

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
Разработка теплообменника для установки термостатирования реакторов

УДК 678.742.3.045.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Колесников Андрей Евгеньевич		

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	Сечина Ася Александровна	К.Х.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов Виктор Владимирович	К.Т.Н.		

Томск – 2016 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>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		и <i>FEANI</i>
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники 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,

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
		ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметакхим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для 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 **общефессиональными 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 налаживании, технических осмотрах, текущих ремонтах, проверке технического состояния оборудования и программных средств (ПК-7);
- способностью использовать элементы эколого-экономического анализа в создании энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК-8).

организационно-управленческая деятельность:

- способностью анализировать технологический процесс как объект управления (ПК-9);
- способностью проводить стоимостную оценку основных производственных ресурсов (ПК-10);
- способностью организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения в области организации труда и осуществлении природоохранных мероприятий (ПК-11);
- способностью систематизировать и обобщать информацию по формированию и использованию ресурсов предприятия (ПК-12).

научно-исследовательская деятельность:

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

проектная деятельность:

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2к22	Колесникову Андрею Евгеньевичу

Тема работы:

Разработка теплообменника для установки термостатирования реакторов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.03.16г., 2270/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><u>Кожухотрубчатый теплообменник.</u></p> <p><u>Производительность</u> по деминерализованной воде: 300 т/ч;</p> <p><u>Поверхность теплообмена:</u> 515 м²;</p> <p><u>Теплоносители:</u></p> <p>Горячий – деминерализованная вода: Т_н=60 °С, Т_к=35 °С;</p> <p>Холодный – обратная вода: Т_н=18 °С, Т_к=28 °С;</p> <p><u>Давление в трубном пространстве:</u> 0,25 МПа;</p> <p><u>Давление в межтрубном пространстве:</u> 0,6 МПа;</p> <p><u>Исполнение по материалу М1:</u> Кожух – 16ГС, Входная камера – 16ГС, Теплообменная труба – Сталь 20, Трубная решётка – 16ГС.</p> <p><u>Режим работы:</u> непрерывный;</p>
---	--

<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 расчёт; Конструктивный расчёт; Механический расчёт; Поверочный расчёт; Расчёт тепловой изоляции; Гидравлический расчёт; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и 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>Ахмеджанов Рафик Равильевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сечина Ася Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Колесников Андрей Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2к22	Колесников Андрей Евгеньевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	МАХП

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников</i></p> <p>2. <i>Оценка расходов на наладку и монтаж кожухотрубчатого теплообменника и пластинчатого</i></p> <p>3. <i>Сравнение экономических и технических характеристик кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников</i></p>	<p><i>Привести конкурентный анализ по техническим и технологическим параметрам для кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников</i></p> <p><i>Рассчитать затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание кожухотрубчатого теплообменника</i> <i>Рассчитать затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание пластинчатого теплообменника</i></p> <p><i>Провести сравнительный анализ экономических и технических характеристик для кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников</i></p>
---	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p>1. <i>Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого теплообменника</i></p> <p>2. <i>Затраты на приобретение, наладку и монтаж кожухотрубчатого теплообменника</i></p> <p>3. <i>Затраты на приобретение, наладку и монтаж пластинчатого теплообменника</i></p> <p>4. <i>Сравнительная характеристика кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников</i></p>	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина Ася Александровна	К.Х.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Колесников Андрей Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Колесников Андрей Евгеньевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – кожухотрубчатый теплообменник для установки термостатирования реакторов. Рабочая зона – рабочее место. Область применения - химическая промышленность.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов, которые может создать объект исследования, в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</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>1.1. Выявление вредных факторов в производственном цехе при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредные факторы: повышенный уровень вибрации, повышенная температура воздуха рабочей зоны, повышенный уровень шума, микроклиматические условия; - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; - действие вредных факторов на организм человека; - предлагаемые средства защиты от воздействия вредных факторов. <p>1.2. Выявление опасных факторов в производственном цехе при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электробезопасность (токоведущие части электрооборудования); - подвижные части производственного оборудования; -повышенная температура поверхности оборудования. <p>Средства защиты: хлопчатобумажные костюмы, защитные очки, ботинки кожаные, перчатки, фильтрующие противогазы, каска, наушники. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. СанПиН 2.2.4.548–96. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. ГОСТ 12.2.007.0-75 СанПиН 2.2.4.548-96</p>

	<i>СанПиН 2.2.4.1191- ГОСТ 12.1.007-76</i>
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<i>- вредные воздействия, которые возникают во эксплуатации аппарата</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<i>-пожарная и взрывная опасность - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<i>- правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях (законы, организации и т.д.)</i> <i>Конституции РФ; ФЗ “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”; ФЗ “О пожарной безопасности”; ФЗ “О радиационной безопасности населения”; Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда”.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Колесников Андрей Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит пояснительной записки, содержащей 123 с., 19 рис., 14 табл., 35 источников литературы и 1 приложение, 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, поверочный и гидравлический расчёты, а также расчёт тепловой изоляции.

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

Основные характеристики: производительность - 300 т/ч; поверхность теплообмена: 209 м²; теплоносители – вода; давление: 0,25 и 0,6 МПа.

PAPER

Thesis consist of 123 p., 19 fig., 14 tab., 35 sources, and 1 app.

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 t / h; heat exchange surface: 515 m²; heat transfer fluids - water; pressure: 0.25 and 0.6 MPa.

Оглавление

Введение.....	16
1. Описание технологической схемы.....	17
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.....	30
2.3 Механический расчёт теплообменника.....	33
2.3.1 Расчётные параметры.....	33
2.3.2 Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки.....	35
2.3.3 Расчет толщины стенок эллиптического.....	37
2.3.4 Расчет толщины стенки распределительной камеры.....	39
2.3.5 Расчет температурных деформации.....	41
2.3.6 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ.....	43
2.3.7 Подбор продольных и поперечных перегородок.....	44
2.3.8 Расчет толщины трубной решетки.....	45
2.3.9 Расчет развальцовочного соединения.....	47
2.3.10 Расчёт на прочность и герметичность фланцевого соединения.....	48
2.3.11 Расчёт плоских круглых крышек.....	57
2.3.12 Расчет необходимости укрепления отверстий.....	59
2.3.13 Расчёт стандартной опоры аппарата.....	64
2.4 Поверочный расчёт.....	69
2.5 Расчёт тепловой изоляции.....	84
2.6 Гидравлический расчёт.....	85
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	88
3.1 Сравнение экономических и технических характеристик кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников.....	88
3.2 Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников.....	89
3.3 Оценка расходов на наладку и монтаж кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников.....	93
4. Социальная ответственность.....	98
4.1 Производственная безопасность.....	98
4.2 Анализ вредных факторов при эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника.....	99
4.3 Анализ опасных факторов при эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника.....	104
4.4 Экологическая безопасность.....	110
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
4.5.1 Пожарная и взрывная опасность.....	110
4.5.2. Чрезвычайные ситуации на производственном объекте.....	112
4.5.3. Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	115
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	116
Заключение.....	118
Список использованных источников.....	119
Приложение А.....	121

Введение

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

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической отрасли промышленности. Удельный вес теплообменного оборудования составляет на предприятиях химической промышленности в среднем 15-18%, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 50% . Это объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты. И совершенствование процесса теплообмена теоретически и практически может уменьшить энерго- и трудозатратность при производстве.

1 Описание технологической схемы

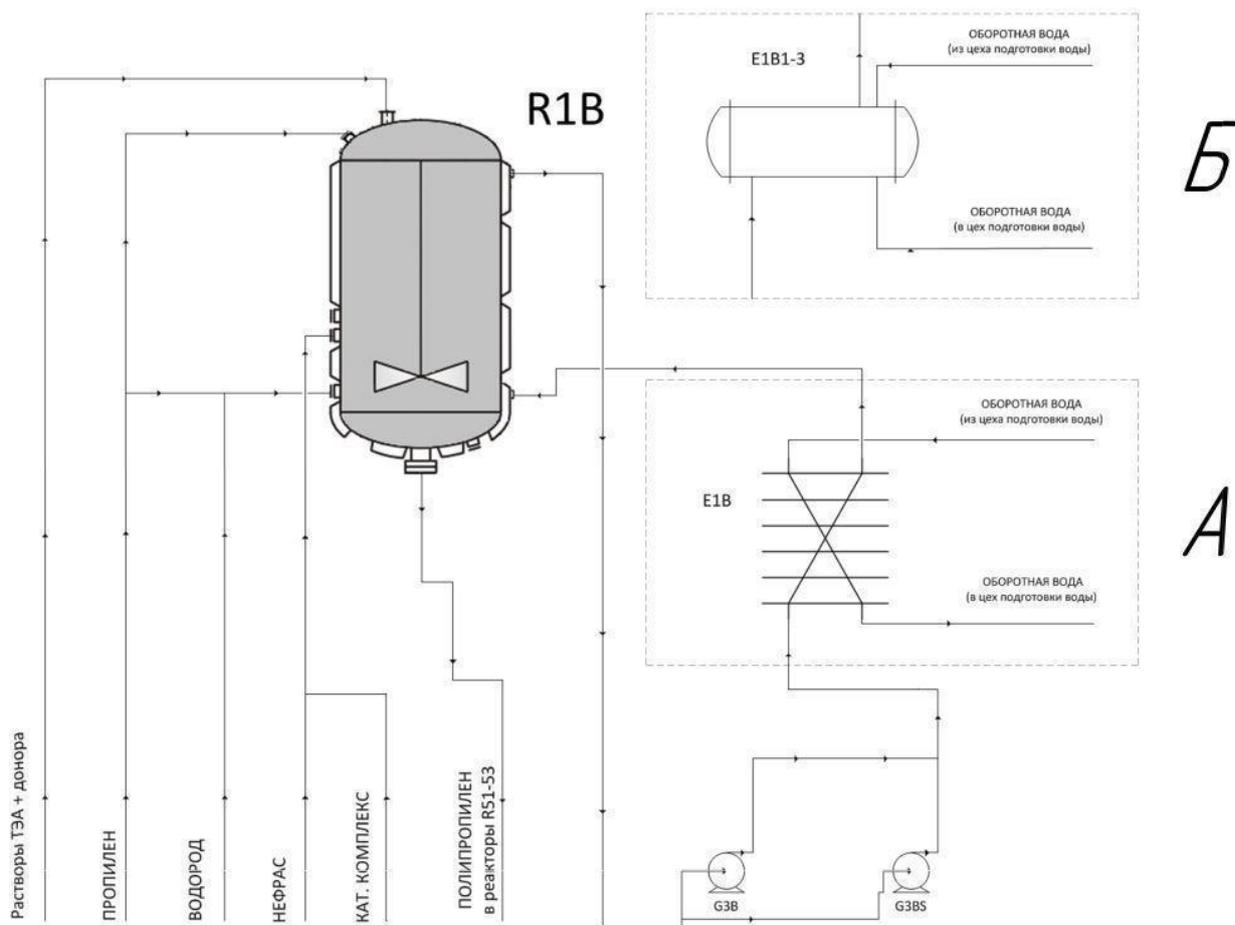


Рисунок 1.1. Технологическая схема узла термостатирования реактора.

Узел полимеризации пропилена, предназначен для наработки порошка полипропилена. Получение порошка полипропилена осуществляется на двух параллельно работающих технологических линиях "А" и "В".

Исходным сырьём для получения полипропилена является пропилен. Реакция полимеризации пропилена ведется непрерывно в реакторах (рис. 1.1) в среде растворителя – нефрас, который подаётся в реактор. В качестве регулятора молекулярной массы используется водород. Катализатором реакции служит каталитический комплекс, состоящий из титаномагниевого катализатора, триэтилалюминия и донора.

В реактор подается пропилен, нефрас высокого давления с каталитическим комплексом и водород. Полученная суспензия полимера в нефрасе с низа реактора выгружается во вторичные реакторы R-51 -53.

Реактор получения полипропилена - цилиндрическая вертикальная емкость, вместимостью 71.4 м³, с рубашкой, где циркулирует деминерализованная вода. На рисунке 1.1 представлен реактор R-1В.

Для отвода избыточного тепла из зоны реакции полимеризации или для первоначального разогрева реактор снабжён замкнутой системой термостатирования, в которой циркулирует деминерализованная вода.

Система термостатирования реактора состоит из пластинчатого теплообменника, охлаждаемого оборотной водой.

Циркуляция деминерализованной воды по контуру термостатирования осуществляется насосами.

2. Расчёт кожухотрубчатого теплообменника

2.1 Технологический расчёт теплообменника

Определение поверхности теплообмена

Определение поверхности теплообмена производится в соответствии с методикой, изложенной в "Глава 4. Теплопередача в химической аппаратуре." [1].

