$$P_{И} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}}$$

$$P_{И} = 0.141 \text{ МПа}$$

Расчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{э.p} := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_p - 0.5P} \right), \left(\frac{P_{И} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{И} \cdot \phi_p - 0.5P_{И}} \right) \right)$$

$$s_{э.p} = 0.172 \text{ мм}$$

$$S_{э} := s_{э.p} + c_{к} \quad S_{э} = 3.172 \text{ мм}$$

С учетом запаса прочности округляем до 8 мм

$$S_{э} := 8 \text{ мм}$$

Определим допускаемое давление

В рабочем состоянии

$$P_{д} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_p \cdot (S_{э} - c_{к})}{D + 0.5(S_{э} - c_{к})} \quad P_{д} = 2.888 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \Phi_p \cdot (S_{\text{э}} - c_{к})}{D + 0.5(S_{\text{э}} - c_{к})} \quad P_{д.и} = 4.527 \text{ МПа}$$

Применимость формул по [10]

$$\frac{S_{\text{э}} - c_{к}}{D} = 8.333 \times 10^{-3} \quad (0.002 < 5.75 \times 10^{-3} < 0.1)$$

Формулы применимы

Поскольку у нас с двух сторон к аппарату привариваются эллиптические днища, то одного расчета для двух элементов будет достаточно

2.3.4 Расчет толщины стенки распределительной камеры

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [5,7,10], в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8]

Исходные данные:

Внутренний диаметр, мм

$$\underline{D} := 600$$

Рабочее давление, МПа

$$\underline{P} := 0.1$$

Температура среды внутри аппарата, °C

$$\underline{t_{\text{св}}} := 40$$

Скорость коррозии, мм/год

$$\underline{\Pi} := 0.2$$

Срок эксплуатации, лет

$$\underline{\tau_{\text{в}}} := 15$$

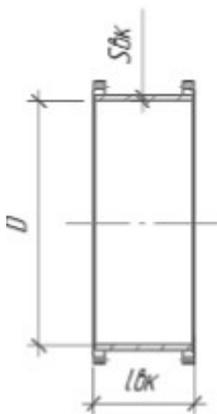


Рисунок 4 - Распределительная камера

Расчетная температура стенки обечайки

$$t_w := t_c$$

$$t = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, определим согласно [7]

$$\sigma_{\text{дв}} := 191 \text{ МПа}$$

При гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{\text{дв}20} := 300 \text{ МПа для стали марки 09Г2С при температуре } 20^\circ\text{C}$$

Согласно примечанию [7] значение предела текучести принимаем:

$$\sigma_{\text{и}} := \frac{\sigma_{\text{Т}20}}{1.1}$$

$$\sigma_{\text{и}} = 272.727 \text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

$$P = 0.1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := 196 \text{ МПа для стали 09Г2С при температуре } 20^\circ\text{C, по [7]}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании

$$P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma_{\text{д}}} \quad P_{\text{и}} = 0.128 \text{ МПа}$$

В соответствии с [4, с.7] исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем в соответствии с формулой:

$$s \geq s_p + c$$

Коэффициент прочности продольных сварочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы, выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [10]:

$$\phi_{\text{ш}} := 1$$

Прибавки к расчетной толщине стенки:

$$c_{kv} := P \cdot T_B$$

$$c_0 := 0 \quad \text{для компенсации эрозии}$$

$$c_1 := c_K + c_0$$

$$c_2 := 0 \quad c_2 \quad \text{поправка на минусовое отклонение}$$

$$c_3 := 0.1 \quad \text{на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях}$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad c = 3.1 \quad \text{так как } c < 3.5, \text{ то округляем его до } 3$$

$$c := 3 \quad \text{мм}$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок распределительной камеры

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_i \cdot \phi_p - P_i} \right) \right) \quad s_p = 0.157 \quad \text{мм}$$

$$c_0 := 0$$

$$s := s_p + c + c_0$$

$$s = 3.157$$

С учетом запаса прочности округляем до 8 мм

$$s := 8 \quad \text{мм}$$

$$\text{Так как } \frac{s - c}{D} = 8.333 \times 10^{-3}$$

< 0.1, условия применения формул выполняются. Согласно с [10].

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$p_{\text{Д}} := \frac{[2 \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot \Phi_{\text{Р}} \cdot (s - c)]}{D + (s - c)} = 3.157 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для гидравлических испытаний

$$p_{\text{ДД}} := \frac{[2 \cdot (\sigma_{\text{И}}) \cdot \Phi_{\text{Р}} \cdot (s - c)]}{D + (s - c)} = 4.508 \text{ МПа}$$

2.3.5 Определение деформаций под действием давления

Расчет проводим по методике, изложенной в [4]

$$P_{\text{T}} := 0.1 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{К}} := 0.6 \text{ МПа}$$

$$D_{\text{ВН}} := 0.600 \text{ м}$$

$$n := 206 \text{ шт}$$

$$d_{\text{В}} := 0.021 \text{ м}$$

$$d_{\text{Н}} := 0.025 \text{ м}$$

$$Q := P_{\text{К}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{ВН}} - n \cdot d_{\text{Н}})^2 + P_{\text{T}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{В}}^2}{4} = 0.222 \text{ МН}$$

2.3.6 Расчет развальцовочного соединения

Температурные напряжения в трубках

$$\sigma_{\text{T}} = 42.518 \text{ МПа}$$

Площадь трубной решетки:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{Н}}^2}{4} = 1.386 \times 10^3 \text{ м}^2$$

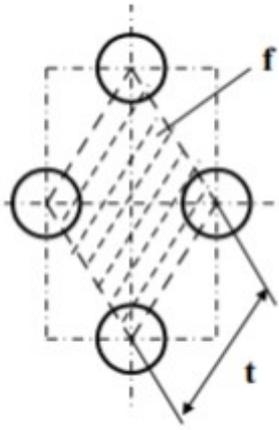


Рисунок 5 - Схема к расчету развальцовочного соединения

Усилие на одну трубу от давления при условии равномерного распределения нагрузки на трубы

$$q := \frac{Q}{n} = 1.078 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы

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

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 6.144 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Тогда, суммарное усилие будет равно:

$$q_C := q + q_T = 7.223 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 0.014 \quad \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad < [\sigma_0] = 0.04 \quad \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

Выбираем гладкую развальцовку

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

$$\sigma_C := \frac{q_C}{\pi \cdot d_H} = 0.092 \quad \frac{\text{МН}}{\text{м}} \quad < [\sigma_C] = 12 \quad \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

2.3.7 Расчет на прочность и устойчивость кожухотрубчатого теплообменного аппарата

Расчет проводим по методике, изложенной в [16]

Наружный диаметр кожуха, мм	$D := 616$
Толщина стены кожуха, мм	$s_K := 8$
Рабочее давление в межтрубном пространстве, МПа	$P_{\text{Меж}} := 0.6$
Длина трубок, мм	$L_{\text{Тр}} := 6000$
Наружный диаметр трубок, мм	$d_T := 25$
Толщина стенки трубок, мм	$s := 2$
Рабочее давление в трубках, МПа	$P_{\text{Тр}} := 0.1$
Температура в трубках, °С	$T_{\text{Тр}} := 28$
Температура в меж-стве, °С	$T_{\text{Меж}} := 80$
Число трубок	$i := 206$
Исполнение по материалу	тип := "М17"

Таблица 2 – Исполнение теплообменника по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Распред-камера	Теплообменная труба	Трубная решетка
М17	09Г2С	09Г2С	10Г2	10Г2

2.3.8 Расчет трубной решетки

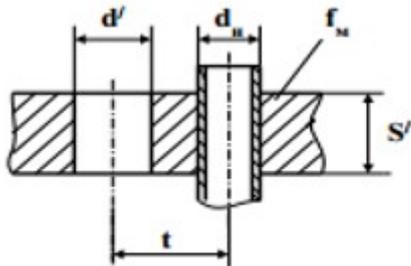


Рисунок 6 - Схема расчета трубных решеток

Вспомогательные величины

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки вычисляют по формуле:

$$a := \frac{D}{2} - s_k = 300 \quad \text{внутренний радиус кожуха, мм}$$

$$a_1 := \frac{616 - 25}{2} = 295.5 \quad \text{расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, мм, определяется по [15]}$$

$$m_n := \frac{a}{a_1}$$

$$m_n = 1.015$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:

-со стороны межтрубного пространства:

Наружный диаметр трубок

$$d_n := 25 \quad \text{мм}$$

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2}$$

$$\eta_M = 0.631$$

-со стороны трубного пространства:

толщина стенки трубы

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 a_1^2}$$

$$\eta_T = 0.74$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле:

$E_{\text{труб}}$:= $1.94 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости материала труб, МПа

l := 1000 расстояние между перегородками в межтрубном пространстве, мм

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l}$$

$$K_y = 21.053 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

$E_{\text{кожух}}$:= $1.90 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости материала кожуха, МПа

$s_{\text{кожух}}$:= 8 толщина стенки кожуха, мм

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости

кожуха вычисляют по формуле:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_K \cdot s_K}$$

$$\rho = 4.093$$

$$K_{q1} := 0$$

$$K_{p1} := 0$$

$$K_q := 1 + K_{q1}$$

$$K_p := 1 + K_{p1}$$

$$K_q = 1$$

$$K_p = 1$$

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

Коэффициент системы решетка - трубы вычисляют по формуле:

Таблица - 3 Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

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

Толщина трубной решетки:

$$s_{p1} := 30 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты:

$\eta_T = 0.74$ коэффициенты влияния давления на трубную решетку со стороны трубного пространства.

$\psi_0 := 0.44$ коэффициент прочности перфорированной трубы.

$E_p := 1.94 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости материала трубной решетки, МПа

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.018$$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы вычисляют по формуле:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 5.258$$

Коэффициенты ослабления трубной решетки ϕ_r , ϕ_E , перфорированной плиты ψ_0 , а также коэффициенты системы кожух - решетка β_1 , обечайка — фланец камеры β_2 и коэффициенты жесткости фланцевого соединения при изгибе K_f приведены в приложениях Б—Е.

Расчет производится по [16, приложению Б]

Коэффициенты влияния перфорации на параметры трубной решетки

Б.1 Коэффициент ослабления трубной решетки при расчете кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками и компенсатором на кожухе вычисляют по формуле

$$d_o := 25.7 \quad \text{диаметр отверстия в решетке, мм}$$

$$t_p := 1.2 \cdot d_T + 2$$

$$t_p = 32 \quad \text{шаг расположения отверстий в решетке, мм}$$

$$\phi_p := 1 - \frac{d_o}{t_p}$$

$$\phi_p = 0.197$$

Расчет производится по [16, приложению В]

Определение коэффициентов системы кожух — решетка, обечайка — фланец камеры и коэффициента жесткости фланцевого соединения при изгибе.

Коэффициенты системы кожух — решетка, обечайка — фланец камеры и коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе вычисляют по формулам:

$$s_1 := s_K$$

$$s_1 = 8 \quad \text{толщина кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем, мм}$$

$$s_2 := 8 \quad \text{толщина стенки распределительной камеры в месте соединения с трубной решеткой или фланцем, мм}$$

$$D_H := 755 \quad \text{диаметр фланца, мм}$$

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4}$$

$$R_1 = 342.75 \quad \text{радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм}$$

$$E_D := 2.003 \cdot 10^5 \quad \text{модуль упругости материала распределительной камеры, МПа}$$

Так как диаметр распределительной камеры и кожуха равны, то:

$$R_2 := R_1$$

Так как фланец распределительной камеры выполнен из того же материала что и фланец для кожуха, следовательно:

$$E_1 := 2.003 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

$$E_2 := E_1$$

$$h_1 := 27 \quad \text{толщина тарелки фланца кожуха, мм}$$

$$h_2 := 27 \quad \text{толщина тарелки фланца распределительной камеры, мм}$$

$$B_1 := 600 \quad \text{мм}$$

$$B_2 := 605 \quad \text{мм}$$

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}}$$

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_2}}$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1}$$

$$K_2 := \frac{\beta_2 \cdot a \cdot E_D \cdot s_2^3}{5.5 \cdot R_2}$$

$$K_{\phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right)$$

$$K_{\phi 1} = 2.236 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

$$K_{\phi 2} := \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot B_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2} \right)$$

$$K_{\phi 2} = 2.28 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

$$K_{\phi} := K_{\phi 1} + K_{\phi 2}$$

$$K_{\phi} = 4.516 \times 10^6 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

Расчет производится по [16, приложению Е]

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой

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

- для гладкозавальцованных труб:

$\sigma_p := 180$ допускаемое напряжение для трубной решетки, МПа

$\sigma_{dp} := 180$ допускаемое напряжение для труб, МПа

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

$$l_B := s_p$$

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой:

$$N_{dtp} := \left[0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{dp}, \sigma_p) \right]$$

$$N_{dtp} = 1.561 \times 10^4 \text{ Н}$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата
Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$t_k := 80$ средняя температура стенки кожуха, °С

$t_0 := 20$ температура сборки аппарата, °С

$t_T := 28$ средняя температура стенок труб, °С

$\alpha_k := 12.6 \cdot 10^{-6}$ коэффициент линейного расширения материала кожуха, для стали 09Г2С по [7]

$\alpha_{T1} := 12.6 \cdot 10^{-6}$ коэффициент линейного расширения материала труб, для стали 10Г2 [7]

$$\alpha_T := \alpha_k$$

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

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a1^2}$$

$$m_{cp} = 0.187$$

$$p_T := P_{Tp} = 0.1 \quad \text{расчетное давление в трубном пространстве, МПа}$$

$$p_M := P_{Меж} = 0.6 \quad \text{расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа}$$

$$p_0 := \left[\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0) \right] \cdot K_y \cdot l + \left[\begin{array}{l} \eta_T - 1 \dots \\ + m_{cp} \dots \\ + m_n \cdot \left(\begin{array}{l} m_n \dots \\ + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q \end{array} \right) \end{array} \right] \cdot p_T - \left[\begin{array}{l} \eta_M - 1 \dots \\ + m_{cp} \\ + m_n \cdot \left(\begin{array}{l} m_n \dots \\ + 0.3 \cdot \rho \end{array} \right) \end{array} \right] \dots$$

$$p_0 = 12.84 \quad \text{МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1}$$

$$\rho_1 = 3.809$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Ф1, Ф2, Ф3, определяют по таблице 4.

Таблица 4 - Коэффициенты Φ_1, Φ_2, Φ_3

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

Окончание таблицы 4

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

$$\Phi_1 := 9.08$$

$$\Phi_2 := 6.15$$

$$\Phi_3 := 8.81$$

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

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

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) \quad t = 1.112$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] \quad T_1 = 10.302$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t \quad T_2 = 6.839$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n \quad T_3 = 8.944$$

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

- для изгибающего момента, Н*мм/мм:

Коэффициент влияния давления на изгиб 1 и 2 го фланца, мм²:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} \quad m_1 = 1.219 \times 10^3$$

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2} \quad m_2 = 1.219 \times 10^3$$

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) \quad p_1 = 0.16$$

- для изгибающего момента, Н*мм/мм:

$$M_{II} := \left(\frac{a1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2}$$

$$M_{II} = -1.038 \times 10^4$$

- для перерезывающей силы, Н/мм:

$$Q_{II} := a1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2}$$

$$Q_{II} = 351.36$$

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

- для изгибающего момента, Н*мм/мм:

$$M_a := M_{II} + (a - a1) \cdot Q_{II}$$

$$M_a = -8.802 \times 10^3$$

- для перерезывающей силы, Н/мм:

$$Q_a := m_n \cdot Q_{II}$$

$$Q_a = 356.71$$

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

- для осевой силы, Н:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right]$$

$$N_T = 1.066 \times 10^4$$

- для изгибающего момента, Н*мм/мм:

$$J_T := \frac{\pi \cdot d_T^4}{64} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_T - 2 \cdot s_T}{d_T} \right)^4 \right]$$

$$J_T = 9.628 \times 10^3 \quad \text{мм}^4$$

$$l_{1R} := 1000 \quad \text{мм}$$

$$l_{\text{пр}} := \frac{l_{1R}}{3} = 333.333 \quad \text{мм}$$

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

$$M_T = 1.305 \times 10^4$$

Усилия в кожухе вычисляются по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха, Н/мм:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_{\Pi}$$

$$Q_K = -336.36 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, Н*мм/мм:

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{\Pi} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{\Pi}) - \frac{p_M}{2 \cdot \beta_1^2}$$

$$M_K = 511.747$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух, Н:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K$$

$$F = -6.509 \times 10^5$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции
Расчетные схемы присоединения решетки к кожуху приведены

на рисунке 7.

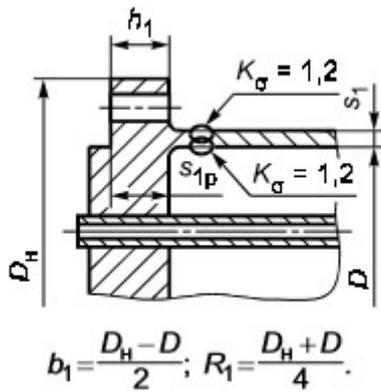


Рисунок 7 - решетка приваренная встык к обечайке кожуха

Расчетные напряжения в трубных решетках.

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

Расчетная прибавка к толщине трубной решетки, крышке плавающей головки, элементам аппаратов воздушного охлаждения, мм. При назначении величины «с» для трубной решетки и крышки плавающей головки следует учитывать коррозию как со стороны трубного, так и межтрубного пространства, мм

$$c := 3$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

A — коэффициент, определяемый по [16, приложению Г] в зависимости от ω и m_A :

B — коэффициент, определяемый по [16, приложению Г], в зависимости от ω и n_B :

ω - Безразмерный параметр системы решетка

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

$$m_A = -0.439$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a}$$

$$n_B = -2.278$$

$$A := 0.463$$

$$B := 0.898$$

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

$$M_{\max} = 9.282 \times 10^3 \text{ МПа}$$

- изгибные:

$$s_{1p} := s_p$$

$$s_{1p} = 30 \text{ мм}$$

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

$$\sigma_{p1} = 76.397 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_{II}|}{s_{1p} - c}$$

$$\tau_{p1} = 13.013 \text{ МПа}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки
вычисляются по формулам

- изгибные, Н*мм/мм:

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

$$M_{\max} = 9.282 \times 10^3$$

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\left[\Phi_p \cdot (s_p - c)^2 \right]}$$

$$\sigma_{p2} = 388.048 \text{ МПа}$$

- касательные:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\Phi_p \cdot (s_p - c)}$$

$$\tau_{p2} = 67.106 \text{ МПа}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке вычисляются по формулам:

ск — расчетная прибавка к толщине стенки кожуха:

$$c_k := 3 \text{ мм}$$

- в меридиональном направлении:
мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c_k)}$$

$$\sigma_{Mx} = 67.27 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_1 - c_k)^2}$$

$$\sigma_{ux} = 122.819 \text{ МПа}$$

- в окружном направлении:
мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{s_1 - c_K}$$

$$\sigma_{M\phi} = 36 \quad \text{МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux}$$

$$\sigma_{u\phi} = 36.846 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в трубах вычисляются по формулам:

- в осевом направлении:

мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi(d_T - s_T) \cdot s_T}$$

$$\sigma_{1T} = 73.778 \quad \text{МПа}$$

суммарные:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2J_T}$$

$$\sigma_1 = 90.716 \quad \text{МПа}$$

в окружном направлении:

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

$$\sigma_{2T} = 3.45 \quad \text{МПа}$$

Проверка прочности трубных решеток

Проверку статической прочности проводят по формуле:

$\sigma_{pr} := 180 \text{ МПа}$ допустимое напряжение для материала
решетки теплообменного аппарата.

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) = 67.106$$

$$Pr := \begin{cases} \text{"Услов статич проч выполняе"} & \text{if } \max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_p \\ \text{"Услов статической прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Pr = "Услов статич проч выполняе"

Проверку трубной решетки на малоцикловую прочность проводят по [37]

В случае, если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по [16, приложению Д]

При проверке трубной решетки на малоцикловую прочность следует принимать:

- в месте соединения с кожухом:

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

$$\Delta\sigma_1 = 76.397 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

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

- в месте соединения с кожухом:

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

$$\Delta\sigma_1 = 76.397 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

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

K_σ определяют по рисунку 7:

$$K_\sigma := 1.2$$

- в перфорированной части:

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

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

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

Для многоходовых по трубному пространству теплообменных аппаратов прочность трубных решеток в зоне паза под перегородку проверяют по формулам.

При этом следует принимать:

$\sigma_{дА}$ - допускаемая амплитуда упругих напряжений по [37]

$$\sigma_{дА} := 194 \text{ МПа}$$

$$s_{pp} := (s_p - c) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{2 \cdot \sigma_{дА}}$$

$$s_{pp} = 27.003 \text{ мм}$$

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

Проверка = "Условие выполняется"

Проверка жесткости трубных решеток

Проверку проводят в случаях, когда к жесткости трубных решеток предъявляются какие-либо дополнительные требования, например для аппаратов со стекающей пленкой, с перегородками по трубному пространству, если недопустим переток между ходами.