Исходные данные:

Начальная температура деминерализованной воды:

Конечная температура деминерализованной воды:

Начальная температура оборотной воды:

Конечная температура оборотной воды:

Рабочее давление в межтрубном пространстве:

Рабочее давление в трубном пространстве:

Расход деминерализованной воды:

$$t_{н.Х.С.} := 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{к.Х.С.} := 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{н.Г.С.} := 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{к.Г.С.} := 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{раб.мжт}} := 0.6 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{раб.тр}} := 0.25 \text{ МПа}$$

$$G_{\text{д.в.}} := 300 \frac{\text{т}}{\text{час}}$$

Выбор взаимного направления движения теплоносителей.

Правильный выбор взаимного направления движения теплоносителей имеет существенное значение для наиболее экономичного проведения процесса теплообмена. Поэтому, в соответствии с рекомендациями, изложенными в [2, стр.304], принимаем противоточное направление движения теплоносителей.

Это даёт то, что при противотоке более холодный теплоноситель с начальной температурой $t_{2н}$ может нагреться до более высокой, по сравнению с прямоточным движением, температурой $t_{2к}$, близкой к начальной температуре $t_{1н}$ более нагретого теплоносителя (Рис.1). Это позволит сократить расход более холодного теплоносителя. Это

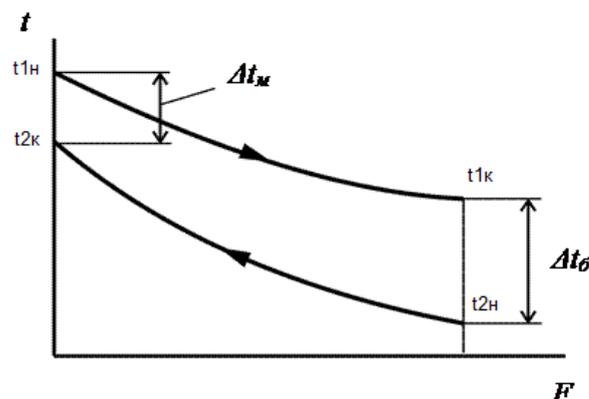


Рисунок 1. График изменения температур теплоносителей противоточной схем движения.

целесообразно, т.к. заданный расход деминерализованной воды (горячего теплоносителя) высок (300т/час), а расход оборотной воды (холодного теплоносителя) будет ещё больше. Однако, выбор противоточной схемы движения приводит к некоторому уменьшению средней разности температур и соответственно к увеличению потребной поверхности теплообмена, а следовательно и к некоторому увеличению габаритов аппарата. Но, тем не менее, противоток более экономичен, поэтому принимаем именно эту схему движения.

Расчёт средней разницы температур между теплоносителями.

Согласно методике, изложенной в [1,стр.169] определим среднюю разность температур при противотоке теплоносителей:



$$\Delta t_{\text{б}} := t_{\text{н.Г.С.}} - t_{\text{к.Х.С.}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} := t_{\text{к.Г.С.}} - t_{\text{н.Х.С.}} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Так как $\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} = 1.882 < 2$, то средняя разность температур находится как среднее арифметическое.

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{(\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}})}{2} = 24.5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Расчёт средней температуры теплоносителей.

Среднее значение температуры "холодного" (ХС) и "горячего" (ГС) теплоносителей вычисляется по формулам, изложенным в [1,стр.170]:

$$t_{\text{ср.Х.С.}} := \frac{t_{\text{к.Х.С.}} + t_{\text{н.Х.С.}}}{2} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{ср.Г.С.}} := \Delta t_{\text{ср}} + t_{\text{ср.Х.С.}} = 47.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбор значений теплофизических свойств теплоносителей.

Значения теплофизических свойств теплоносителей при их средних температурах подбираем из справочника [18].

ТРУБНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Теплоноситель: ОБОРОТНАЯ ВОДА

Средняя температура: $t_{\text{ср.х.с}} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$

Теплоёмкость: $C_{p1} := 4.18 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Плотность: $\rho_1 := 997.62 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Вязкость: $\mu_1 := 0.933 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

МЕЖТРУБНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Теплоноситель: ДЕМИНЕРАЛИЗОВАННАЯ ВОДА

Средняя температура: $t_{\text{ср.г.с}} = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Теплоёмкость: $C_{p2} := 4.18 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Плотность: $\rho_2 := 989.36 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Вязкость: $\mu_2 := 0.576 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Расход: $G_{\text{д.в.}} := 300 \frac{\text{т}}{\text{час}}$

Расчёт расходов теплоносителей.

Переведём массовый расход деминерализованной воды в кг/с:

$$G_{\text{д.в.}} := G_{\text{д.в.}} \cdot \frac{1000}{3600} = 83.333 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

По уравнению теплового баланса [2,стр.262], массовый расход оборотной воды с учётом теплопотерь 5% будет равен:

$$G_{\text{о.в.}} := \frac{1.05 G_{\text{д.в.}} \cdot C_{p2} \cdot (t_{\text{н.г.с.}} - t_{\text{к.г.с.}})}{C_{p1} \cdot (t_{\text{к.х.с.}} - t_{\text{н.х.с.}})} = 218.75 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Расчёт тепловой нагрузки аппарата.

Так как в заданном процессе не происходит изменение агрегатного состояния ни вещества теплоносителя, ни вещества хладагента, то тепловая нагрузка находится по уравнению теплового баланса [2,стр.262]:

$$Q := G_{\text{о.в.}} \cdot C_{p1} \cdot (t_{\text{к.х.с.}} - t_{\text{н.х.с.}}) = 9.144 \times 10^6 \text{ Вт}$$

Предварительный расчёт ориентировочной поверхности теплообмена.

Вычислим ориентировочную поверхность теплообмена при максимальном и минимальном коэффициентах теплопередачи по [1,табл.4.8]. Коэффициент теплопередачи принимаем для вынужденного движения: от жидкости к жидкости.

$$K_{\text{орmin}} := 80 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad K_{\text{орmax}} := 170 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Тогда ориентировочную поверхность теплообмена вычислим по основному уравнению теплопередачи [2,стр.262]:

$$F_{\text{орmin}} := \frac{Q}{K_{\text{орmax}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 219.538 \text{ м}^2 \quad F_{\text{орmax}} := \frac{Q}{K_{\text{орmin}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 466.518 \text{ м}^2$$

Определение скорость движения теплоносителя в трубном пространстве и числа труб в трубном пучке.

Для дальнейшего расчёта необходимо задаться значением критерия Рейнольдса в трубном пространстве, а также параметрами труб.

Принимаем значение критерия Рейнольдса равным 20000, которое является значением: развитого турбулентного течения [1,стр.17]. А также зададимся параметрами стандартных труб диаметром 25*2мм.

$$Re_1 := 20000; d_{вн} := 0.02 \text{ м}; d_{нар} := 0.02 \text{ м}; d_1 := d_{вн}; d_2 := d_{нар};$$

Ориентировочно зададимся диаметром теплообменника равным:

$$D := 1.0 \text{ м}$$

Тогда скорость теплоносителя в трубном пространстве найдём из формулы критерия Рейнольдса [1,стр.17] будет равна:

$$\omega_1 := \frac{Re_1 \cdot \mu_1}{d_1 \cdot \rho_1} = 0.891 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число параллельно работающих труб 25*2,находим по формуле:

$$n := \text{ceil}\left(\frac{G_{о.в.}}{0.785 \cdot Re_1 \cdot d_{вн} \cdot \mu_1}\right) = 712 \text{ труб}$$

Расчёт скорости движения теплоносителя в межтрубном пространстве.

Для интенсификации процесса теплообмена в межтрубном пространстве будут установлены перегородки. Согласно [3,табл.5], для аппарата диаметром 1000 мм и наружным диаметром труб 25 мм, площадь проходного сечения между перегородками будет равна:

$$S_M := 13 \cdot 10^{-2} = 0.13 \text{ м}^2$$

Тогда скорость теплоносителя в межтрубном пространстве будет равна:

$$\omega_2 := \frac{G_{д.в.}}{\rho_2 \cdot S_M} = 0.648 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Для определения значения критерия Рейнольдса, необходимо определить эквивалентный диаметр теплообменника с гладкими трубами:

Согласно [1,стр.27],эквивалентный диаметр будет равен:

$$d_э := \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - n \cdot \frac{\pi \cdot d_{нар}^2}{4} \right)}{n \cdot (\pi \cdot d_{нар})} = 0.031$$

Тогда значения критерия Рейнольдса для межтрубного пространства:

$$Re_2 := \frac{\omega_2 \cdot d_э \cdot \rho_2}{\mu_2} = 3.47 \times 10^4$$

Расчёт ориентировочных коэффициентов теплоотдачи для каждого потока.

Коэффициент теплоотдачи находится по формуле [1,стр.150]:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{экв}}}$$

Для расчета необходимо подобрать критериальное уравнение расчета критерия Нуссельта, а также для расчёта процесса теплопередачи необходимо знать температуры $t_{\text{ст1}}$ и $t_{\text{ст2}}$. Расчёт проводим по методике [1, стр.219-221].

Зададимся значениями $t_{\text{ст1}}$ и $t_{\text{ст2}}$ исходя из условия:

$$t_{\text{ср.Г.С}} > t_{\text{ст1}} > t_{\text{ст2}} > t_{\text{ср.Х.С}}$$

$$t_{\text{ср.Г.С}} = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ср.Х.С}} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Примем и позже уточним значения:

$$t_{\text{ст1}} := 42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ст2}} := 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчёт коэффициента теплоотдачи для трубного пространства.

По [1, рис.Х] определяем значения коэффициентов теплопроводности обратной воды при $t_{\text{ст1}}$:

$$t_{\text{ст1}} = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{о.в.}} := 0.5 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{C}}$$

$$\lambda_{\text{о.в.}} := 1.163 \cdot \lambda_{\text{о.в.}} = 0.64 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

По [1, рис.ХIII] находим значения критерия Прандтля (Pr) для обратной воды при средней температуре:

$$t_{\text{ср.Г.С}} = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr := 4$$

По [1, рис.ХIII] находим значения критерия Прандтля ($Pr_{\text{ст}}$) для обратной воды при температуре стенки:

$$t_{\text{ст1}} = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr_{\text{ст}} := 4.4$$

$\varepsilon_1 := 1$ - коэффициент, учитывающий влияние на коэффициент теплоотдачи отношения длины трубы к ее диаметру $l/d > 50$ [2, табл.4.5].

Критерий Нуссельта для трубного пространства:

Так как горячий поток движется турбулентно в прямых трубах [1, стр.152], то критериальное уравнение для расчета критерия Нуссельта будет выглядеть так:

$$Nu := 0.023 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_1^{0.8} Pr^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} = 111.853$$

Ориентировочный коэффициент теплоотдачи для трубного пространства:

$$\alpha_{о.в.} := \frac{Nu \cdot \lambda_{о.в.}}{d_1} = 3.407 \times 10^3 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Расчёт коэффициента теплоотдачи для межтрубного пространства.

По [1,рис.X] определяем значения коэффициентов теплопроводности обратной воды при $t_{ст2}$:

$$t_{ст2} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{д.в.} := 0.5 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{C}}$$

$$\lambda_{д.в.} := 1.163 \cdot \lambda_{д.в.} = 0.616 \frac{Вт}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

По [1,рис.XIII] находим значения критерия Прандтля (Pr) для деминерализованной воды при средней температуре:

$$t_{ср.ж.с} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr := 6.5$$

По [1,рис.XIII] находим значения критерия Прандтля ($Pr_{ст}$) для деминерализованной воды при температуре стенки:

$$t_{ст2} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr_{ст} := 6.6$$

$\varepsilon_1 := 0.4$ - коэффициент, учитывающий, что теплоноситель в межтрубном пространстве лишь часть пути движется поперек труб и при угле атаки, меньшем 90градусов; кроме того он может протекать через щели между перегородками и кожухом или трубами [1,табл.4.5].

Критерий Нуссельта для межтрубного пространства:

Так как холодный поток поперечно обтекает пучок гладких труб при их шахматном расположении [1,стр.156], при турбулентном режиме движения жидкости, то критериальное уравнение для нахождения критерия Нуссельта имеет вид:

$$Nu := 0.4 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_2^{0.6} Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} = 165.694$$

Ориентировочный коэффициент теплоотдачи для межтрубного пространства:

$$\alpha_{д.в.} := \frac{Nu \cdot \lambda_{д.в.}}{d_2} = 4.085 \times 10^3 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Расчёт коэффициента теплопередачи.

Тепло передаётся через стенки труб 25*2, поэтому необходимо учитывать тепловую проводимость стенок и загрязнений. Материал стенки – сталь 20, величины по таблице [1, XXVIII] для стали 20:

$\delta_{ст} := 2 \cdot 10^{-3}$ м - толщина стенки;

$\lambda_{ст} := 46$ Вт/(м·К) - коэффициент теплопроводности стали;

По [1, табл. XXXI] тепловая проводимость загрязнений стенок:

Вода дистиллированная: 11600 Вт/(м²·К)

Вода среднего качества: 1400-1860 Вт/(м²·К)

$$\Sigma r_{загр} := \frac{1}{11600} + \frac{1}{1400} = 8.005 \times 10^{-4}$$

$$\Sigma R := \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \Sigma r_{загр}$$

Коэффициент теплопередачи:

Находим коэффициент теплопередачи с поправкой на коэффициент теплоотдачи и с учётом загрязнения стенки [1, стр. 168].

$$K_{расч} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{о.в.}} + \frac{1}{\alpha_{д.в.}} + \Sigma R} = 723.695 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Расчёт площади поверхности теплопередачи.

Действительная площадь поверхности теплопередачи определяется по уравнению теплопередачи [1, стр. 168]

$$F_{расч} := \frac{Q}{K_{расч} \cdot \Delta t_{ср}} = 515.707 \text{ м}^2$$

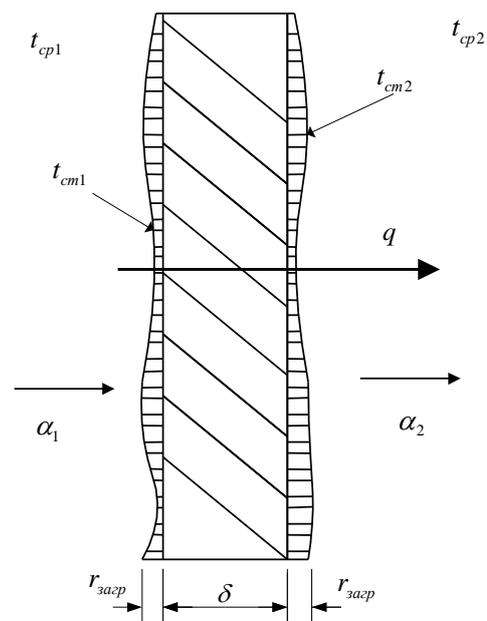


Рисунок 2. Схема теплопередачи через стенку труб

Проверка значений $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$.

Как было указано при расчёте ориентировочных коэффициентов теплоотдачи для каждого потока теплоносителя, необходимо уточнить значения $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$. Определим значения $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$, исходя из того что

$$q' = K' \Delta t_{cp} = \alpha_1' \Delta t_1' = \frac{1}{\sum r_{cm}} = \Delta t_2' = \alpha_2' \Delta t_2'$$

,где сумма

$$\Delta t_1' + \Delta t_{cm}' + \Delta t_2' = \Delta t_{cp}$$

Поверхностная плотность теплового потока:

$$q := K_{расч} \cdot \Delta t_{cp} = 1.773 \times 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\Delta t_{ст1} := \frac{q}{\alpha_{о.в.}} = 5.204 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{ст2} := \frac{q}{\alpha_{д.в.}} = 4.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отсюда

$$t_{ст1} := t_{ср.Г.С} - \Delta t_{ст1} = 42.296 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ст2} := t_{ср.Х.С} + \Delta t_{ст2} = 27.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Дальнейшее уточнение $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$ и других величин не требуется, так как расхождение между коэффициентами теплоотдачи, и другими величинами не превышает 5%.

В итоге получили расчётную площадь поверхности теплообмена:

$$F_{расч} = 515.707 \text{ м}^2$$

2.2 Конструктивный расчёт теплообменника

2.2.1 Подбор стандартного теплообменника

Выбор стандартного теплообменника проводится по методике, изложенной в [4, 1.5].

Рассчитанная площадь поверхности теплопередачи:

$F_{\text{расч}} = 515.707 \text{ м}^2$, является слишком большой для одного теплообменника, поэтому будем использовать три параллельных одинаковых стандартных теплообменника. Для конструктивного расчёта необходимо разделить поверхность теплообмена и массовые расходы теплоносителей на количество теплообменников. Получаем:

$$F_{\text{расч}} := \frac{F_{\text{расч}}}{3} = 171.902 \text{ м}^2$$

$$G_{\text{о.в.}} := \frac{G_{\text{о.в.}}}{3} = 72.917 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_{\text{д.в.}} := \frac{G_{\text{д.в.}}}{3} = 27.778 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Расчёт площади проходного сечения трубок одного хода и количества труб:

Для кожухотрубчатых теплообменников важным элементом является расчет проточной части трубного пространства. Исходя из заданной производительности аппарата и скорости движения жидкости, по уравнению расхода определяют площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_{\text{о.в.}}}{\rho_1 \cdot \omega_1} = 0.082 \text{ м}^2$$

Отсюда число трубок одного хода:

$$n_1 := \text{ceil} \left(\frac{f_1}{0.785 \cdot d_{\text{вн}}^2} \right) = 238 \text{ штук}$$

Расчётная длина трубки при одном ходе.

d_p -расчётный диаметр трубки, определяемый в зависимости от соотношения коэффициентов теплоотдачи в трубном и межтрубном пространстве, соответственно:

при $\alpha_1 \approx \alpha_2$	$d_p = 0,5(d_* + d_*)$
при $\alpha_1 \gg \alpha_2$	$d_p = d_*$
при $\alpha_1 \ll \alpha_2$	$d_p = d_n$.

$$\alpha_{д.в.} = 4.085 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \approx \alpha_{о.в.} = 3.407 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Т.к. порядок коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве равен коэффициенту теплоотдачи в трубном, то принимаем:

$d_p := 0.5 \cdot (d_{вн} + d_{нар}) = 0.023$, тогда расчётная длина трубки при одном ходе:

$$L_1 := \frac{F_{расч}}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 9.996 \text{ м}$$

Расчёт число ходов трубного пространства и общего количества труб.

Была определена расчётная длина трубки при одном ходе:

$$L_1 = 9.996 \text{ м}$$

Но полученное значение большое для стандартных теплообменников. Рабочую длину труб рекомендуется принимать не более 4м.

$l_x := 4 \text{ м}$ - рабочая длина труб.

Тогда число ходов по трубному пространству будет равно:

$$Z := \frac{L_1}{l} = 2.499$$

В многоходовых аппаратах выбирается четное число ходов, поэтому принимаем:

$$Z_x := 4$$

Тогда общее число трубок, размещаемое на трубной решетке будет равно:

$$n_x := n_1 \cdot Z = 952 \text{ шт.}$$

Трубы чаще всего размещаются по периметрам правильных шестиугольников. Для этого случая при подсчёте общего количества труб n исходят из числа труб a , расположенных на стороне наибольшего шестиугольника:

$$n = 3a(a - 1) + 1$$

Число труб, расположенных на стороне шестиугольника:

$$\text{Disk} := -3 - 4 \cdot 3 \cdot (1 - n_x) = 1.141 \times 10^4$$

$$a_{в1} := \text{ceil}\left(\frac{3 + \sqrt{\text{Disk}}}{2 \cdot 3}\right) = 19 \text{ шт.}$$

Число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника :

$$b_{в1} := 2 \cdot a_{в1} - 1 = 37$$

Расчётный диаметр многоходового теплообменника.

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

$\eta := 0.9$ - коэффициент заполнения трубной решетки.

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n_x}{\eta}} = 1.145 \times 10^3 \text{ мм}$$

По полученным данным, выбираем наиболее подходящий стандартный теплообменник типа ТН или ТК с основными характеристиками:

Внутренний диаметр аппарата:	$D_{\text{вн}} := 1000 \text{ мм}$
Общее число труб:	$N := 718 \text{ шт}$
Площадь поверхности теплообмена:	$F := 209 \text{ м}^2$
Длина труб:	$l = 4 \text{ м}$
Число рядов труб в пучке:	$n_{\text{ряд}} := 26 \text{ шт}$
Расстояние между перегородками	$l_{\text{пер}} := 520 \text{ мм}$
Трубы:	25*2 мм
Исполнение (материал): М1	Кожух: 16ГС; Распределительная камера и крышки: 16ГС; Теплообменные трубы: Сталь 20; Трубные решетки: 16ГС.

Запас площади поверхности:

$$\Delta := \frac{|F - F_{\text{расч}}|}{F} \cdot 100 = 17.75 \%$$

Полученный запас площади поверхности теплообмена достаточен.

2.2.2 Подбор штуцеров для входа и выхода теплоносителей

Горячий и холодный теплоносители подаются в аппарат и выводятся из него через специальные устройства называемые штуцерами. Это сборочная единица, состоящая из патрубка и фланца. Штуцера свариваются в технологические отверстия в аппарате.

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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\rho \cdot \pi \cdot \omega}}$$

скорость жидкости при движении в напорных трубопроводах [1,табл.1.1]задаётся в интервале:

$$\omega = 0.5 \div 2.5 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

Принимаем: $\omega_{\text{о.в.}} := 2 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ - скорость движения оборотной воды

$\omega_{\text{д.в.}} := 2 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ - скорость движения деминерализованной воды

Физические свойства теплоносителей при температуре.

Значения теплофизических свойств теплоносителей при заданных температурах подбираем из справочника [18].

Температура на входе и выходе:	Плотность оборотной воды:	Температура на входе и выходе:	Плотность деминерализованной воды:
$t_{\text{н.х.с.}} = 18 \text{ } ^\circ\text{С}$	$\rho_{\text{о.в.н.}} := 998.68 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$	$t_{\text{н.г.с.}} = 60 \text{ } ^\circ\text{С}$	$\rho_{\text{д.в.н.}} := 983.13 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$
$t_{\text{к.х.с.}} = 28 \text{ } ^\circ\text{С}$	$\rho_{\text{о.в.к.}} := 996.31 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$	$t_{\text{к.г.с.}} = 35 \text{ } ^\circ\text{С}$	$\rho_{\text{д.в.к.}} := 994.08 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$

Расчёт внутренних диаметров патрубков.

ОБОРОТНАЯ ВОДА

-на входе

$$d_{\text{см.вх.}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{о.в.}}}{\rho_{\text{о.в.н.}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{о.в.}}}} = 0.216 \text{ М}$$

-на выходе

$$d_{\text{г.п.}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{о.в.}}}{\rho_{\text{о.в.к.}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{о.в.}}}} = 0.216 \text{ М}$$

ДЕМИНЕРАЛИЗОВАННАЯ ВОДА

-на выходе

$$d_{\text{см.вых}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{д.в.}}}{\rho_{\text{д.в.н}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{д.в.}}}} = 0.134 \text{ м}$$

-на выходе

$$d_{\text{к.г.п.}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{д.в.}}}{\rho_{\text{д.в.к}} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{д.в.}}}} = 0.133 \text{ м}$$

Принимаем патрубки:

ОБОРОТНАЯ ВОДА

-на входе

$$d_{\text{о.в.вх}} := 0.202 \text{ м}$$

-на выходе

$$d_{\text{о.в.вых}} := 0.202 \text{ м}$$

Согласно [6,табл.1], принимаем патрубки с размерами:219*8,5мм,длина патрубка 200мм.Условные проход $D_u=200$ мм.Диаметр отверстия под трубу, в соответствии с [5,табл.19.1], принимаем 224мм.

Таблица 1.Отрывок из табл.19.1

Диаметр отверстий под трубы d в стенках и фланцах сварной аппаратуры в зависимости от d_n трубы

d_n , мм	≤ 20	>20 до 50	>50 до 70	>70 до 100	>100 до 200	>200
d , мм	$(d_n + 0,5)^{+0,1}$	$(d_n + 0,8)^{+0,2}$	$(d_n + 1,5)^{+0,3}$	$(d_n + 2,5)^{+0,4}$	$(d_n + 3,5)^{+0,5}$	$1,02d_n^{+0,5}$

ДЕМИНЕРАЛИЗОВАННАЯ ВОДА

-на выходе

$$d_{\text{д.в.вх}} := 0.146 \text{ м}$$

-на выходе

$$d_{\text{д.в.вых}} := 0.146 \text{ м}$$

Согласно [6,табл.1],принимаем патрубки с размерами:159*6,5мм,длина патрубка 200мм.Условные проход $D_u=150$ мм.Диаметр отверстия под трубу, в соответствии с [5,табл.19.1],принимаем 163мм.

Масса патрубков.

Согласно [6,табл.1],находим массу 200мм патрубков.

Масса 1 м труб

$$M_{T_{219 \times 8.5}} := 44.13 \text{ кг}$$

$$M_{T_{159 \times 6.5}} := 24.45 \text{ кг}$$

Масса 0,2 м труб

$$M_{П_{219 \times 8.5}} := M_{T_{219 \times 8.5}} \cdot 0.2 = 8.826 \text{ кг}$$

$$M_{П_{159 \times 6.5}} := M_{T_{159 \times 6.5}} \cdot 0.2 = 4.89 \text{ кг}$$

Подбор фланцев на штуцера.