T_1, T_2 коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб;

$Q_{п}$ перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки, Н/мм;

Максимальный прогиб трубной решетки:

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_{п} + T_2 \cdot \beta \cdot M_{п}|$$

$$W = 0.454 \text{ мм}$$

Рекомендуемые допустимые величины прогибов трубных решеток [W], мм, в зависимости от диаметра аппарата приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Допустимые величины прогибов трубных решеток

D	$D \leq 0,6 \text{ м}$	$0,6 \text{ м} < D \leq 1 \text{ м}$	$1 \text{ м} < D \leq 2 \text{ м}$	$D > 2 \text{ м}$
[W]	0,7 мм	0,9 мм	1,1 мм	1,2 мм

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

$$W_d = 0.9$$

Проверка условия жесткости:

$$Usl_10 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " } & \text{if } W \leq W_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_10 = \text{"Условие выполняется "}$$

Расчет прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке следует проводить только для конструкций, приведенных на рисунке 7.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

σ_{dk} допустимое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата, МПа

σ_{Mx} мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа

$$\sigma_{dk} := 162 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Mx} = 67.272 \text{ МПа}$$

$$Usl_11 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " } & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dk} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_11 = \text{"Условие выполняется "}$$

Проверку кожуха на малоцикловую прочность в месте присоединения к решетке проводят по [37]

В случае, если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по [16 приложению Д]

При проверке кожуха на малоцикловую прочность следует принимать:

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{Mx} + \sigma_{ux} \quad \Delta\sigma_1 = 190.091$$

$$\Delta\sigma_2 := \sigma_{M\phi} + \sigma_{u\phi} \quad \Delta\sigma_2 = 72.846$$

$$\Delta\sigma_3 := 0 \quad \Delta\sigma_3 = 0$$

K_σ — см. рисунок 7

$$K_\sigma = 1.2$$

Допускается амплитуду напряжений вычислять по формуле приведенной в [37]

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2}$$

$$\sigma_a = 99.668 \quad \text{МПа}$$

Поправочный коэффициент учитывающий температуру:

Для низколегированной или легированной стали:

$$C_t := \frac{2300 - t_k}{2300}$$

$$C_t = 0.965$$

$$R_{mt} := 436 \quad \text{временное сопротивление материала при расчетной температуре, МПа;}$$

$$A_m := 0.45 \cdot 10^5 \quad \text{характеристика материала, МПа}$$

$$B_m := 0.4 \cdot R_{mt} \quad \text{характеристика материала, МПа}$$

$$n_N := 10 \quad \text{коэффициент запаса прочности по числу циклов}$$

$$n_\sigma := 2 \quad \text{коэффициент запаса прочности по напряжениям}$$

Допускаемое число циклов

$$N_d := \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A_M}{\sigma_a - \frac{B_M}{n_\sigma}} \cdot C_t \right)^2 = 1.214 \times 10^6$$

Принимаем число циклов нагружения

$$N := 5 \cdot 10^5$$

Допускаемая амплитуда напряжений

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_M}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_M}{n_\sigma}$$

$$\sigma_{da} = 106.625 \text{ МПа}$$

Условие малоциклового прочностного будет выполняться, если:

$$Usl_12 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_12 = \text{"Условие выполняется "}$$

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

Условие статической прочности труб:

$$\sigma_{dT} := 180 \text{ МПа}$$

$$Usl_13 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_13 = \text{"Условие выполняется "}$$

Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по [37]. В случае, если при расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по [16, приложению Д].

При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать:

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

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := 0$$

$$K_\sigma := 1$$

Допускается амплитуду напряжений вычислять по формуле:

$$\sigma_{aav} := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2}$$

$$\sigma_a = 54.43 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_m}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_m}{n_\sigma}$$

$$\sigma_{da} = 106.625 \text{ МПа}$$

Условие малоциклового прочностного будет выполняться, если:

$$Usl_14 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_14 = \text{"Условие выполняется "}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если $N_T < 0$.
Условие устойчивости:

Так как $N_T > 0$, проверку труб на устойчивость проводить не будем.

Проверка жесткости труб

Проверку проводят в случаях, когда к жесткости труб предъявляют какие-либо дополнительные требования, например для аппаратов со стекающей пленкой. Проверку жесткости труб проводят только при $N_T < 0$.

Так как $N_T > 0$, проверку труб на устойчивость проводить не будем.

$\delta := 10 \text{ мм}$ высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке

$$\phi_c := \min(0.5, 0.95 - 0.2 \cdot \log(N))$$

$$\phi_c = -0.19$$

$$\tau := \frac{|N_T| \cdot d_T + 4 \cdot |M_T|}{\pi \cdot d_T^2 \cdot \delta}$$

$$\tau = 16.233 \text{ МПа}$$

В случае крепления труб к решетке способом развальцовки с обваркой должно выполняться условие:

$$U5 := \begin{cases} \text{"Усл выполн " if } 1 \leq \max \left(\frac{\phi_c \cdot \min(\sigma_{dT}, \sigma_p)}{\tau} \dots, \frac{N_{dTP}}{|N_T|} \right) \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$U5 = \text{"Усл выполн "}$$

2.3.9 Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений

Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений проводим согласно [12]

Материал обечаек и фланцев 09Г2С

Материал болтов 40Х по [12]

Материал прокладки паронит общего назначения по [80], т.к. среда нейтральная, а также материал подходит по таким параметрам как давление и температура.

Фланцы приварные встык.

Фланцевое соединение выбрано с гладкой уплотнительной поверхностью.

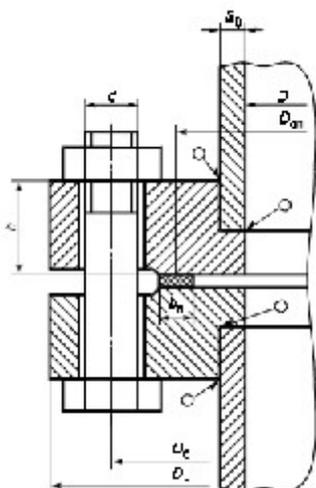


Рисунок 8 - Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

Диаметр прохода, мм

$$D := 600$$

Количество шпилек, штук

$$n := 20$$

Расчетная температура, при которой работает фланец, °C

$$t := 120$$

Максимальное давление, действующее на фланец, МПа

$$P := 0.6$$

Диаметр фланца наружный наружный ,мм

$$D_{нн} := 755$$

Диаметр болтовых отверстий, мм

$$D_{б.о} := 705$$

Толщина тарелки фланца, мм

$$h := 25$$

Диаметр шпилек, мм

$$D_{ш} := 26$$

Наружный диаметр прокладки, мм

$$D_{пп} := 630$$

Прибавка на коррозию, мм

$$c_o := 1$$

Шпильки М24

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

Расчетная температура неизолированных фланцев, по [12]

Расчетная температура болтов:

$$t_{б} := 0.85 \cdot t = 102 \quad t_{б} = 102 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{ф} := 0.96t \quad t_{ф} = 115.2 \quad ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов, по [12]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 225 \\ 222 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_б), 0.5) \quad \sigma_{д.б} = 224.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре, по [12]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 2.08 \cdot 10^5 \\ 2.01 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_б := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_б), 0.01) \quad E_б = 2.079 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t=20^\circ\text{C}$, по [12]

$$\sigma_{20.б} := 230 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания, по [7]

$$E_{20б} := 2.18 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при $t=20-200^\circ\text{C}$, по [7]

$$\alpha_б := 13.4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из того же материала что и обечайка, то расчетные значения примем такими же как и для материала обечайки.

Поскольку фланцы изготавливаются из того же материала что и обечайка, то расчетные значения примем такими же как и для материала обечайки.

$$\sigma_{д.д} := 175 \quad \text{МПа} \quad \text{Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при } 120^\circ\text{C, по [7]}$$

$$\sigma_{д.20} := 196 \quad \text{МПа} \quad \text{Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при } 20^\circ\text{C, по [7]}$$

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \quad \text{МПа} \quad \text{Модуль упругости для стали 09Г2С при } 20^\circ\text{C, по [7]}$$

$E := 1.89 \cdot 10^5$ МПа Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре 120°C, по [7]

$\alpha_{\text{ф}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$ Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С при $t=20-200^\circ\text{C}$, по [7]

Из рекомендации в [38] выбираем толщину прокладки 3мм

Эффективная ширина плоской прокладки, b_0

$b_{\text{п}} := 10$ мм

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

$b_0 = 10$

Характеристики прокладки по [38]

$m := 2.5$ Прокладочный коэффициент

$q_{\text{обж}} := 20$ МПа Удельное давление обжатия прокладки

$q_d := 130$ МПа Допускаемое удельное давление

$K_{\text{обж}} := 0.9$ Коэффициент обжатия

$E_{\text{п}} := 2000$ МПа Условный модуль сжатия прокладки

Усилие,необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0$

$P_{\text{обж}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|$

$P_{\text{обж}} = 1.461 \times 10^4$ Н

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

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

$$R_{II} = 2.922 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов

$$f_{\sigma} := 324 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра

$$A_{\sigma} := n \cdot f_{\sigma} \quad A_{\sigma} = 6.48 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{д} := 0.785 \cdot D_{сП}^2 \cdot P$$

$$Q_{д} = 1.811 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента.

Поскольку на фланец действует внешний изгибающий момент, за счет веса распределительной камеры, то переведем равномерно распределенную нагрузку в концентрированную и вычислим момент, действующий на фланец.

$$M := \frac{300}{2} \cdot 888 = 1.332 \times 10^5 \text{ Н*мм}$$

$$F := \frac{P}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 8.482 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$F := 888 \text{ Н}$$

Тогда:

$$Q_{FM} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{сП}} = 1.747 \times 10^3 \text{ Н}$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, рассчитывается по формуле:

Поскольку между фланцами зажата трубная решетка, применяем следующую формулу:

Податливость прокладки:

$h_{\Pi} := 5$ мм толщина закладной детали между прокладками

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 1.155 \times 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$L_{\text{б0}} := 94$ мм Длина болта найдена исходя из толщины фланцев, прокладки и трубной решетки

$d := 24$ мм Внешний диаметр болта, т.к. был выбран болт М24

$$L_{\text{б}} := L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d$$

$$L_{\text{б}} = 107.44 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{20\text{б}} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 7.606 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки

Толщина обечайки

$$s_{\text{цо}} := 8 \text{ мм}$$

$$S_0 := 15 \text{ мм}$$

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 94.868 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D}$$

$$K = 1.258$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.813$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 9.438$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) \quad \beta_Y = 8.668$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 4.428$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f_{\text{sw}} := 1$$

Коэффициент λ

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

$$\lambda = 0.726$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

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

$$y_{\phi} = 1.622 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\text{б.о}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\text{фн}} = 1.455 \times 10^{-10}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками

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

$$C_F = 1.063$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_{\text{б.о}} - D_{\text{сп}})$$

$$b = 42.5 \quad \text{мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

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

$$D_{\text{сп}} = 620 \quad \text{мм}$$

$$D = 600 \quad \text{мм}$$

$$e = 2.5 \quad \text{мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_0 := 24 \quad \text{Толщина фланца в месте соединения с обечайкой}$$

$$S_{\text{экв}} := S_0 = 24$$

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

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

$$\alpha = 0.896$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\sigma} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\sigma} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\sigma.0}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2}$$

$$\alpha_M = 0.842$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)] \quad Q_t = 2.907 \times 10^{-3} \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\sigma 1} := \max \left[\left[\alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot (\alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right] \left[\alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot (\alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right] \right]$$

$$P_{\sigma 1} = 1.929 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\sigma 2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20.6})$$

$$P_{\text{обж}} = 1.461 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{\sigma 2} = 5.962 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\sigma \text{М}} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2})$$

$$P_{\sigma \text{М}} = 5.962 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в

рабочих условиях

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

$$P_{\text{бр}} = 6.153 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бМ}}}{A_{\text{б}}}$$