Подбор фланцев на патрубки с диаметрами 219*8,5и 159*6,5ведётся согласно

рекомендациям справочника [5, глава 21]. Фланцы были подобраны 4 типа: плоские приварные встык (рис.3). Основные размеры фланцев были вынесены в табл.2 и 3.

Условным давлением принимаем давление: 0,6 МПа

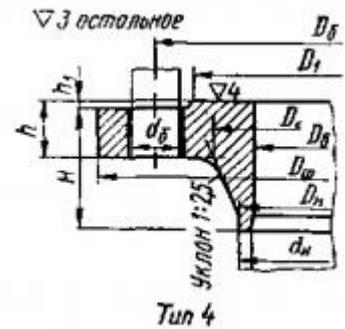


Рисунок 3. Фланец арматуры, соединительных частей из чёрных металлов, цельный.

Таблица 2. Основные размеры фланцевого соединения $D_y=200$ мм.

p_{y1} МН/м ²	D_y	d_n	D_{ϕ}	D_b	D_1	Болты		Тип фланцев					
						d_b	z	4					Масса, кг
								ГОСТ 12830—67					
мм							D_2	D_n	D_b	H	h	мм	
0,6	200	219	315	280	258	M16	8	235	222	202	50	17	8,37

Таблица 3. Основные размеры фланцевого соединения $D_y=150$ мм.

p_{y1} МН/м ²	D_y	d_n	D_{ϕ}	D_b	D_1	Болты		Тип фланцев					
						d_b	z	4					Масса, кг
								ГОСТ 12830—67					
мм							D_2	D_n	D_b	H	h	мм	
0,6	150	159	260	225	202	M16	8	172	161	146	43	13	5,37

Массы фланцев:

Согласно таблица 2и 3, масса фланцев будет равна:

$$m_{\phi 219} := 8,37 \text{ кг}$$

$$m_{\phi 159} := 5,37 \text{ кг}$$

2.3 Механический расчёт теплообменника

2.3.1 Расчётные параметры

Исходные данные:

Внутренний диаметр обечайки: $\underline{D} := 1000 \text{ мм}$

Длина обечайки: $\underline{L} := 4000 \text{ мм}$

Рабочее давление в межтрубном пространстве: $P_{\text{раб.мжт}} = 0.6 \text{ МПа}$

Рабочее давление в трубном пространстве: $P_{\text{раб.тр}} = 0.25 \text{ МПа}$

Расчётная температура: $t_{\text{раб}} := 60 \text{ }^\circ\text{C}$

Теплообменник выполнен в исполнении М1, в соответствии с [3,табл.6]. Материалы основных узлов и деталей теплообменника указаны в табл.4.

Таблица 4– Исполнение теплообменника по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Распред-камера	Теплообменная труба	Трубная решетка
М1	16ГС	16ГС	Сталь 20	16ГС

Расчётные параметры:

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при $t=60 \text{ }^\circ\text{C}$, согласно [7,табл.А.1]:

$$\sigma_t := 186.4 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали марки 16ГС при нормальных условиях, согласно [7,табл.А.1]:

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

Плотность деминерализованной воды при $t_{\text{ср}}=47,5 \text{ }^\circ\text{C}$, согласно данным справочника [18]:

$$\rho_{\text{д.в.}} := 989.36 \text{ кг/м}^3$$

Плотность оборотной воды при $t_{\text{ср}}=23 \text{ }^\circ\text{C}$, согласно данным справочника [18]:

$$\rho_{\text{о.в.}} := 997.6 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент уменьшения номинального допускаемого напряжения, согласно пособию [8,стр.110]:

$$\eta_w := 1$$

Ускорение свободного падения:

$$g_w := 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Расчётное значение предела текучести для стали марки 16ГС при $t=60 \text{ }^\circ\text{C}$, согласно [7,табл.Б.2]:

$$R_{02} := 282.7 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, согласно [7, табл. 1]:

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления в межтрубном пространстве, согласно пособию [8]:

$$P_{р.мжт.} := P_{раб.мжт.} + \frac{\rho_{д.в.} \cdot g \cdot D}{10^9} = 0.61 \text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления в трубном пространстве, согласно пособию [8]:

$$P_{р.тр.} := P_{раб.тр.} + \frac{\rho_{д.в.} \cdot g \cdot D}{10^9} = 0.26 \text{ МПа}$$

Пробные давления при гидравлическом испытании внутри аппарата рассчитываем согласно пособию [8].

Допускаемое напряжение при расчёте по предельным нагрузкам сосудов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам:

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 196 \text{ МПа}$$

Пробное давление в межтрубном пространстве при гидравлических испытаниях будет равно:

$$P_{пр.мжт.} := 1.25 \cdot P_{раб.мжт.} \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_t} = 0.788 \text{ МПа}$$

Пробное давление в трубном пространстве при гидравлических испытаниях будет равно:

$$P_{пр.тр.} := 1.25 \cdot P_{раб.тр.} \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_t} = 0.328 \text{ МПа}$$

Гидравлически испытания аппаратов проводят в соответствии с требованиями [9, табл. 15]

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при гидравлических испытаниях, согласно пособию [8]:

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 16ГС:

$$R_{02} = 282.75 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02}}{1.1}, 0.5\right) = 257 \text{ МПа}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

c1 := 1 - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

c2 := 0.8 - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

c3 := 0 - прибавка технологическая, мм.

c — сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм:

$$c := \text{Ceil}(c1 + c2 + c3, 0.5) = 2 \text{ мм.}$$

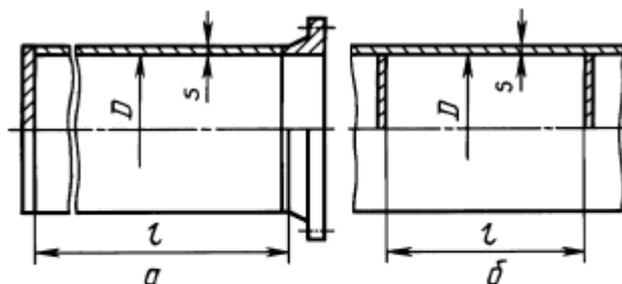
2.3.2 Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки

Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [10,5-5.3.1], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8].

Вид сварного шва и способ сварки:

Согласно с [7,табл.Д.1], выбираем вид шва: стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*.

Коэффициент прочности сварных швов принимаем равным: $\phi_p := 0.9$



а — обечайка с фланцем или с плоским дном;
б — обечайка с жесткими перегородками

Рисунок 4. Гладкие цилиндрические обечайки с приварными плоскими элементами.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в межтрубном пространстве.

Расчётная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_p := \max \left[\frac{P_{р.мжт} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - P_{р.мжт})}, \frac{P_{пр.мжт} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - P_{пр.мжт})} \right] = 1.82 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки будет равна:

$$S_{цО} := \text{ceil}(s_p + c) = 4 \text{ мм}$$

Но согласно рекомендациям [9,табл.1], минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре кожуха 1000 мм равна 6 мм. Поэтому принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки равной:

$$S_{цО} := 6 \text{ мм}$$

Проверка на условие прочности:

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot \phi_p \cdot (S_{цО} - c)}{D + (S_{цО} - c)} = 1.337 \text{ МПа}$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{раб.мхт}} \leq P_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие прочности выполняется"

Проверка на условие применимости формул:

Для обечаяк и труб при $D \geq 200$ мм:

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S_{\text{цО}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применимости формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие применимости формул выполняется"

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит окончательно принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки: $S_{\text{цО}} = 6$ мм. Обечайка будет изготавливаться из листового проката.

2.3.3 Расчёт толщины стенки эллиптического днища

Расчёт толщины стенки эллиптического днища производится согласно [10,6.1-6.3.], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8].

Высота днища:

Поскольку днище эллиптическое, то, согласно [10] и рис.5, высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части будет равна:

$$H := 0.25D$$

$$H = 250 \text{ мм}$$

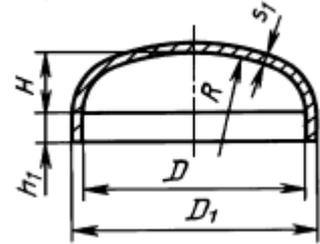


Рисунок 5. Эллиптическое днище.

Радиус кривизны:

-радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности

$$R := \text{ceil}\left(\frac{D^2}{4H}\right) = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки:

Расчёт толщины стенки эллиптического днища производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в трубном пространстве.

$\phi := 1$ - коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки (штамповкой).

$$S_p := \max\left[\frac{P_{\text{пр.тр}} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_t - 0.5P_{\text{пр.тр}})}, \frac{P_{\text{пр.тр}} \cdot R}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и}} - 0.5P_{\text{пр.тр}})}\right] = 0.697 \text{ мм}$$

С учётом добавки на коррозию и на компенсацию минусового допуска:

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

Согласно рекомендациям [9,табл.1], увеличиваем толщину стенки днища до толщины стенки обечайки.

$$S_{\text{эк}} := 6 \text{ мм}$$

Высота цилиндрической части днища:

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

Согласно [5,табл.16.1] принимаем высоту цилиндрической части:

$$h_1 := 50 \text{ мм}$$

В таблице 5 представлены основные параметры стандартного эллиптических днища.

Таблица 5. Днище эллиптическое отбортованное стальное с размерами по ГОСТ 6533-68.

D_g	h_g	h , мм		s , мм			
		50		4		6	
				D^* , мм; m^* , кг			
мм		F_g^* , м ²	$V^* \cdot 10^3$, м ³	D	m	D	m
1000	250	1,24	170	1221	36,7	1225	55,5

Примечания:

Масса днищ указана для стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Диаметры заготовок D указаны без учета выточки при штамповке и припуска на обрезку.

F_g^* — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища; D — диаметр заготовки; m — масса днища.

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_{d1} := \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot \phi \cdot (S_{\text{эк}} - c)}{R + 0.5(S_{\text{эк}} - c)} = 1.489 \text{ МПа}$$

Проверка на условие применимости формул:

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

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

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{S_{\text{эк}} - c}{D} \leq 0.100 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Проверка на условие прочности:

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

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

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит окончательно принимаем толщину стенки эллиптического днища: $S_{\text{эк}} = 6$ мм. Днище будет изготавливаться штамповкой.

2.3.4 Расчёт толщины стенки распределительной (входной) камеры

Расчёт толщины стенки распределительной камеры ведётся аналогично расчёту толщины стенки цилиндрической обечайки. Расчёт ведётся согласно [10,5-5.3.1], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [8].

Вид сварного шва и способ сварки:

Согласно с [7,табл.Д.1],выбираем вид шва: стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*.

Коэффициент прочности сварных швов принимаем равным:

$$\phi_p := 0.9$$

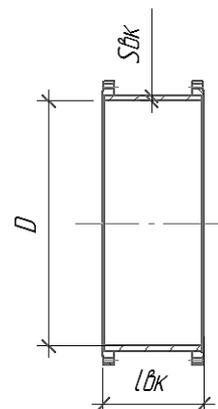


Рисунок 6. Входная камера.

Расчет толщины стенки распределительной (входной) камеры:

Расчёт толщины стенки входной камеры производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в трубном пространстве.

Расчётная толщина стенки цилиндрической обечайки (входной камеры):

$$s_{р.в.к.} := \max \left[\frac{P_{р.тр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - P_{р.тр})}, \frac{P_{пр.тр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - P_{пр.тр})} \right] = 0.774 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки будет равна:

$$S_{в.к.} := \text{ceil}(s_{р.в.к.} + c) = 3 \text{ мм}$$

Но согласно рекомендациям [9,табл.1], минимальная толщина стенок цилиндрической обечайки при внутреннем диаметре кожуха 1000мм равна 6мм. Поэтому принимаем исполнительную толщину стенки входной камеры равной:

$$S_{в.к.} := 6 \text{ мм}$$

Проверка на условие прочности:

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_{d.} := \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot \phi_p \cdot (S_{в.к.} - c)}{D + (S_{в.к.} - c)} = 1.337 \text{ МПа}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{р.тр} \leq P_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Проверка на условие применимости формул:

Для обечаек и труб при $D \geq 200$ мм:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S_{в.к.} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применимости формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит окончательно принимаем толщину стенки распределительной (входной) камеры : $S_{в.к.} = 6$ мм. Камера будет изготавливаться из листового проката. Длина входной камеры будет равна 400 мм.

2.3.5 Расчёт температурных деформаций

Расчёт проводим по методике, изложенной в [4,1.5.2.1]. Подбор при расчёте корпуса и труб на температурные напряжения.

Определение расчётных параметров:

Часть аппарата:	трубы	корпус
Материал:	Сталь 20	16ГС
Средняя температура:	$t_T := t_{\text{ср.Х.С}} = 23$	$t_K := t_{\text{ср.Г.С}} = 47.5$
Температурный коэффициент линейного расширения:	$\alpha_T := 11.6 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$
Допускаемое напряжение для материала при средней температуре:	$\sigma_{\text{ТТ}} := 147$	$\sigma_{\text{ТК}} := 189.5$
Модуль упругости материала:	$E_T := 1.987 \cdot 10^5$	$E_K := 1.962 \cdot 10^5$

Наружный диаметр кожуха будет равен:

$$D_H := \frac{D + 2 \cdot s}{1000} = 1.012 \text{ м}$$

Внутренний диаметр:

$$D := \frac{D}{1000} = 1 \text{ м}$$

Определение поперечного сечения труб и корпуса.

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D^2) = 0.019 \text{ м}^2$$

$$F_T := N \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2) = 0.104 \text{ м}^2$$

Определение температурных усилий.

$$Q_t := \frac{(|\alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K|) \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = 0.896 \text{ МН}$$

Определение температурных напряжений.

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 8.633 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 47.236 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности.

$$Usl_ := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_{\tau} \leq \sigma_{\tau\tau} \\ \text{"Условие прочности выполняется, теплообменник ТН подходит"} & \text{if } \sigma_{\kappa} \leq \sigma_{\kappa\kappa} \\ \text{"Условие прочности не выполняется, теплообменник ТН не подходит"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Из проверки условия прочности следует, что температурные напряжения в трубах и корпусе не превышают допускаемые. Это говорит о том, что можно использовать теплообменник с неподвижными трубными решётками (Рис.7).

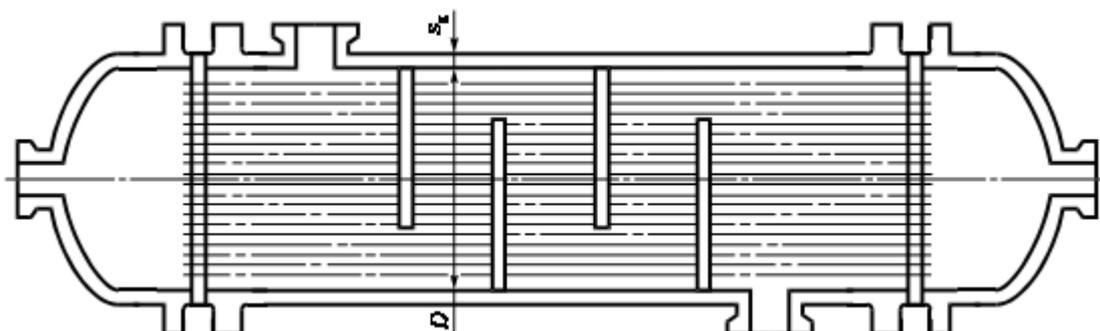


Рисунок 7 .Аппарат с неподвижными трубными решетками.

2.3.6 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ

Для соединения отдельных частей и узлов теплообменника применяются фланцевые соединения.

При выборе фланцевого соединения основное внимание уделялось параметрам:

Внутренний диаметр обечайки: $D = 1 \times 10^3$ мм

Рабочее давление в межтрубном пространстве: $P_{\text{раб.мжт}} = 0.6$ МПа

Расчётная температура: $t_{\text{раб}} = 60$ °С

Толщина стенки обечайки: $S_{\text{цО}} = 6$ мм

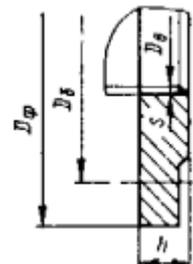


Рисунок 8.1 Фланец с гладкой уплотнительной поверхностью.

Исходя из значений данных параметров, по [5,табл.21.12] были подобраны фланцы для стальных сварных аппаратов для обечаек и днищ с внутренними базовыми размерами, указанными в табл.6. По исполнению был выбран фланец 1 типа: с гладкой уплотнительной поверхностью. При выборе фланцев также руководствовались [11].

Таблица 6. Конструкционные размеры фланцев.

$P_{\text{раб}}$ МПа	$D_{\text{в}}$	$D_{\text{ф}}$	$D_{\text{б}}$	h	$s_{\text{шпн}}$	Болты		l
				l		$d_{\text{б}}$	z	
Масса, кг								
0,6	1000	1130	1090	32	6	M20	40	70,8

Принимаем массу одного фланца: $m_{\text{ф1000}} := 70,8$ кг

Для obtюрации фланцевого соединения, согласно требованиям [5,табл.20.1] были выбраны плоские паронитовые прокладки. Согласно [5,табл.20.5] были приняты основные размеры прокладок:

$$D_1 := 100 \text{ мм}$$

$$D_2 := 105 \text{ мм}$$

$$s_1 := 3 \text{ мм}$$

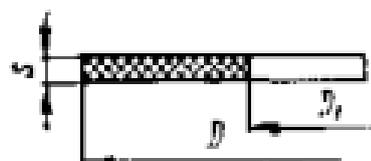


Рисунок 8.2 Прокладка из паронита для фланцевых сварных аппаратов.

2.3.7 Подбор продольных и поперечных перегородок

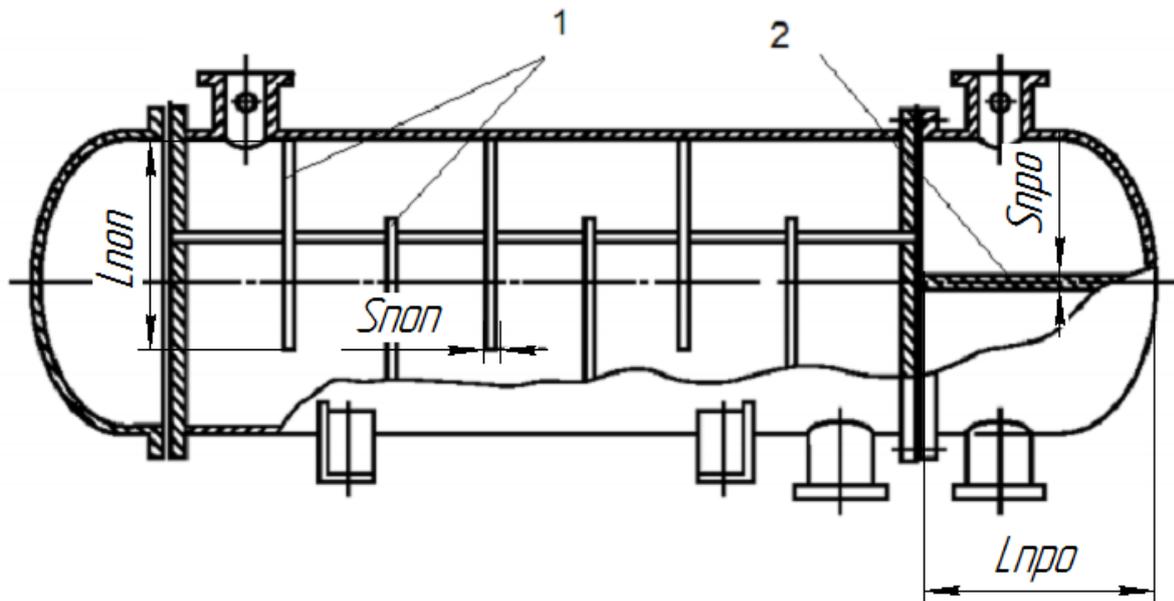


Рисунок 9. Теплообменник с поперечными (1) и продольными (2) перегородками.

Для интенсификации процесса теплообмена в межтрубном пространстве установлены поперечные перегородки (Рис 9). Толщина и длина перегородок приняты согласно [9, табл.2-4]. В поперечных перегородках есть дренажные вырезы 6 мм.

$$\text{Длина перегородки: } L_{\text{поп}} := \frac{3}{4} \cdot D = 750 \text{ мм}$$

$$\text{Толщина перегородки: } S_{\text{поп}} := 8 \text{ мм}$$

Количество поперечных перегородок в аппарате, согласно [3, табл.1]:

$$n := 6 \text{ шт}$$

Расстояние между поперечными перегородками, согласно [3, табл.1]:

$$L := 520 \text{ мм}$$

Длина продольных перегородок в распределительной камере равна:

$$L_{\text{про1}} := 600 \text{ мм}$$

Длина продольных перегородок в эллиптическом днище равна:

$$L_{\text{про2}} := 300 \text{ мм}$$

Толщина продольных перегородок, согласно [3, табл.4] равна:

$$S_{\text{про}} := 10 \text{ мм}$$

2.3.8 Расчёт толщины трубной решётки

Расчёт толщины трубной решётки ведётся по методике, указанной в пособии [4, 1.5.2.4.]

Коэффициент прочности решетки.

Коэффициент прочности решетки учитывает ослабление сечения решетки отверстиями под трубы и определяется в зависимости от шага t и диаметра отверстий $d_{\text{отв}}$ по формуле:

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

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

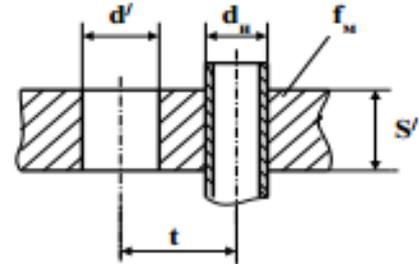


Рисунок 10.Схема к расчёту трубных решёток.

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

Толщина стенки из условия надёжности развальцовки труб:

Наружный диаметр труб: $d_n := 25 \text{ мм}$

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

$$S_{\text{тр1}} := \text{ceil}\left(\frac{f_M}{t - d_{\text{отв}}}\right) + c = 23 \text{ мм}$$

Суммарная нагрузка на площадь трубной решётки:

$$Q_p := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - P_{\text{раб.тр}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 + Q_t = 2.749 \times 10^5 \text{ МН}$$

Расчётное давление:

$$P_p := \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D^2} = 0.35 \text{ МПа}$$

Толщина трубной решетки, если считать её плоской заземленной плитой:

Допускаемое напряжение для стали 16ГС из которой изготовлена трубная решётка:

$$\sigma_t = 186.5 \text{ МПа}$$

$$S_{\text{тр2}} := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_t \cdot \varphi_p}} + c = 23.286 \text{ мм}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$S_{\text{тр}} := \text{ceil}(\max(S_{\text{тр1}}, S_{\text{тр2}}, 12)) = 24 \text{ мм}$$

В результате расчёта получили исполнительную толщину трубной решётки: $S_{\text{тр}} = 24 \text{ мм}$. В дальнейшем будет проведена проверка принятого значения.

2.3.9 Расчёт развальцовочного соединения

Расчёт развальцовочного соединения производится по методике, указанной в пособии [4,1.5.2.3.]

Площадь трубной решетки при расположении труб по вершинам правильного треугольника:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = 395.91 \text{ мм}^2$$

Осевое усилие:

Внутренний диаметр аппарата: $D := D \cdot 10^{-3} = 1 \text{ м}$

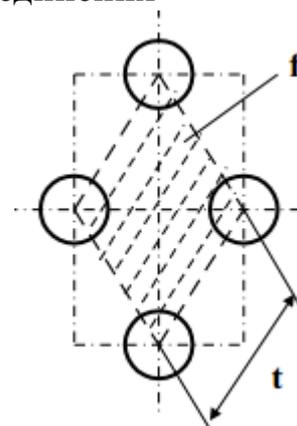


Рисунок 11.Схема к расчёту развальцовочного соединения.

$$Q_{o.y.} := P_{\text{раб.мжт}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - N \cdot d_{\text{нар}}^2) + P_{\text{раб.тр}} \cdot N \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{вн}}^2 = 0.322 \text{ МН}$$

Усилие, действующее на 1трубку:

$$q := \frac{Q_{o.y.}}{N} = 4.484 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Температурное усилие, приходящее на одну трубу:

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

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

Температурные напряжения в трубе:

$\sigma_T = 8.633 \text{ МПа}$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 1.248 \times 10^{-3}$$

Суммарное усилие:

$$q_c = q \pm q_T, \text{ МН}$$

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

В нашем случае:

Средняя температура трубного пространства:

$t_{\text{ср.х.с}} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$

Средняя температура межтрубного пространства:

$t_{\text{ср.г.с}} = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$q_c := q + q_T = 1.696 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_o := \frac{q}{\pi \cdot d_{нар}} = 5.709 \times 10^{-3} \frac{МН}{м}$$

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

$$\sigma_c := \frac{Q_c}{\pi \cdot d_{нар}} = 0.022 \frac{МН}{м}$$

Проверка условия прочности:

$$Usl_{\text{~~~~~}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"} & \text{if } \sigma_o \leq 0.04 \\ \text{"Условие выполняется, можно использовать при развальцовке труб в отверстиях без канавок"} & \text{if } \sigma_c \leq 0.08 \\ \text{"Условие не выполняется, необходим другой способ развальцовки"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

2.3.10 Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений

Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений ведётся согласно [12]. Проверке подлежат все фланцевые соединения. В данном разделе проверяются на прочность и герметичность фланцевые соединения частей аппарата (кожух, эллиптическое днище, плоская крышка, распределительная камера).