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

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 94.948 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях

$$U3 := \begin{cases} \text{"Услов прочн в при затяжке НЕ выполн"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{20.б} \\ \text{"Услов прочн в раб услов НЕ выполн"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочн выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U3 = "Условия прочн выполняются"

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

$$\sigma_{20.б} = 230 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 94.948 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 224.5 \quad \text{МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\sigma_M}, P_{\sigma_p})}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_{\text{П}}}$$

$$q = 31.588 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$U2 := \begin{cases} \text{"Условие прочнос прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочнос прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U2 = "Условие прочнос прокладки выполняется"

$$q = 31.588 \quad \text{МПа}$$

$$q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец

$$M_M := C_F \cdot P_{\sigma_M} \cdot b$$

$$M_M = 2.693 \times 10^7 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

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

$$M_p = 2.828 \times 10^7 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

Приведенный диаметр фланца

$$D_{\text{пр}} := D + S_0 = 624$$

Ширина фланца

$$S_0 := 80 \quad \text{мм}$$

Толщина фланца вместе с ответственной частью

$$h := 50 \quad \text{мм}$$

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

$$\sigma_{0M} = 9.521 \quad \text{МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца

Радиальное напряжение

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

$$\sigma_{R_M} = 40.486 \quad \text{МПа}$$

Окружное напряжение

$$\sigma_{T_M} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{R_M}$$

$$\sigma_{T_M} = -23.635 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев

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

$$\sigma_{0p} = 9.998 \quad \text{МПа}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

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

$$\sigma_{0\text{мр}} = 1.083 \text{ МПа}$$

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

Радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{Rp}} := \frac{1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_{\text{p}}$$

$$\sigma_{\text{Rp}} = 42.513 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение:

$$\sigma_{\text{Tp}} := \frac{\beta_{\text{Y}} \cdot M_{\text{p}}}{h^2 \cdot D} - \beta_{\text{Z}} \cdot \sigma_{\text{Rp}}$$

$$\sigma_{\text{Tp}} = -24.818 \text{ МПа}$$

$\sigma_{\text{мр}} := 174 \text{ МПа}$ Допускаемое напряжение для материала фланца при температуре испытаний

$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$ Допускаемое напряжение для материала фланца при рабочей температуре

PR_1 := "Условия статич прочности при затяжке НЕ выполняются"

PR_2 := "Услов статич прочности в раб условиях НЕ выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

КТ := 1.3 Коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

$$U4 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > KT \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max\left(\left|\begin{array}{c} \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} \dots \\ + \sigma_{Tp} \end{array}\right|, \left|\begin{array}{c} \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} \dots \\ + \sigma_{Rp} \end{array}\right|, \left|\begin{array}{c} \sigma_{0p} \dots \\ + \sigma_{0mp} \end{array}\right| \right) > KT \cdot \sigma_{д} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

U4 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}$$

$$\Theta = 4.83 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота
плоского фланца

$$\Theta_{д} := 0.013$$

$$U5 := \begin{cases} \text{"Услов при испыт НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_{д} \\ \text{"Услов в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_{д} \\ \text{"Усл повор привар встык фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U5 = "Усл повор привар встык фланца выполняется"

2.3.10 Расчет необходимости укрепления отверстий в цилиндрической части кожуха

Расчет укрепления отверстия проводится в соответствии с методикой указанной в [3].

Внутренний диаметр оболочки, мм	$D_{ww} := 600$
Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку, МПа	$P_{BH} := 0.6$
Расчётная температура, С ⁰	$t_R := 120$
Длина неукреплённой части оболочки, мм	$l_{ww} := 6000$
Исполнительная толщина стенки оболочки, мм	$s_{ww} := 8$
Диаметр отверстия, мм	$d1 := 300$
Диаметр отверстия, мм	$d2 := 350$
Прибавка расчетной толщины стенки, мм	$c_{ww} := 1$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Допускаемое напряжение для стали при 20 ⁰ С, МПа	$\sigma_{20ww} := 196$
Минимальное значение предела текучести стали при 20 ⁰ С, МПа	$R_{p1.0} := 300$
Поправочный коэффициент для допускаемых напряжений сталей	$\eta := 0.8$
Коэффициент запаса прочности при гидравлических испытаниях	$n_T := 1.25$
Длина внешней части штуцера, мм	$l_1 := 200$
Длина внутренней части штуцера, мм	$l_3 := 3$
Ширина кольца, мм	$l_2 := 100$
Толщина кольца, мм	$s_{2ww} := 5$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

Для стали 09Г2С при $t=120^{\circ}\text{C}$ согласно [7]

$$\sigma_d := 174 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 0.5) = 156.5 \quad \text{МПа}$$

Давление при испытании на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{вн}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.675 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{p1.0}}{n_T}, 0.5\right) = 240 \quad \text{МПа}$$

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно с [13]

Для штуцера на цилиндрической обечайке

$$D_{p1} := D$$

Расчетные диаметры отверстия :

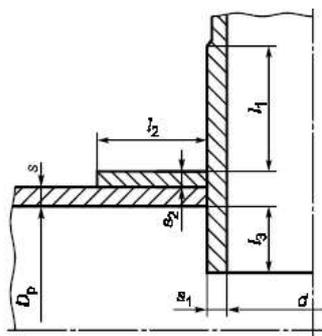
$$d_{p1} := d1 + 2c$$

$$d_{p1} = 302 \quad \text{мм}$$

$$d_{p2} := d2 + 2c$$

$$d_{p2} = 352 \quad \text{мм}$$

$$D_p := D$$



a

Рисунок 9 - Укрепление отверстий при наличии подходящего штуцера

Расчетные длины штуцера:

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляются по формуле

$$l_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad l_p = 64.807 \quad \text{мм}$$

Расчётная толщина стенки оболочки:

$$s_{pr} := \max \left[\frac{P_{ВН} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_{ВН}}, \frac{P_{ИСП} \cdot D}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{И} - P_{ИСП})} \right] = 1.036 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцеров:

$$s_{p1} := \frac{P_{ВН} \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi - P_{ВН}} = 0.522 \quad \text{мм}$$

$$s_{p2} := \frac{P_{ВН} \cdot (d2 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi - P_{ВН}} = 0.608 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{п1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметр НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} \geq 1 \right) \\ \text{"Отнош толщ к диаметр НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} \geq 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

п1 = "Условия применения формул выполняются"

$$\text{п2} := \begin{cases} \text{"Отнош диаметр НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \\ \text{"Отнош толщ к диаметр НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

п2 = "Условия применения формул выполняются"

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

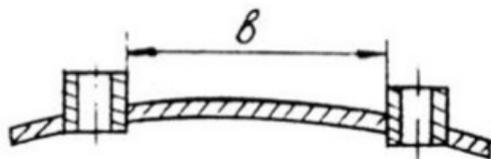


Рисунок 10 - Расстояние между двумя отверстиями

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)}$$

$$d_0 = 771.856 \quad \text{мм}$$

$$d_{op} := 0.4 \cdot \left[\sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right] = 25.923 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p1} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

пров4 := $\begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p2} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$

пров4 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

2.3.11 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуд работающий под внутренним избыточным давлением
Выбор опор производим согласно с [14]

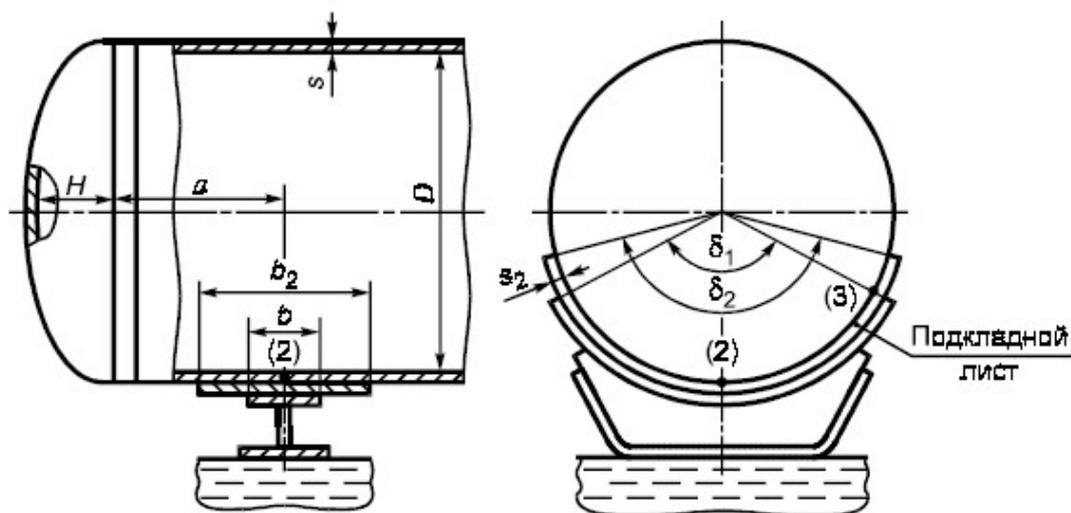


Рисунок 11 - Опоры горизонтальных аппаратов

Исходные данные:

Плотность материала, кг/м³

$$\rho := 983$$

Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$$H := 190$$

Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, м;

$$L := 4.3$$

Внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;	$\underline{D} := 600$
Внутреннее избыточное или наружное давление, МПа	$p_{\text{rab}} := 0.6$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;	$\underline{\phi} := 1$
Модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа	$\underline{E} := 1.89 \cdot 10^5$
Ширина седловой опоры, мм;	$\underline{b} := 120$
Исполнительная толщина подкладного листа, мм;	$\underline{s_2} := 10$
Ширина подкладного листа, мм;	$b_2 := 200$
Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;	$\sigma_t := 174$
Предел текучести при расчетной температуре, МПа;	$\underline{\sigma_{0.2}} := 262$
Допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;	$\underline{\sigma_{20}} := 196$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;	$\underline{a} := 300$
Длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;	$\underline{e} := a + H$
Рабочая температура в аппарате, °С;	$t_{\text{rab}} := 120$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;	$\underline{c} := 3$
Угол охвата седловой опоры, °;	$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$
Угол охвата сосуда подкладным листом, °.	$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$

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

Выберите условие нагружения:

z :=

Внутреннее давление
Наружнее давление

Выберите условие работы аппарата:

o :=

Рабочие условия
Условия испытаний

Расчётная температура

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

$$t = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [7] при расчётной температуре $t=120^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 174 \text{ МПа}$$

Расчётное давление

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

$$p = 0.6 \quad \text{МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

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

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

$$s = 5 \quad \text{мм}$$

С учетом запаса прочности округляем до 8 мм

$$s := 8 \quad \text{мм}$$

Допускаемое наружное давление:

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

$$n_y = 2.4$$

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

$$p_d = 2.875 \quad \text{МПа}$$

$$A_k := 1.24 \cdot D$$

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L$$

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

$$G := 3.041 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Проверка применимости формул:

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

Prov = "Формулы применимы"

Расчет веса аппарата

Исходные данные:

Длина обечайки, м	$H_{ob} := 4.3$
Длина труб, м	$H_{тр} := 4$
Длина распределительной камеры, м	$H_{ob2} := 0.3$
Внутренний диаметр корпуса, м	$D_B := 0.6$
Внутренний диаметр распределительной камеры, м	$D_r := 0.6$

Толщина стенки корпуса, м

$$s_k := 0.008$$

Толщина стенки распределительной камеры, м

$$s_s := 0.008$$

Диаметр труб, м

$$d_{\text{Тр}} := 0.025$$

Толщина стенки труб, м

$$s_{\text{Тр}} := 0.002$$

Плотность стали, кг/м³

$$\rho_{\text{мет}} := 7800$$

Ускорение свободного падения, м/с²

$$g := 9.8$$

Определим вес обечайки:

$$G_{\text{об}} := \pi \cdot (D_B + s_k) \cdot s_s \cdot H_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 5.023 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Определим вес обечайки распределительной камеры:

$$G_{\text{рк}} := \pi \cdot (D_r + s_k) \cdot s_s \cdot H_{\text{об2}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 350.417 \quad \text{Н}$$

Площадь днища корпуса:

$$R_{\text{дн}} := \frac{D_B}{2} = 0.3 \quad \text{м}$$

$$S_{\text{дн}} := \pi \cdot R_{\text{дн}}^2 = 0.283 \quad \text{м}^2$$

Вес днища

$$G_{\text{д}} := S_{\text{дн}} \cdot s_s \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 172.903 \quad \text{Н}$$

Площадь крышки распределительной камеры:

$$R_{\text{кр}} := \frac{D_r}{2} = 0.3 \quad \text{м}$$

$$S_{\text{кр}} := \pi \cdot R_{\text{кр}}^2 = 0.283 \quad \text{м}^2$$

Вес крышки:

$$G_{\text{кр}} := S_{\text{кр}} \cdot s_s \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 172.903 \quad \text{Н}$$

Вес трубы в трубном пространстве

$$G_{\text{Тр}} := \pi \cdot (d_{\text{н}} + s_{\text{Тр}}) \cdot s_{\text{Тр}} \cdot H_{\text{Тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 51.871 \quad \text{Н}$$

Вес трубного пучка:

$$G_T := G_{Tr} \cdot 206 = 1.069 \times 10^4 \quad \text{Н} \quad \text{где 206 количество труб}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{app} := G_T + G_{кр} + 2G_d + G_{рк} + G_{об} = 1.658 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Определим вес аппарата при испытаниях:

Объемы днищ внутренним диаметром 600 мм и 600 мм

$$V_{д1} := 39.5 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}^3$$

$$V_{д2} := 39.5 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}^3$$

Плотность воды

$$\rho_v := 1000$$

Масса воды при испытаниях

$$m_{вод} := \left[\pi \cdot \frac{D_B^2}{4} \cdot H_{об} \cdot \rho_v \dots \right] + \pi \cdot \frac{D_r^2}{4} \cdot H_{об2} \cdot \rho_v = 1.38 \times 10^3 \quad \text{Н}$$
$$+ \rho_v \cdot (V_{д1} + V_{д2})$$

Вес воды:

$$G_{вод} := m_{вод} \cdot g = 1.352 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью в условиях испытаний:

$$G_{appз} := G_{app} + G_{вод} = 3.01 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Нагрузки на корпус аппарата:

$$q := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}}$$

$$q = 118.036 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16}$$

$$M_0 = 2.656 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Опорное усилие:

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

$$F_1 = 1.521 \times 10^4 \text{ Н}$$

Момент над опорой:

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

$$M_1 = 1.151 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Максимальный момент между опорами:

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

$$M_{12} = -2.852 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

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

$$Q_1 = -3.516 \times 10^4 \text{ Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

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

$$M_d = 2.401 \times 10^8 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Дополнительные вычисления:

К₉ - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

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

$$W1 := \left[\begin{array}{l} -0.20924 \cdot (x - 1) \dots \\ + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) \end{array} \right] + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

$$W2 := - \left[\left[\begin{array}{l} 0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) \dots \\ + 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 \end{array} \right] + 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2 \right]$$

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

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

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

$$K_9 = 1.762$$

Проверка условия прочности:

$$\text{П1} := \begin{cases} \text{"Услов проч выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} \dots \leq \sigma_d \cdot \phi \\ & + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \\ \text{"Услов проч НЕ вып. Увелич толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

П1 = "Услов проч выполняется."

Проверка условия устойчивости:

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

$$\text{П2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

П2 = "Условие устойчивости выполняется."

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

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

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

$$\gamma = 0.129$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 1.994$$

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

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

$$\sigma_{mx} = 8.145 \quad \text{МПа}$$

Выберите вид обечайки:

u :=

Цилиндрическая обечайка без подкладных листов
Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

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

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

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

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

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

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

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

Коэффициенты для определения

$$\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$$

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

$$K_2 = 1.25$$

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

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

K_{12} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.982$$

K_{14} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.634$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 0.713$$

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

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta} \quad K_{17} = 0.446$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.346$$

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

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) \quad K_{15} = 0.507$$

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

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

$$K_{11} = 0.502$$

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

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.393$$

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

$$K_{122} = 0.529$$

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

$$K_{113} = 1.444$$

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

$$K_{123} = 0.614$$

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1.2} = 0.529$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1.3} = 0.614$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 115.102 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 133.62 \text{ МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 8.992 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 1.631 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

Проверка условия прочности:

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

ПЗ = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

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

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

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

$$F_e = 2.299 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

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

$$Q_d = 4.1 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot (w) \cdot \sigma_d$$

$$F_d = 1.654 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$\text{П4} := \begin{cases} \text{"Усл устойчивости выполняется."} & \text{if } \left[\left(\frac{p_v}{p_d} \dots \right) \dots \dots \leq 1 \right. \\ & \left. \left(\frac{M_1}{M_d} \right) \right. \\ & \left. \left(\frac{F_e}{F_d} \right) \right. \\ & \left. + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 \right. \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

П4 = "Усл устойчивости выполняется."

2.3.12 Расчет толщины изоляции

Расчет тепловой изоляции производится по методике, изложенной в пособии [14]

Температура стенки аппарата, °С $t_{ст} := 120$

Температура окружающей среды, °С $t_o := 20$

Температура изоляции, °С $t_{из} := 40$

Разность температур:

$$\Delta t := t_{из} - t_o = 20 \quad ^\circ\text{C}$$

Тогда:

$$\alpha_H := 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t$$

$$\alpha_H = 11.14 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

В качестве изоляционного материала выбираем совелит

Коэффициент теплопроводности совелита

$$\lambda_{из} := 0.098 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Толщина слоя изоляции:

$$\delta_{\text{ИЗ}} := \lambda_{\text{ИЗ}} \cdot \frac{(t_{\text{СТ}} - t_{\text{ИЗ}})}{\alpha_{\text{ИЗ}} \cdot (t_{\text{ИЗ}} - t_{\text{О}})} = 0.035$$

Толщину изоляции следует принять равную

$$\delta_{\text{ИЗ}} := 35 \quad \text{см}$$

2.3.13 Гидравлический расчет

Расчет производится по методике указанной в пособии [4]

Трубное пространство

Внутренний диаметр труб, м $d := 0.020$

Коэффициент местного сопротивления для
трубного пространства $\xi := 18.5$

Критерий Рейнольдса для жидкости в трубном
пространстве $Re := 2000$

Скорость жидкости в трубном пространстве, м/с $\omega_1 := 2.85 \cdot 10^{-3}$

Плотность воды, кг/м³ $\rho_1 := 983$

Объемный расход воды, кг/с $V := 2.65 \cdot 10^{-4}$

Длина трубы, мм $l := 4000$

Так как в трубах режим движения жидкости ламинарный - воды,
считаем коэффициент по формуле:

$$\lambda := \frac{64}{Re} = 0.032 \quad Re < 2300$$

Гидравлическое сопротивление аппарата

$$\Delta P := \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \xi \right) \cdot \frac{(\omega_1^2 \cdot \rho_1)}{2} = 25.624 \quad \text{Па}$$

$$\eta := 0.4 \quad \text{КПД насоса}$$

$$N_1 := \frac{V \cdot \Delta P}{\eta} = 0.017 \text{ кВт}$$

Исходя из мощности выбираем насос

Консольный насос для перекачки воды мощностью 1,5 кВт

Таблица 6 - Основные характеристики насоса

Типоразмер насоса	Q, м. куб	H, м	N, кВт	n, об/мин	марка ЭД	h, %	D, м.	Ду, вс	Ду. Наг
ЦНС 13-140	13	140	15	3000	АИР160S2	48	3**	80	80

Межтрубное пространство

Внутренний диаметр труб, м $d_2 := 0.600$

Коэффициент местного сопротивления для межтрубного пространства $\xi_2 := 18$

Критерий Рейнольдса для жидкости в трубном пространстве $Re_2 := 10000$

Скорость пара в межтрубном пространстве, м/с $\omega_2 := 0.202$

Плотность воды, кг/м³ $\rho_2 := 1.81$

Объемный расход пропилена, кг/с $V := 0.06$

Так как в трубах режим движения пропилена турбулентный, считаем коэффициент по формуле:

$$\lambda_2 := \frac{0.316}{Re_2^{0.25}} = 0.032$$

Гидравлическое сопротивление аппарата

$$\Delta P := \left(\lambda_2 \cdot \frac{1}{d_2} + \xi_2 \right) \cdot \frac{(\omega_2^2 \cdot \rho_2)}{2} = 8.444 \text{ Па}$$

$$\eta := 0.4 \text{ КПД компрессора}$$

$$N_{1\text{к}} := \frac{V \cdot \Delta P}{\eta} = 1.267 \text{ кВт}$$

Исходя из мощности выбираем одноступенчатый масляной компрессор

Таблица 7 - Основные характеристики компрессора

ХАРАКТЕРИСТИКА	ЗНАЧЕНИЕ
Напряжение питающей сети, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Объём ресивера, л	50
Производительность на входе, л/мин	230
Понижающий коэффициент	0,5
Производительность на выходе, л/мин	115
Давление, бар	8
Мощность, л.с.	2,0

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В данной работе продуктом и целевым рынком являются:

продукт: Пропилен;

целевой рынок: Производство изопропилового спирта и ацетона, для синтеза альдегидов, для получения акриловой кислоты и акрилонитрила, полипропилена, пластмасс, каучуков, моющих средств.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 8.