Исходные данные для расчёта на прочность и герметичность фланцевых соединений:

$D_{\text{вн}} = 1000$ мм	Внутренний диаметр аппарата
$D_{\text{н}} = 1130$ мм	Наружный диаметр фланца
$D_{\text{б}} = 1090$ мм	Диаметр окружности расположения болтов(шпилек)
$D_{\text{сп}} = 1057$ мм	Расчётный диаметр прокладки
$b_{\text{п}} = 28.5$ мм	Ширина прокладки
$h = 0.5 \cdot (D_{\text{н}} - D)$ мм	Ширина тарелки фланца
$h_{\text{п}} = 3$ мм	Толщина прокладки
$S_0 = 6$ мм	Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке(трубе), толщина обечайки плоского фланца
$d = 20$ мм	диаметр болтов (шпилек)
$n_{\text{б}} = 40$ шт	Число болтов(шпилек)
$P = 0.6$ МПа	Рачётное давление
$M = 0$ МН · м	Внешний изгибающий момент
$F_{\text{ос}} = 0 \cdot 10^6$ МН	Осевая сила
$c_0 = 1.0$ мм	Суммарная прибавка к расчётной толщине
$t_{\text{р}} = 60$ °С	Рабочая температура

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал болтов - сталь 35

Материал прокладки – Паронит

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

Выбор крепежных элементов:

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

Определение расчетных параметров:

Расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_{\text{ф}} = 0,96t$ из [12,табл.В.1]

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t = 57.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов из [12,табл.В.1]

$$t_{\text{б}} := 0.85 \cdot t = 51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов изготовленных из стали 35 по [12,табл.Г.1].

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 130 \\ 126 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{б}}), 0.5) = 128 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре, согласно [12,табл.Ж.1]:

$$E_{\text{б}} := 2.115 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t=20^\circ\text{C}$, из [12,табл.Г.1]:

$$\sigma_{20\text{б}} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20°C согласно [12,табл.Ж.1]:

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

Коэффициент линейного расширения для стали 35 при $t=20-100^\circ\text{C}$ согласно [12,табл.Ж.2]:

$$\alpha_{\text{б}} := 11.1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 16ГС из [7,А.1]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ф}}), 0.5) = 187 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma = 187 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при рабочей температуре из [7,В.1]

$$E := 1.95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t=20^\circ\text{C}$ из [7,А.1]

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.20}} := \eta \cdot \sigma_{20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при температуре испытания 20°C из [7,В.1]

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при t=20-100 °C из [7,Г.1]

$$\alpha_{\phi} := 11.9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

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

$$b_0 = 21 \text{ мм}$$

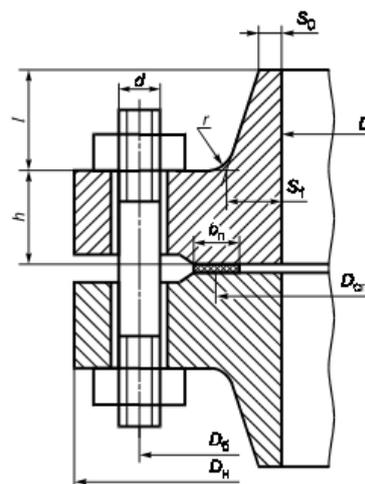


Рисунок 12. Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью.

Характеристики прокладки:

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

$m := 2.5$	прокладочный коэффициент
$q_{обж} := 20 \text{ МПа}$	удельное давление обжатия прокладки
$q_d := 130 \text{ МПа}$	допускаемое удельное давление
$K_{обж} := 0.9$	коэффициент обжатия
$E_n := 200 \text{ МПа}$	условный модуль сжатия прокладки

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сн} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| = 5.23 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_n = 1.046 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек)по [12,табл.Д.1]:

$$f_b := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b = 9 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P$$

$$Q_d = 5.265 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

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

$$Q_{FM} = 0 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{\text{обж}}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} = 1.426 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 98 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

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

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} = 5.404 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

-параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0}$$

$$l_0 = 77.46 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.13$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.864$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 17.493$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 16.077$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 8.223$$

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

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.5\xi$$

$$f_{\omega} := 1$$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 4.042$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\Phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\Phi} = 2.231 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 8.551 \times 10^{-12}$$

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

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

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{\text{пр}} := D$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 16.5 \text{ мм}$$

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

$$e_{\omega} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) = 25.5 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_3 := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_b \cdot \frac{E_{20b}}{E_b} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 3.115 \times 10^6$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_n + y_b + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 1.142$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_b + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_b + y_n \cdot \left(\frac{D_b}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.312$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_b \cdot h \cdot (t_b - 20)] \quad Q_t = 4.184 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{b1} = 7.057 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{b2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_b \cdot \sigma_{206})$$

$$P_{\text{обж}} = 5.23 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{b2} = 4.68 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{bM} := \max(P_{b1}, P_{b2}) \quad P_{bM} = 7.057 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{bp} := P_{bM} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{bp} = 6.729 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

-при затяжке

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 78.414 \text{ МПа}$$

-в рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 74.771 \text{ МПа}$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{61} = 78.414 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} = 130 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{62} = 74.771 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.6} = 128 \text{ МПа.}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad q = 7.457 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 7.457 \text{ МПа}$$

$$q_d = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность:

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

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b$$

$$M_M = 1.164 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_p := C_F \cdot \min[P_{\text{ор}} \cdot b + (Q_d + Q_{\text{FM}}) \cdot e, |Q_d + Q_{\text{FM}}| \cdot e] = 1.343 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0M} = 115.222 \text{ МПа}$$

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

-радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 1.374 \text{ МПа}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 33.011 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0p} = 132.846 \text{ МПа}$$

-максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad \sigma_{0mp} = 33.318 \text{ МПа}$$

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

-радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 1.584 \text{ МПа}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 38.06 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

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

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

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

КТ =1.3 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций КТ =1.

$$K_T := 1.3$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max\left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0Mp}| \end{array}\right)\right) > K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_3 = \text{"Условия статической прочности выполняются"}$

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 148.233 \text{ МПа};$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 254.8 \text{ МПа};$$

$$\max\left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0Mp}| \end{array}\right)\right) = 166.163 \text{ МПа};$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 243.1 \text{ МПа}.$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 3.057 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца:

$$\Theta_d := 0.01;$$

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

$Usl_P = \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"}$

Проверка условий статической прочности и проверка угла поворотов фланцев в соответствии с [12] подтвердила, что фланцевое соединение было подобрано верно. Их использование допустимо.

2.3.11 Расчет плоских круглых крышек с дополнительным краевым моментом

Расчёт плоских крышек производится в соответствии с [10,7.3]. В плоской крышке имеется проточка под перегородку.

Равнодействующая нагрузка от давления:

В соответствии с пунктом 3.9:

$$Q_{д.р} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ср})^2 \cdot P_{р.тр}$$

$$Q_{д} = 2.28 \times 10^5 \text{ Н}$$

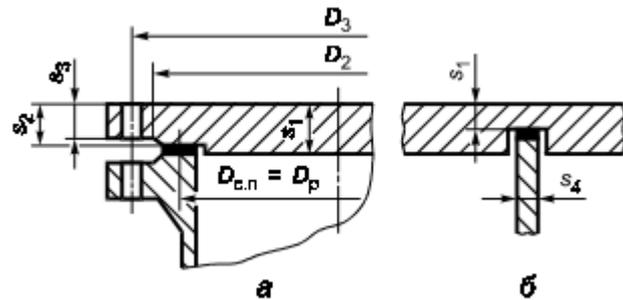


Рисунок 13. Плоская крышка с дополнительным краевым моментом и пазом под перегородку.

$P_{бр}$ — определяют по [12] для рабочих условий и условий монтажа.

$$P_{бр} = 6.729 \times 10^5 \text{ Н}$$

Значение ψ вычисляют по формуле:

$$\psi := \frac{P_{бр}}{Q_{д}} = 2.952$$

D_3 принимается равным диаметру окружности расположения болтов(шпилек)

$$D_3 := D_б = 1.09 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D_{ср} = 1.057 \times 10^3 \text{ мм}$$

s_4 принимаем по [9, табл.5]:

$$s_4 := 10 \text{ мм}$$

Толщина плоской круглой крышки:

Для крышки, имеющей паз для перегородки (например, камер теплообменника), значение коэффициента K_6 для определения толщины в месте паза (Рис.13) вычисляют с учетом усилия от сжатия прокладки в пазах по формуле:

$$K_6 := 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left(\frac{D_3}{D_{ср}} - 1 \right) + 9.6 \cdot \frac{D_3}{D_{ср}} \cdot \frac{s_4}{D_{ср}}}{\frac{D_3}{D_{ср}}}} = 0.473$$

$\phi := 1$ - коэффициент прочности сварных швов для крышек изготовленных из одной заготовки (штамповкой).

Ко для днищ и крышек без отверстий принимают равным 1,0

$$K_o := 1$$

Толщина плоской круглой крышки:

$$s_{пк} := \text{ceil} \left(K_o \cdot K_6 \cdot D_{сп} \cdot \sqrt{\frac{P_{р.тр}}{\phi \cdot \sigma}} \right) + c = 21 \text{ мм}$$

Толщина плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом в месте уплотнения:

Коэффициент K_7 вычисляют по формуле:

$$K_7 := 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сп}} - 1} = 0.141$$

Коэффициент Φ вычисляют по формуле:

$$\Phi := \max \left(\frac{P_{бм}}{\sigma_{б1}}, \frac{P_{бр}}{\sigma_{б2}} \right) = 9 \times 10^3$$

В формуле при определении Φ индекс «р» указывает на то, что величина суммарного болтового усилия $F_{б.р}$ и допускаемого напряжения для материала крышки относится к рабочему состоянию или испытаниям, а индекс «м» — состоянию монтажа.

Толщину плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом в месте уплотнения s_2 (Рис.13) вычисляют по формуле:

$$s_2 := \max \left(K_7 \cdot \sqrt{\Phi}, \frac{0.6}{D_{сп}} \cdot \Phi \right) + c = 15.41 \text{ мм}$$

Окончательно принимаем:

$$s_{пк} = 21 \text{ мм} \quad s_2 := 21 \text{ мм}$$

Глубина паза под перегородку 5 мм.

$$s_1 := s_{пк} - 5 = 16 \text{ мм}$$

Поэтому необходимо компенсировать эту глубину, увеличив толщину крышки. Принимаем:

$$s_{пк} := 25 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление для плоской круглой крышки:

$$P_{доп} := \left(\frac{s_{пк} - c}{K_o \cdot K_6 \cdot D_{сп}} \right)^2 \cdot \phi \cdot \sigma = 0.396 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{р.тр} \leq P_{доп} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Проверка условия прочности показала, что рабочее давление не превышает допускаемое.

Значит окончательно принимаем толщину плоской крышки: $s_{пк} = 25 \text{ мм.}$

2.3.12 Расчёт необходимости укрепления отверстий

Расчёт укрепления отверстий проводится в соответствии с требованиями [3]. В конструкцию аппарата входят 4 основных технологических штуцера. В данном пункте будет производиться проверка необходимости укрепления отверстия для пары наибольших штуцеров.

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки	$D_{\text{вн}} = 1000$ мм
Марка стали	16ГС
Расчётная температура	$t_R = 60$ °C
Исполнительная толщина стенки оболочки	$s_{\text{вн}} = S_{\text{цО}} = 6$ мм
Расчётная толщина стенки оболочки:	$s_p = 1.82$ мм
Расчётное давление	$P_r = 0.6$ МПа
Расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки	$r = 500$ мм
Диаметр отверстия	$d1 = 224$ мм
Толщина стенки (внешней) штуцера	$s_1 = 8.5$ мм
Толщина стенки (внутренней) штуцера	$s_3 = 8.5$ мм
Длина внешней части штуцера	$l1 = 200$ мм
Длина внутренней части штуцера	$l3 = 0$ мм
Толщина накладного кольца	$s_{\text{нк}} = s = 6$ мм
Прибавка расчетной толщины стенки	$c = 2$ мм
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi_{\text{св}} = 1$
Расстояние между отверстиями	$b_1 = \left[\frac{(D + 2 \cdot S_{\text{цО}}) \cdot \pi}{2} \right] - d1 = 1.366 \times 10^3$ мм
Допускаемое напряжение для стали 16ГС при $t = 20$ °C из [7, А.1]	$\sigma_{\text{доп}} = 196$ МПа
Минимальное значение предела текучести стали при $t = 20$ °C из [7, В.1]	$R_{\text{доп}} = 300$ МПа
Поправочный коэффициент для допускаемых напряжений сталей	$\eta = 1$
Коэффициент запаса прочности при гидравлических испытаниях	$n_{\text{гид}} = 1.1$

Расчётные параметры:

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

$$\sigma_d := 185 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца (16ГС) при расчетной температуре: $\sigma_{d1} := \sigma_d$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре: $\sigma_{d2} := \sigma_d$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре: $\sigma_{d3} := \sigma_d$

Допускаемое напряжение для стали 08Х22Н6Т при нормальных условиях:

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 0.5) = 196 \text{ МПа.}$$

Расчёт укрепления отверстия в цилиндрической оболочке.

Расчётный диаметр оболочки

$$D_p := D$$

$$D_p = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстий в стенке обечайки:

$$d_{1p} := d_1 + 2 \cdot c \quad d_{1p} = 228 \text{ мм}$$

Так как второе отверстие имеет такие же размеры, то:

$$d_{2p} := d_{1p} = 228 \text{ мм}$$

Одиночные отверстия в цилиндрической оболочке

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b \geq \sqrt{d_{1p} \cdot (s - c)} + \sqrt{d_{2p} \cdot (s - c)}$$

Определяем расстояние между стенками штуцеров:

$$b_1 := \left[\frac{(D + 2 \cdot S_{цО}) \cdot \pi}{2} \right] - d_1 = 1.366 \times 10^3 \text{ мм}$$

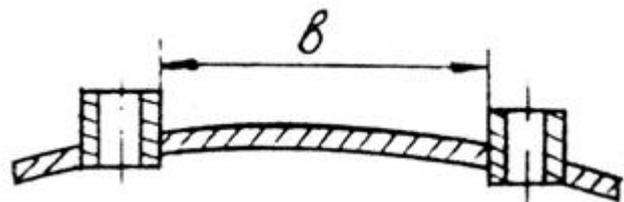


Рисунок 14. Расстояние между двумя отверстиями.

$$\text{Усл} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется расчет взаимовлияющих отверстий"} & \text{if } b_1 \geq \sqrt{d1_p \cdot (s - c)} + \sqrt{d2_p \cdot (s - c)} \\ \text{"Требуется расчет взаимовлияющих отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Усл = "НЕ требуется расчет взаимовлияющих отверстий"

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при избыточной толщине стенки цилиндрической обечайки:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{(D_p) \cdot (s - c)} = 176.845 \text{ мм}$$

Отверстия в оболочке одинаковые, поэтому рационально рассматривать расчёт укрепления лишь одного отверстия.

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{провЗ} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 \geq (d1_p) \\ \text{"Требуется укрепление отверстия"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

провЗ = "Требуется укрепление отверстия"

Из условий следует, что необходимо укрепление отверстий для обоих штуцеров.

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

Согласно [13,табл.1] для первого (второго) отверстия:

$$\text{Usl} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки штуцера:

Расчетную толщину стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляют по формуле:

$$s1'_p := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.369 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

Расчетные длины внешней и внутренней частей круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, вычисляют по формулам:

$$l_{1p} := \min \left[(11), 1.25 \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] = 48.121 \text{ мм -для внешней части штуцера;}$$

Т.к. в нашем случае штуцер проходящий, рис. 15, то

$$s_3 := s_1$$

$$l_{31p} := \min\left[13, 0.5 \cdot \sqrt{(d_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)}\right] = 0 \quad \text{мм}$$

внутренней части штуцера;

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{21p} := \left[\sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}\right] = 100 \quad \text{мм - расчетная ширина}$$

накладного кольца;

Принимаем:

$$l_{21p} := 3c \quad \text{мм}$$

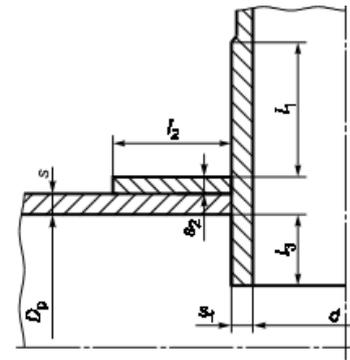


Рисунок 15. Укрепление отверстий при наличии проходящего штуцера.

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 63.246 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_d}{\sigma_d}\right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{1op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 25.298 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$P_{rov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{1op} < d_1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{rov} = \text{"Необходимо укрепление отверстия"}$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$A_{11} := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) = 295.014 \text{ мм}^2$ - площадь укрепляющего сечения внешней части штуцера;

$A_{21} := l_{21p} \cdot s_2 = 180 \text{ мм}^2$ - площадь поперечного сечения накладного кольца;

$A_{31} := l_{31p} \cdot (s_3 - c - c) = 0 \text{ мм}^2$ - площадь укрепляющего сечения внутренней части штуцера;

$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 137.89 \text{ мм}^2$

$A_{1p} := 0.5(d_{1p} - d_{1op}) \cdot s_p = 184.435 \text{ мм}^2$

При укреплении отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера накладным кольцом должно выполняться условие:

$$\text{Summa1} := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 612.904 \text{ мм}^2$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if Summa1} \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}' = \text{"условие укрепления выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

для цилиндрических обечаек:

$$K1 := 1$$

$$V := \min \left[1, \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot [(s_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{21p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{31p} \cdot (s_3 - c) \cdot \chi_3]}{l_{1p} \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_0 - d_{1op}}{l_{1p}} + K1 \cdot \frac{d_1 + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{\phi \cdot l_{1p}}{\phi \cdot l_{1p}}} \right] = 1$$

$$P_{ди} := \frac{2 \cdot K1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_d \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V} = 1.478 \text{ МПа.}$$

Согласно требованиям [13] производится укрепление всех 4 отверстий избыточной толщиной оболочки, укрепление стенками штуцера, а также укрепление накладным кольцом шириной 30 мм.

2.3.13 Расчёт стандартной опоры аппарата

Расчёт массы аппарата.

Масса обечайки:

$L_{об} := 4 \text{ м}$ - длина обечайки;

$D_{н} := 1.012 \text{ м}$ - наружный диаметр обечайки;

$D := 1 \text{ м}$ - внутренний диаметр обечайки;

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

$s_{об} := 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - толщина стенки обечайки.

Масса обечайки:

$$m_{об} := \frac{\pi}{4} (D_{н}^2 - D^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} = 591.635 \text{ кг.}$$

Масса эллиптического днища:

Согласно таблице 5:

$m_{кр} := 55.4 \text{ кг}$

$V_{ёмк} := 170 \cdot 10^{-3} = 0.17 \text{ м}^3$

Масса плоской крышки:

$H_{кр} := 0.24 \text{ м}$ - высота крышки;

$s_{плк} := s_{пк} \cdot 10^{-3} = 0.025 \text{ м}$ - толщина плоской крышки;

$s_{кр} := 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - толщина крышки;

$D_{н} = 1.012 \text{ м}$ - диаметр крышки;

$h := 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - высота цилиндрической части;

Масса плоской крышки:

$$m_{дн} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{н}^2 \cdot s_{плк} \cdot \rho_{ст} = 156.85 \text{ кг.}$$

Масса трубок:

$d_{вн} = 0.021 \text{ м}$ - внутренний диаметр трубок;

$d_{нар} = 0.025 \text{ м}$ - наружный диаметр трубок.

Масса трубок:

$$m_{тр} := N \cdot \left[\frac{\pi}{4} (d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} \right] = 3.237 \times 10^3 \text{ кг.}$$

Массы штуцеров и фланцев корпуса:

$$M_{ш.и.ф} := (m_{п219 \times 8.5} + m_{ф219}) \cdot 2 + (m_{п159 \times 6.5} + m_{ф159}) \cdot 2 + m_{ф1000} \cdot 5 = 407.372 \text{ кг.}$$

Масса трубных решеток:

$$S_{тр} := S_{тр} \cdot 10^{-3} = 0.024 \text{ м - толщина трубной решётки;}$$

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

Объём и масса трубных решеток:

$$V_{реш} := \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S_{тр} \right) - N \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_{отв}^2 \cdot S_{тр} \right) = 9.701 \times 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$M_{тр.р} := 2 \cdot (V_{реш} \cdot \rho_{ст}) = 151.329 \text{ кг.}$$

Масса входной камеры:

$$L_{в.к.} := 400 \cdot 10^{-3} = 0.4 \text{ м - длина входной камеры.}$$

$$m_{в.к.} := \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D^2) \cdot L_{в.к.} \cdot \rho_{ст} = 59.163 \text{ кг}$$

Масса перегородок:

$$M_{п} := 100 \text{ кг}$$

Масса воды при гидроиспытаниях:

$$L := L_{об} + L_{в.к.} - \text{полная длина цилиндрической части аппарата;}$$

Объём аппарата:

$$V_{в} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \right) + V_{ёмк} = 3.626 \text{ м}^3.$$

Масса воды:

$$\rho_{в} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды;}$$

$$m_{в} := V_{в} \cdot \rho_{в} = 3.626 \times 10^3 \text{ кг}$$

Общая масса аппарата:

$$M_{ап} := (m_{об} + m_{кр} + m_{дн} + m_{тр} + M_{ш.и.ф} + M_{тр.р} + m_{в.к.} + M_{п}) = 4.759 \times 10^3 \text{ кг}$$

С учётом прибавки 20 % массы аппарата и воды:

$$M := M_{ап} \cdot 1.2 + m_{в} = 9.337 \times 10^3 \text{ кг}$$

Вес аппарата:

$$G_{ап} := g \cdot M = 9.159 \times 10^4 \text{ Н}$$

Или МН:

$$G_{ап} := G_{ап} \cdot 10^{-6} = 0.092 \text{ МН}$$

Принимаем количество опор:

$$k := 2$$

Нагрузка на одну сторону:

$$G_{\text{наг}} := \frac{G_{\text{ап}}}{k} = 0.046 \text{ МН}$$

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

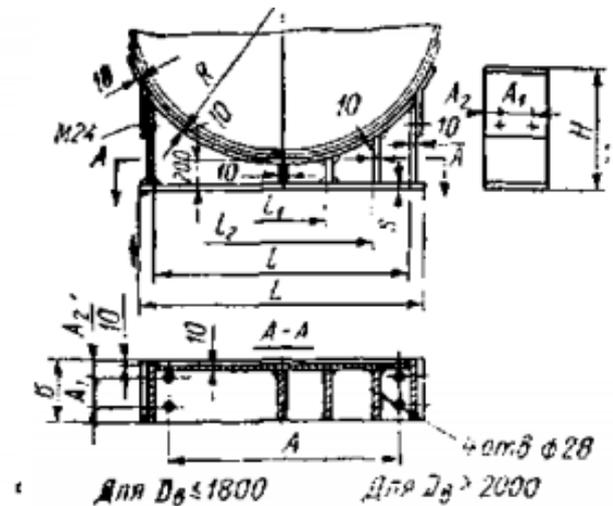


Рисунок 15. Опоры горизонтальных аппаратов.

В таблице 7 указаны основные сведения о выбранной опоре.

Таблица 7. Опоры горизонтальные.

Тип	$G^* \cdot 10^2$, Мн (мс)	$D_в$	L	l	l_1	l_2	B	H	A	A_1	A_2	R	s	Ма
I	14	1000	950	905	—	—	200	515	650	90	55	524	16	8

$$G_{\text{наг}} := G_{\text{наг}} \cdot 10^2 = 4.58 \text{ МН} \cdot 10^2.$$

Расчёт опор.

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

Реакция опор:

$$P_A := 0.5 \cdot G_{\text{ап}} = 0.046 \text{ МН}$$

$$P_B := 0.5 \cdot G_{\text{ап}} = 0.046 \text{ МН}$$

Приведенная длина аппарата

$$L_{\text{пр}} := L_{\text{об}} + L_{\text{в.к.}} + (H_{\text{кр}} + h + s_{\text{кр}}) + s_{\text{пк}} = 4.731 \text{ м}$$

Расстояние между опорами:

$$l_1 := 0.207 \cdot L_{\text{пр}} = 0.979 \text{ м}$$

$$l_2 := L_{\text{пр}} - 2 \cdot l_1 = 2.772 \text{ м}$$

Расчётный изгибающий момент от силы тяжести:

$$M_u := 0.0105 \cdot G_{\text{ап}} \cdot L_{\text{пр}} = 4.55 \times 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести:

$$\sigma_u := \frac{M_u}{0.8 \cdot D^2 \cdot (s_{об} - c)} = 1.422 \text{ МН/м}^2$$

Напряжение мало, поэтому нет необходимости проверять корпус на устойчивость.