Таблица 8–Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Систематическое повышение уровня квалификации. 2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области. 3. Наличие постоянных поставщиков. 4. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов. 2. Устаревшее оборудование. 3. Высокая степень износа оборудования. 4. Повышение цен у поставщиков. 5. Высокий уровень цен на выпускаемую продукцию.
Возможности:	Сильные стороны и возможности:	Слабые стороны и возможности:

<p>1.Спрос на выпуск нефтепродуктов в России, некоторых странах АТР достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению.</p> <p>2.Высокое качество поставляемых ресурсов.</p>	<p>1.Эффективное использование ресурсов производства.</p> <p>2.Оптимизация количества посредников за счет постоянных и проверенных поставщиков (пользоваться услугами постоянных поставщиков).</p> <p>3.Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества продукции.</p>	<p>1.Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников.</p> <p>2.Наработка и укрепление конкурентных преимуществ продукта.</p> <p>3.Модернизация оборудования.</p> <p>4.Внедрение технологии</p> <p>5. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений</p>
<p>Угрозы:</p> <p>1.Увеличение уровня налогов.</p> <p>2.Повышение требований к качеству продукции.</p> <p>3.Несвоевременные поставки сырья и оборудования.</p>	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <p>1.Применение оптимальной налоговой политики.</p> <p>2.Внедрение менеджмента качества.</p> <p>3.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <p>1.Повышение цен на выпускаемую продукцию.</p> <p>2.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p>

3.1 Расчёт производственной мощности

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

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

$$M = 7,6 \cdot 8350 \cdot 1 = 63460 \text{ т}$$

где $P_{\text{час.}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$ – количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{эфф} = T_{ном.} - T_{ППР} - T_{ТО},$$

$$T_{эфф}=365-18=347$$

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

$T_{ППР}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета $T_{ППР}$ необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте);

$T_{ТО}$ – время технологических остановок.

$$T_{ном} = T_{кал} - T_{вых} - T_{пр},$$

$$T_{ном}=365-0-0=365$$

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

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

Таблица 9 - Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени выходные	0
праздники	0
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	18 (432)
Эффективное время работы оборудования за год	347 (8328)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{экс} = T_{эфф}/T_{н} .$$

$$K_{экс}=8350/8760=0,953$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{инт} = Q_{пп}/Q_{max} ,$$

$$K_{инт}=63157/69365=0,9105$$

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

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

Ким. = Кэкс·Кинт

Ким=0,953*0,9105=0,8677

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа (Nгод):

Nгод= Ким* М,

Nгод=0,8677*63460=**55064 т**

где Ким – коэффициент использования мощности.

3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Расчет численности персонала:

- основных рабочих;
- вспомогательных рабочих;
- ИТР;
- служащих;
- МОП.

Таблица 10 - Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания,	Число смен в сутки,	Число единиц оборудования,	Явочная численность,	Эффективное время рабочего,	Коэффициент перехода,	Списочная численность,
	Нобс	S	N	Няв	Тэфф	Кпер.	Нсп
Основные рабочие	2	3	1	3	1718	2,32	6
Вспомогательные рабочие	1,55	2	1	3	1718	1,48	8
Итого							14

Таблица 11 - Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР		1	1	1
Технолог	ИТР	10	1	1	1
Механик			1	1	1
Младший обслуживающий персонал	МОП		3	1	3

Водители на производстве и отгрузке				3	1	3
Итого				9		

Таблица 12 - Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни выходные праздничные	118	2832
3.	Номинальный фонд рабочего времени	160	3840
4.	Планируемые невыходы: очередные и дополнительные отпуска невыходы по болезни или декретные отпуска отпуск в связи с учебой без отрыва от производства выполнение госуд. обязанностей	28 7 15 1	672 168
5	Эффективный фонд рабочего времени	130	3120

Таблица 13 - График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д
2	8-16	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В	В	В	С	С	С
3	16-24	В	В	С	С	С	С	Д	Д	Д	Д	А	А	А	А	В	В
Отдых		Д	С	В	В	А	Д	С	С	В	А	Д	Д	С	В	А	А

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$Z_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременщиков:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + Дн.вр + Дпр.дни + Дбриг,$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр – оплата премий, тыс. руб;

Дн.вр – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

Дпр.дни – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

Дбриг – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Зтар = \sum Чсп \cdot Тст \cdot Тэф.руб,$$

где Чсп – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

Тсп – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20–70 % от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40 %.

Дополнительная зарплата (ЗДОП):

$$ЗДОП = (ДН * ЗОСН) / ТЭФФ,$$

где ДН – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гос.обязанности).

Районный коэффициент для г. Томска – 1,3.

Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от (ЗОСН+ЗДОП).

Длительность сменоборота, дней:

$$Тсм.об.=a*b,$$

а – количество бригад,

б – количество дней, в течении которых бригада работает в одну смену, дней

$$Тсм.об.=3*2=6 \text{ дней}$$

Количество выходных дней:

$$Твых = Ткал / Тсм.об * n,$$

Твых – количество выходных дней,

Ткал - календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, дней,

N – количество смен за сменоборот.

Одна смена работает два дня в день – один день отдыхает – два дня в ночь – два дня отдыхает и т.д.

$$T_{\text{вых}} = 365 = 365/6 * 4 = 243$$

Продолжительность рабочих смен в сменобороте:

$$T_{\text{раб.см.}} = T_{\text{см}} - n,$$

$T_{\text{см}}$ – длительность сменоборота, дней,

n – количество выходных дней.

$$T_{\text{раб.см.}} = 6 - 4 = 2$$

Находим номинальный фонд рабочего времени

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} * T_{\text{раб.см.}} / T_{\text{см}},$$

$$T_{\text{раб}} = 365 * 2 / 6 = 122 \text{ дня}$$

Находим количество персонала (производственного) работающего посменно:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{шт}} * S,$$

$N_{\text{яв}}$ – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек,

$N_{\text{шт}}$ – штатное количество человек, работающих в смену,

S – число смен,

$$N_{\text{яв.осн.}} = 7 * 3 = 21,$$

$$N_{\text{яв.вс.}} = 13 * 1 = 13$$

Списочная численность:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} * K_{\text{пер}},$$

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{эфф.об.}} / T_{\text{эфф.раб.}},$$

$$T_{\text{эфф.об.}} = T_{\text{вых}} + T_{\text{эфф.раб.}} = 864 + 1768 = 2632 \text{ ч.}$$

$T_{\text{эфф.раб.}}$ – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.,

$$T_{\text{эфф.раб.}} = 1768$$

$$K_{\text{пер.}} = 2632 / 1768 = 1,49$$

Списочная численность равна:

$$\text{Нсп.осн}=21*1,49=31$$

$$\text{Нсп.вс.}=13+1.49=19$$

Таким образом, штатное расписание предусматривает 60 человек, в том числе производственных рабочих – 31 человек, вспомогательных рабочих – 19 человека, руководителей – 10 человек с общим годовым фондом заработной платы 21660 тыс. руб. Общие данные и показатели по труду сведены в таблице.

Таблица 14 - Показатели по труду и заработной плате

Наименование	Ед. измерения	Показатели
Численность всего:	чел.	60
-руководители, служащих, МОП		10
-основные рабочие		31
-вспомогательные рабочие		19
Годовой фонд заработной платы:	тыс.руб.	21660
-руководящего состава, ИТР	тыс.руб.	4800
-основных рабочих	тыс.руб.	11160
-вспомогательных рабочих	тыс.руб.	5700

Отчисления на социальные нужды производятся в размере 30% и составят 6498 тыс. руб., соответственно по категориям:

-руководящий состав, служащие, ИТР:

$$4800*0,3= 1440 \text{ тыс. руб.};$$

- основные рабочие

$$11160*0,3=3348 \text{ тыс. руб.},$$

- вспомогательные рабочие:

$$5700*0,3= 1710 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах.

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

3.3 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах.

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

Таблица 15– Расчет годовой потребности в сырье и материалах (Q=55064 т)

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, тонн		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Газ природный	м ³	52,8	0,23	(0,23*Q) 12664	12,144 (0,23*52,8)	668697 (0,23*52,8)* Q
Пар собственный	Гкал	145,6	0,04	2202	5,824	320692
Азот	т.	5461	0,09	4955	491,5	27063405
Деминерализованная вода	т.	4780	0,009	495,6	43,02	2368853
Итого					552,488	30421647

3.4 Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 16– Расчет потребности электроэнергии в текущем году

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт на 1м ³	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч/год
Всё производство	20	8040	1700000

1700000*2,8 стоимость=549538,7 тыс.руб.

3.5 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Таблица 17–Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Норма амортизации, %	1 год	
		Соф, млн.руб	АО, тыс.руб
1.Здания и сооружения	3	18,26	547,8
2.Рабочие машины	7	4,3	301,5
3.Транспортные средства	7	1,71	119,7
4.Производственный инвентарь	10	1,43	143
Итого	27	25,7	1112

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства

Планируемый объем производства $Q = 55064$ т

Таблица 18–Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции ($Q=55064$ т)

Статьи затрат	Затраты на единицу готовой продукции тыс. руб.	Затраты на весь объем тыс. руб.
1.Сырье	552,5	30422860
2.Электроэнергия на Технолог. нужды	9,98	549538,7
Итого переменных издержек	562,48	30972398,7
3.Заработная плата производственных рабочих	0,203	11160
3.1 Отчисления на соц. Нужды производственных рабочих (30%)	0,06	3348
4.Общепроизводственные накладные расходы	0,94	51760,2
4.1 Расходы на содержание и эксплуатацию		

оборудования: -Амортизация оборудования; -Ремонт оборудования; -Заработная плата ремонтного персонала.	0,022 0,009 0,103	1112 514 5700
4.1.1 Отчисления на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	0,032	1710
4.2 Заработная плата ИТР	0,087	4800
4.2.1 Отчисления на соц. нужды производственных рабочих (30%)	0,021	1140
Итого постоянных издержек	1,363	75046,2
Производственная себестоимость	563,62	31035318,9
Итого условно-переменных издержек	562,48	30972398,7
Итого условно-постоянных издержек	1,363	75046,2

3.6 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С * (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (20%).

$$Ц = 563,62 * (1 + 20/100) = 676,34 \text{ тыс. руб.}$$

3.7 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{\text{пр}}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{\text{пр}} = Q * Ц = 37241985,76 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

Аналитическим способом:

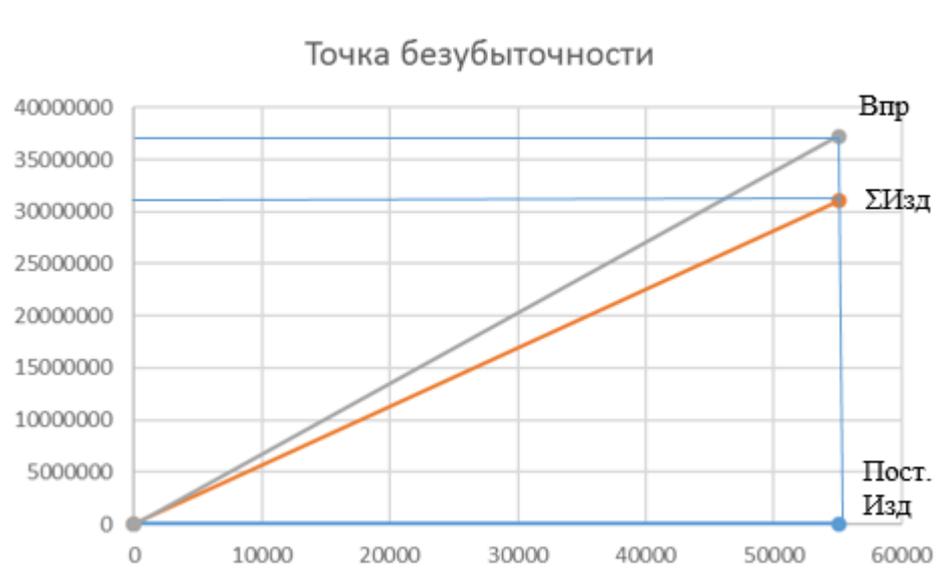
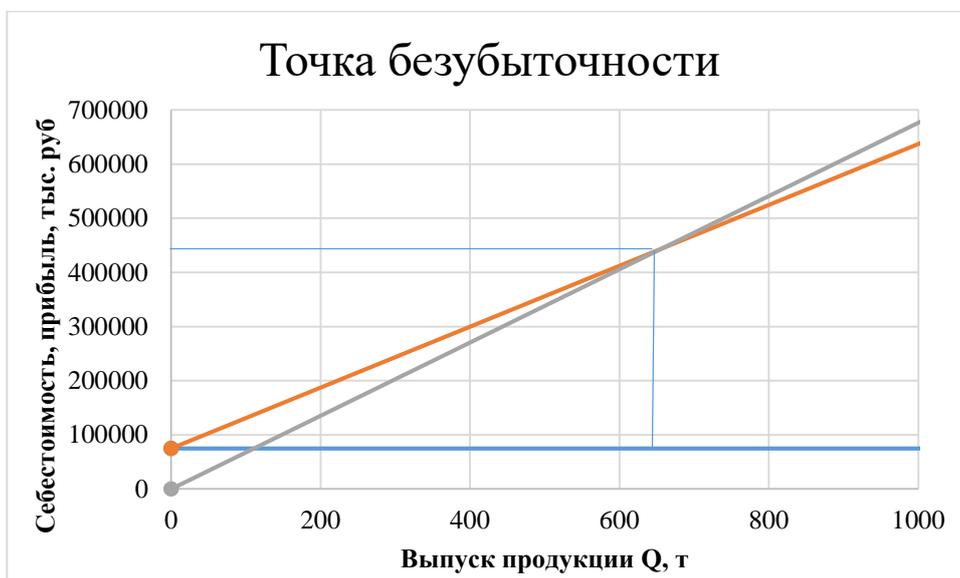
$$Q_{\text{кр.}} = \frac{\text{Изд.}_{\text{пост}}}{Ц_{\text{гпт}} - \text{Изд.}_{\text{пергпт}}}, \text{ тыс. тонн,}$$

где $Ц_{\text{гпт}}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Iзд_{шт}$ - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр.} = 75046,2 / (676,34 - 562,48) = 659,1 \text{ тонн}$$

Графическим способом:



Графически точка безубыточности определяется согласно рисунку 12

Рисунок – 12 Графический способ определения точки безубыточности

3.8 Определение технико-экономических показателей

Таблица 19 - Технико-экономические показатели

Наименование показателя	1 год
1.Объем производства, тонн	55064
2.Объем продаж, тонн	55064
3.Цена за единицу, тыс. руб.	676,34
4.Выручка от продажи, тыс. руб.	37241985,76
5.Суммарные издержки, тыс. руб.	31047444,9
5.1.Издержки переменные, тыс. руб.	30972398,7
5.2.Издержки постоянные, тыс. руб.	75046,2
6.Прибыль операционная, тыс. руб.	6194540,86
7.Налог на прибыль, тыс. руб.	1238908,17
8.Прибыль чистая, тыс. руб.	4955632,69
9.Себестоимость 1 тонны, тыс. руб.	563,62
10.Стоимость основных средств, млн. руб.	25,7
11.Численность основных рабочих, чел.	60
12.Фондовооруженность, тыс.руб./чел.	428333,33
13.Фондоотдача, тыс. руб./ тыс. руб.	1,449
14.Фондоемкость, тыс. руб./ тыс. руб.	0,6901
15.Производительность труда, тыс. руб./чел.	620699,76
16.Рентабельность производства, %	15,96
17.Рентабельность продаж, %	13,31
18.Критический объем продаж, т	659,1
19.Критический объем продаж, тыс. руб.	44826

4 Социальная ответственность

4.1 Производственная безопасность

ООО «Томскнефтехим» использует большое количество машин и аппаратов, в связи с чем связано увеличение потребления электроэнергии, воды и различных химических веществ.

Таким образом, перед работниками завода стоит задача выполнения всех норм и требований системы безопасности труда, которая включает в себя ряд конкретных требований и мер по видам опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении работ возможно возникновение и воздействие на оператора опасных факторов, описанных в таблице 20.

Таблица 20 – Основные элементы производственного процесса, который формирует опасные и вредные факторы

Рабочее Место	Факторы (Гост 12.0.003-74 Ссбт)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Операторская	Отклонение от показателей микроклимата в помещении	Электрический ток	САНПИН 2.2.4.548-96 ПУЭ (6-Е ИЗД.)
	Недостаточная освещенность рабочей зоны		САНПИН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	Превышение уровней шума		ГОСТ 12.1.003-83 ИЗМ. 1999 г.
Открытая площадка	Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	Давление (разрушение аппарата под действием внутреннего избыточного давления)	ГОСТ 12.1.005-88
		Статическое электричество	ГОСТ 12.4.124-83

Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (полевая санитария)

Отклонение показателей микроклимата в помещении.

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренне среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на

тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Показатели микроклимата: температура воздуха и его относительная влажность, скорость его движения. Оптимальны такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, что создает ощущение теплового комфорта и служит предпосылкой для высокой работоспособности. В таблице 6.2 указаны микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года и тяжести выполняемой работы согласно СанПин 2.2.4.548-96

Таблица 21 – Основные элементы производственного процесса, который формирует опасные и вредные факторы

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/сек	
		Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Iб	23	19-24	40	15-75	0.1	0.1-0.2
Теплый		26	20-28	45	15-75	0.2	0.1-0.3

Вывод: Все параметры микроклимата в рабочей зоне соответствуют нормативным значениям.

4.2 Освещенность

Рациональное освещение рабочих мест обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главнейшим условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы

снижается. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.

Оценка освещенности рабочей зоны проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03

Таблица 22 - Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих места

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Освещенность, лк	
		Фактическое значение	Нормативное значение
1	2	3	4
Операторская	ЛБ20-2 (люминесцентные лампы)	550	>500

Для работы в ночное время на производственной площадке, оснастить работников переносными фонарями.

Вывод: освещенность рабочей зоны соответствует нормативным значениям.

4.3 Превышение уровней шума

Производственный шум различной интенсивности и спектра(частоты), длительно воздействуя на работающих, может привести со временем к понижению остроты слуха у последних, а иногда и к развитию профессиональной глухоты. Помимо местного действия – на орган слуха, шум оказывает и общее действие на организм работающих. Шум является внешним раздражителем, который воспринимается и анализируется корой головного мозга, в результате чего при интенсивном и длительно действующем шуме наступает перенапряжение центральной нервной системы, распространяющееся не только на специфические слуховые центры, но и на другие отделы головного мозга, [20].

Необходимо следить, чтобы в производственных помещениях уровни шума на рабочих местах не превышали предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами [23].

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г. Устанавливаются допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука. Допустимое и фактическое значение для операторской отображено в таблице 23.

Таблица 23 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г.)

Рабочие места	Уровень звука, дБа	
	Фактическое значение	Допустимое значение
Операторская	55	60

Для работ вблизи насосов, обеспечить работников средствами СИЗ , такими как: противошумовые наушники, вкладыши, шлемы и каски.

Вывод: уровень звука в рабочей зоне соответствует нормативному значению.

4.4 Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Работа на ООО «Томскнефтехим» характеризуется опасностью вдыхания вредных веществ, таких как, например, пропилен. Это вещество, имеющее класс опасности IV. Согласно ГОСТ 25043-2013, устанавливается предельно допустимая концентрация паров данного вещества в воздухе рабочей зоны, равная 100 мг/м³. Фактические значения концентрации и ПДК отображены в таблице 24.

Таблица 24 - ПДК пропилена в воздухе рабочей зоны

Вещество	ПДК, мг/м ³	
	Фактическое значение	Допустимое значение
Пропилен	2	100

Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (техника безопасности).

4.5 Электробезопасность

Согласно [20]. Помещения без повышенной опасности поражения людей электрическим током характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность, таких как:

- Влажность, превышающая 75% (влажность в производственных помещениях не превышает этого значения), [25].;

- Токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные)(полы в производственных помещениях ток не проводят);
- Высокая температура (выше +35°C)(температура в производственных помещениях не превышает этого значения), согласно [23]

Возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землей металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Такие производственные помещения ООО «Томскнефтехим» как операторская, характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность, и поэтому относится к категории помещений без повышенной опасности поражения людей электрическим током согласно ПУЭ (6 издание)

4.6 Статическое электричество

Для предупреждения накопления статического электричества, возникающего при движении пропилен, заправке автоцистерн пропиленом применяется защитное заземление оборудования и трубопроводов.

С целью уменьшения потенциала статического электричества проводятся следующие мероприятия:

- присоединение трубопровода к контуру заземления;
- установка металлических перемычек между трубопроводами, расположенными на расстоянии 10 см один от другого, [26].

Где могут накапливаться заряды статического электричества, технологическое и транспортное оборудование (аппараты, емкости, машины, коммуникации и пр.) рекомендуется изготавливать из материалов, имеющих удельное объемное электрическое сопротивление не выше 10^5 Ом·м.

Фланцевые соединения трубопроводов, аппаратов, корпусов с крышками и соединения на разбортовке не требует дополнительных мер по

созданию непрерывной электрической цепи. При этом запрещается применение шайб из диэлектрических материалов и шайб, окрашенных неэлектропроводными красками.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- Специальная обувь антиэлектростатическая;
- Предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- Средства защиты рук антиэлектростатические(перчатки).

4.7 Техника безопасности при работе с аппаратами, работающими под действием внутреннего избыточного давления

Параметры, обуславливающие безопасность работы с такими аппаратами – механическая прочность и герметичность, а также коррозионная стойкость. Главным условием герметичности является плотное соединение деталей аппаратов, а также технологических трубопроводов при помощи сварных или фланцевых соединений. Все сварные швы проверяются на герметичность. Герметичность фланцевого соединения обеспечивается за счет правильного выбора прокладки и конструкции самого фланца.

Элементы конструкции аппаратов не имеют углов, кромок, заусенцев, наплывов, металла после сварки и поверхностей с неровностями, представляющих источник опасности.

Трубопроводы, подводящие и отводящие технологические потоки, имеют цветовые обозначения и снабжаются маркировочными щитками, согласно [20]. В подводящих трубопроводах исключены резкие изменения температуры стенки (тепловые удары) при срабатывании предохранительного клапана.

Корпуса аппаратов (колонны, испарителя и теплообменника) и все внутренние их части выполнены из устойчивости к коррозии в среде нефтепродуктов низколегированной стали 09Г2С.

Все предохранительные клапаны и их вспомогательные устройства защищены от произвольного изменения их регулировки, размещены в местах, доступных для осмотра. Предохранительные клапаны и их вспомогательные устройства соответствуют [20].

Экологическая безопасность

Источниками выделений загрязняющих веществ в атмосферу являются:

- выбросы из сальниковых камер компрессоров;
- вентиляционные выбросы от вытяжной вентиляции компрессорной;
- выбросы через неплотности оборудования.

Из источников предприятия в атмосферу поступают загрязняющие вещества:

- пары пропилена;
- углеводородный газ;
- оборотная вода.

При сварочных и слесарных работах, в том числе:

- оксид железа;
- марганец и его соединения;
- фториды неорганические плохо растворимые;
- фтористый водород;
- пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20-70%;
- пыль абразивная;
- пыль металлическая (оксид железа);

Мероприятия по уменьшению выбросов загрязняющих атмосферу.

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

- использование герметичного оборудования, арматуры;
- утилизация углеводородных газов;
- подъем на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;

- установка на территории промплощадки датчиков загазованности, позволяющих оперативно обнаружить и устранить источник загрязнения;

- система подачи автоцистерн оснащена автоматическими ограничителями подачи.

Для предотвращения загрязнений поверхностных и подземных вод от загрязнения предусмотрено:

- сбор, очистка химзагрязненных, хоз-бытовых стоков на очистных сооружениях НПЗ;

- отвод загрязненных ливневых стоков с отбортованных площадок на очистные сооружения;

- повторное использование очищенных сточных вод в технологическом цикле;

- размещение заглубленных аварийных и дренажных емкостей в бетонных приямках, засыпанных песком; в приямке предусмотрен контроль утечек с использованием приборов КИП;

- отбортовка территории возможных проливов оборотной воды, асфальтобетонным покрытием внутри отбортовки;

- очистка хоз-бытовых, химзагрязненных и ливневых стоков на очистных сооружениях до ПДК для рыбохозяйственных водоемов перед сбросом их в отведенный для сброса водоем(Ручей);

- проведение аналитического контроля состава очищенных сточных вод на выходе с очистных сооружений и состава загрязнений р. Ручей в месте сброса (створа).

Деятельность предприятия по обращению с опасными отходами:

- складирование опасных промышленных отходов на предприятии не предусматривается;

- временное хранение отходов до утилизации производится в зависимости от класса опасности, физико-химических характеристик, [25].;

- отходы VI, V классов опасности (отходы от ремонтных работ, использованная тара, твердые бытовые отходы) временно хранятся в контейнерах на площадке для установки контейнеров;

- отработанные масла, жидкий шлам от очистных сооружений собираются в контейнеры, бочки на площадке для временного хранения отходов;

- шлам от зачистки резервуаров удаляется моечной машиной в автоцистерны или вручную в металлические контейнеры и вывозится без временного хранения на полигон промышленных токсичных отходов.

Площадка для временного хранения отходов имеют твердое покрытие и подъезд для автотранспорта.

Таблица 25 - Все отходы производства

Наименование	Место образования	Код по ФККО	Физико-химическая характеристика и состав	Периодичность образования	Количество отходов (всего), т/год	Использование отходов		Способ удаления (складирования)
						Передано другим	Заскладировано на полигоны.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обтирочные материалы, загрязненные маслами (ветошь промасленная)	Металлический контейнер с западной стороны корпуса	5710240101005	Твердое вещество, Содержание масел – менее 15 %	1 раз в 5 лет	0,20	-	0,15	Вывоз на полигон твердых бытовых отходов в качестве изолирующего слоя
Отработанное промышленное масло	Насосные склады и установки	5410020502033	Жидкость, состав: - масло – 95%; - мехпримеси - 5%; $\rho \approx 900 \text{ кг/м}^3$	2 раза в год	0,15	0,15	-	Вывоз на предприятия регенерации масел

Отработанное масло трансформаторное	Трансформаторная подстанция	5410020702033	Жидкость, состав: - масло – 95%; - мехпримеси - 5%; $\rho \approx 900 \text{ кг/м}^3$	1 раз в 2 года	1,54	1,54	-	Вывоз на предприятия регенирации масел Ж
Ил после биологической очистки	Со станции Биологической очистки бытовых сточных вод	-	-	1 раз в год	0,66	-	-	Вывоз на бытовые очистные сооружения в места, согласованные с санэпидстанцией
Использованная невозвратная тара: полиэтиленовая	-	5710290313995	Полиэтиленовая тара	-	0,05	-	0,05	Вывоз на полигон промышленных токсичных отходов в г.Томска

Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки	-	3533010013011	-	-	0,01	0,01	-	Вывоз на Специализированные предприятия по договоренности
Обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел 15%)	-	5490270101034	-	-	0,15	-	-	Вывоз на полигон промышленных токсичных отходов в г.Томска

*Бытовые отходы твердые: смет с территории; мусор бытовых помещений несортированный; отходы канцелярской деятельности; пищевые отходы буфета; отходы деятельности медпункта; строительный мусор	-	9120040001004	-	-	3,86	-	3,86	Вывоз на полигон твердых бытовых отходов
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---------------	---	---	------	---	------	------------------------------------------

*Количество твердых бытовых приведено исходя из нормы бытовых отходов на 1 работающего – 0,25 м³/год (с нормативным насыпным весом – 0,186 т/м³).

Токсичность отходов определяется в соответствии с [29].:

- «Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО)», утвержденным Приказом МПР России от 02.12.2002 г. №786;
- «Дополнением к ФККО», утвержденным указом МПР России от 30.07.2003 г. №66.

4.8 Безопасность в ЧС

4.9 Пожаровзрывобезопасность

Установка непредельных углеводородов относится к пожаровзрывоопасным производствам. Технологические блоки относятся к 1, 2, 3 категориям пожаровзрывоопасности согласно с [30].

Мероприятия для обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Наиболее опасным во взрывопожарном отношении являются технологические процессы протекающие в условиях низких и высоких температур с применением пожароопасных (смазочных масел) и взрывоопасного (пропилена), так же используется оборудование с вращающимися механизмами, подъемно-транспортное оборудование и средства малой механизации.

Для обеспечения пожаровзрывобезопасности сооружений в проекте предусмотрены следующие мероприятия:

- определены категории по пожаровзрывобезопасности помещений и наружных установок в соответствии с [31];
- определены классы взрывоопасных зон в местах обращения взрывопожароопасных продуктов в соответствии с [32];
- размещение зданий и сооружений НПЗ выполнено с учетом противопожарных разрывов, согласно нормам;
- все электрооборудование, размещаемое во взрывопожарных зонах имеет исполнение, соответствующее классу взрывопожароопасной зоны;
- освещение во взрывопожароопасных зонах выполнено в соответствующем ПУЭ;
- выполнена молниезащита зданий и сооружений в соответствии с нормами;
- выполнена защита коммуникаций от заноса высоких потенциалов;
- выполнена защита оборудования и трубопроводов от статического электричества;

- наружное пожаротушение зданий и сооружений осуществляется пожарными гидрантами, устанавливаемыми на кольцевых сетях противопожарного водопровода;
- пожаротушение насосной склада пропилена выполнено при помощи отдельной установки азотного пожаротушения;
- наружные установки УПН100А, 100Б оборудуются стояками сухотрубами $\varnothing 80$ мм для сокращения времени подачи воды, пены и других огнегасительных средств;
- предусмотрено паротушение и паровая защита печей;
- внутреннее пожаротушение насосных, лабораторий, котельной предусматривается пожарными кранами;
- предусматривается охлаждение при пожаре оборудования и конструкций наружных установок и автоэстакад, шаровых резервуаров склада пропилена;
- для обеспечения противопожарного водоснабжения предусматривается насосная, в которой устанавливается три насоса типа 1Д315-71(2 рабочих, 1 резервный) и два противопожарных резервуара объемом 1000 м³ каждый;
- в производственных помещениях предприятия предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция с механическим и естественным побуждением, а также аварийная вентиляция в помещениях категории А и в технологических насосных;
- управление технологическим процессом перемещения пропилена, хранения и отгрузки продукции осуществляется с помощью АСУ ТП, регулирование рабочих параметров и сигнализация об их отключениях выведены на дисплей в операторных КИП и ЦПУ;
- во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок устанавливаются датчики сигнализаторов до взрывных концентраций паров ЛВЖ с выдачей светозвукового сигнала оператору и звукового по месту;
- предусмотрена система пожарной и охранной сигнализации, включающая шлейфы с автоматическими и ручными извещателями, установленными на объектах НПЗ, и приемное контрольное устройство.

Первичные средства пожаротушения:

- ручные огнетушители (пенные и водные огнетушители вместимостью 10 литров, порошковые огнетушители, хладоновые огнетушители, углекислотные огнетушители)
- немеханизированный инструмент и инвентарь (асбестовое полотно, грубошерстная ткань, или войлок 2х2, лопаты штыковая и совковая, ящик с песком, ведро)

4.10 Чрезвычайные ситуации техногенного характера

Пожар

В случае возникновения пожара на площадке установки для хранения пропилена необходимо выполнить следующие действия согласно [35]:

- вызвать пожарную команду, сообщить о пожаре начальнику цеха, оператору ПУ цеха, при необходимости вызвать скорую помощь;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты(оповещение людей о пожаре, пожаротушения) в случае отказа автоматики произвести ручной запуск;
- произвести аварийную остановку установок насосов и компрессоров;
- при необходимости отключить электроэнергию, выключить вентиляторы, перекрыть трубопроводы, прекратить любые работы в пожарной зоне, кроме работ, связанных с ликвидацией пожара;
- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;
- принять меры по ликвидации пожара первичными стационарными и передвижными средствами пожаротушения (например, ручными огнетушителями) до прибытия подразделений пожарной охраны;
- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;
- пожарная охрана может использовать один или оба противопожарных насоса типа 1ДЗ15-71, устанавливаемых на производственных площадках.

Заключение

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

Проведён конструктивный расчёт, где был подобран стандартный теплообменник, а также штуцера для входа и выхода теплоносителей. Проведён механический расчёт, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки, эллиптического днища, распределительной камеры. Также в механическом расчёте были рассчитаны температурные деформации, подобраны фланцы и прокладки для обечаек, днищ и патрубков.

Кроме того, была рассчитана толщина трубной решетки, рассчитано развальцовочное соединения.

Фланцевые соединения были рассчитаны на прочность и герметичность, проведён расчёт необходимости укрепления отверстий. Для аппарата были рассчитаны стандартные опоры.

Выбрана и рассчитана изоляция теплообменника.

Произведен гидравлический расчёт данного теплообменника.

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

Список использованных источников

1. Павлов, Константин Феофанович. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. — 14-е изд., стер.. — Москва: Альянс, 2007. — 576 с.
2. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. -10-е изд. Стрeотипное, 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. Лашинский, Александр Александрович. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. — 3-е изд., стер.. — Москва: Альянс, 2008. — 752 с.
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. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию : учебное пособие / под ред. Ю. И. Дытнерского. — Изд. стер.. — Москва: Альянс, 2015. — 493 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.

36. ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. ИПК Издательство стандартов, 2002.- 111с.

37. ГОСТ Р 52857.6-2007. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - Введ. 2008-15.12. – М.: Стандартиформ, 2008-20с.

38. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. - Введ. 01-01.1996. – М.: Стандартиформ, 2008-20с.