Выбираем ширину опоры:

$$b := 0.2 \cdot D = 0.2 \text{ м}$$

Момент сопротивления расчётного сечения стенки корпуса над опорой:

$$W := \frac{[b + 8 \cdot (s_{об} - c)] \cdot (s_{об} - c)^2}{6} = 6.187 \times 10^{-7} \text{ м}^3$$

Напряжение на изгиб в стенке аппарата от действия реакции опоры:

$$\sigma_U := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot D}{W} = 1.481 \times 10^3 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Для стали 16ГС допустимое напряжение при изгибе: $\sigma_{ид} := 170 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$

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

Prov = "требуется усилить стенку над опорой"

Требуемый момент сопротивления усиленного сечения элемента стенки:

$$W_{уд} := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot D}{\sigma_{ид}} = 5.388 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$4 \cdot \sigma_{ид} = 680 \text{ МПа} < \sigma_U = 1.481 \times 10^3 \text{ МПа}$$

Принимаем толщину подкладного листа:

$$S_H := 1.6 s_{об} = 9.6 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_H := 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётная площадь поперечного сечения стенки корпуса:

$$F_c := [b + 8 \cdot (s_{об} - c)] \cdot (s_{об} - c) = 9.28 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Расчётная площадь сечения накладки:

$$F_H := (b + 4 \cdot S_H) \cdot S_H = 2.4 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Момент инерции площади Fc:

$$J_c := \frac{F_c \cdot (s_{об} - c)^2}{12} = 1.237 \times 10^{-9} \text{ м}^4$$

Момент инерции площади Fн:

$$J_H := \frac{F_H \cdot (S_H)^2}{12} = 2 \times 10^{-8} \text{ м}^4$$

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

$$y := \frac{F_c \cdot [S_H + 0.5 \cdot (s_{об} - c)] + 0.5 \cdot F_H \cdot S_H}{F_c + F_H} = 6.952 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчётный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса:

$$W_y := \frac{J_c + J_H + F_c \cdot [S_H + 0.5 \cdot (s_{об} - c) - y]^2 + F_H \cdot (y - 0.5S_H)^2}{y} = 7.772 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

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

$$P_{rov} = \text{"прочность обеспечена"}$$

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

2.4 Поверочный расчёт теплообменника

Исходные данные теплообменника

Наружный диаметр кожуха:	$D_{\text{кж}} := 1012$	мм
Толщина стенки кожуха:	$s_{\text{к}} := 6$	мм
Рабочее давление в меж-стве:	$P_{\text{мех}} := 0.6$	МПа
Длина трубок:	$L_{\text{тр}} := 4000$	мм
Наружный диаметр трубок:	$d_{\text{т}} := 25$	мм
Толщина стенки трубок:	$s_{\text{т}} := 2$	мм
Рабочее давление в трубках:	$P_{\text{тр}} := 0.25$	МПа
Температура в трубках:	$T_{\text{тр}} := 23$	°C
Температура в меж-стве:	$T_{\text{мех}} := 47.5$	°C

Расчет элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Расчётная схема:

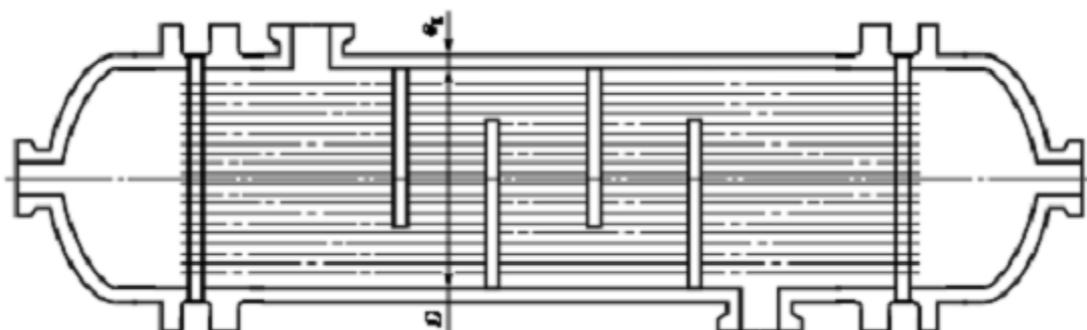


Рисунок 16. Аппарат с неподвижными трубными решётками.

В ходе конструктивного расчёта теплообменника было определено, что температурные напряжения в корпусе и трубах не превышают значения допускаемых напряжений для материалов (при рабочих условиях) из которых они изготовлены. Поэтому был рассчитан и подобран аппарат с неподвижными трубными решётками (рис.16).

Поверочный расчёт производится согласно методике [16].

Расчёт вспомогательные величины:

внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} - s_k = 500 \text{ мм}$$

внутренний диаметр кожуха:

$$D := 2 \cdot a = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

определяется по [15]

$$a_1 := \frac{981}{2} - \frac{d_T}{2} = 478 \text{ мм}$$

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки вычисляют по формуле:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.046$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:

-со стороны межтрубного пространства:

$i := 718$ - число труб

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.509$$

-со стороны трубного пространства:

толщина стенки трубы, мм: $s_T := 2$

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4a_1^2} = 0.654$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль продольной упругости материала труб при рабочей температуре 23град, МПа:

$$E_{\text{труб}} := 2.1259 \cdot 10^5$$

Половина длины трубы теплообменного аппарата, мм: $l_{\text{труб}} := 2000$

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 15.365 \frac{\text{N}}{\text{мм}^3}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле:

Модуль продольной упругости материала кожуха, МПа: $E_{\text{кожуха}} := 2 \cdot 10^5$

Толщина стенки кожуха, мм: $s_k = 6$

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot s_k} = 12.241$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

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

$$K_{q1} := 0$$

$$K_{p1} := 0$$

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

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

Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

Коэффициент прочности перфорированной трубы находится по [16.табл.Б1]:

Т а б л и ц а Б.1 — Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

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

$$\eta_T = 0.654$$

$$\psi_0 := 0.399$$

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

$s_p := 2\xi$ - толщина трубной решетки, мм.

Материалы обеих трубных решеток идентичны, для них:

$$E_{p1} := E_p$$

$$E_{p2} := E_p$$

$$s_{p1} := s_p$$

$$s_{p2} := s_p$$

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.019$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 9.164$$

Коэффициенты ослабления трубной решетки ϕ_p , ϕ_E , жесткости 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_ϕ приведены в приложениях Б—Е.

Коэффициенты влияния перфорации на параметры трубной решетки.

Расчёт производится согласно [16,приложение Б].

Коэффициент ослабления трубной решетки.

При расчете кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками вычисляют по формуле:

диаметр отверстия в решетке, мм: $d_0 := 2\epsilon$

шаг расположения отверстий в решетке, мм: $t_{\text{шр}} := 1.2 \cdot d_T + 2 = 32$

$$\phi_{\text{рл}} := 1 - \frac{d_0}{t_{\text{шр}}} = 0.188$$

Эффективный коэффициент ослабления ϕ_E :

Глубина развальцовки:

$$h_{\text{раз}} := 1.5 \cdot d_T = 37.5 \text{ мм}$$

$$d_E := (d_0 - 2 \cdot s_T) = 22$$

$$\phi_E := 1 - \frac{d_E}{t_{\text{шр}}} = 0.313$$

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

Расчёт производится согласно [16, приложение В].

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

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

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

Диаметр фланца, мм: $D_f := 1130$

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха:

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 532.5 \text{ мм}$$

Модуль упругости материала распределительной камеры, МПа: $E_D := 2 \cdot 10^5$

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

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

$$E_2 := E_1 \quad E_1 := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

толщина тарелки фланца кожуха, мм: $h_1 := 4\epsilon$

толщина тарелки фланца распределительной камеры, мм: $h_2 := 4\epsilon$

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.024$$

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_2}} = 0.024$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_k \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 1.75 \times 10^5$$

$$K_2 := \frac{\beta_2 \cdot a \cdot E_D \cdot s_2^3}{5.5 \cdot R_2} = 1.75 \times 10^5$$

Необходимо задаться внутренним и наружным диаметром плоской прокладки:

$$B_1 := 100 \text{ мм} \quad B_2 := 105 \text{ мм}$$

$$K_{\Phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right) = 6.775 \times 10^6$$

$$K_{\Phi 2} := \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot B_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2}\right) = 7.146 \times 10^6$$

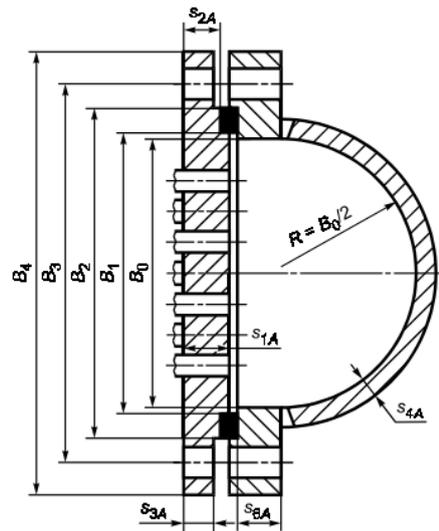


Рисунок 17. Камера разъёмной конструкции.

$$K_{\Phi} := K_{\Phi 1} + K_{\Phi 2} = 1.392 \times 10^7$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 , определяют по формулам:

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

$$\Phi_1 = 13.595$$

$$\Phi_2 = 9.364$$

$$\Phi_3 = 13.312$$

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

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1.59$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 14.893$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 24.911$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 13.925$$

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой

Расчёт производится согласно [16,приложение E].

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

допускаемое напряжение для труб, МПа: $\sigma_{дт} := 14\epsilon$

допускаемое напряжение для трубной решетки, МПа: $\sigma_{др} := 19\epsilon$

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:

$$N_{дтр} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \cdot \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{дт}, \sigma_{др}) = 1.062 \times 10^4 \text{ МН}$$

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле

коэффициент линейного расширения кожуха 16ГС: $\alpha_{кк} := 11.6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$

коэффициент линейного расширения труб сталь 20: $\alpha_{тк} := 11.6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$

средняя температура стенки кожуха, $^\circ\text{C}$ $t_{кк} := T_{\text{меж}} = 47.5$

температура сборки аппарата, $^\circ\text{C}$ $t_0 := 20$

средняя температура стенок труб, $^\circ\text{C}$ $t_{тк} := T_{\text{тр}} = 23$

где $m_{сп}$ — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{сп} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.249$$

расчетное давление в трубном пространстве, МПа: $p_T := P_{\text{тр}} = 0.25$

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

$$Q_1 := [\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)]$$

$$p_0 := Q_1 \cdot K_y \cdot l + [\eta_T - 1 + m_{сп} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot p \cdot K_q)] \cdot p_T - [\eta_M - 1 + m_{сп} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot p \cdot K_p)] \cdot p_M = 7.767 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 1.348$$

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

-для изгибающего момента, Н*мм/мм:

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

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 1.899 \times 10^3$$

$$m_2 := \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2} = 1.899 \times 10^3$$

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = 0.038$$

$$M_\pi := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -8.243 \times 10^3$$

-для перерезывающей силы, Н/мм:

$$Q_\pi := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 163.275$$

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

-для изгибающего момента:

$$M_a := M_\pi + (a - a_1) \cdot Q_\pi \quad M_a = -4.651 \times 10^3 \text{ N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

-для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_\pi \cdot Q_\pi \quad Q_a = 170.79 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу:

-для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 3.252 \times 10^3 \text{ N}$$

-для изгибающего момента:

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

Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой:

$$l_{1R} := 520 \text{ mm}$$

$$l_{np} := \frac{l_{1R}}{3} = 173.333 \text{ mm}$$

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{np}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 1.271 \times 10^4$$

Усилия в кожухе:

-усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = -100.775 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

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

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\Phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{p_m}{2 \cdot \beta_1^2} = -520.151$$

-суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F_{\text{сум}} := \pi \cdot D \cdot Q_k = -3.166 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции.

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} \text{ — ширина тарелки фланца кожуха, мм;}$$

$$b_1 = 65$$

$R_1 = 532.5$ — радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм

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

$$s_{1p} = 25$$

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

$$b_2 := b_1 = 65 \text{ mm}$$

В первом приближении принимаем эквивалентную толщину втулки фланца равной толщине кожуха

$$s_3 := s_k = 6 \text{ mm} \quad s_{3\text{втулки}} := s_3 = 6 \text{ mm}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам

A — коэффициент, определяемый по [16, прил. Г], в зависимости от ω и mA :

B — коэффициент, определяемый по [16, прил. Г], в зависимости от ω и nB :

ω - Безразмерный параметр системы решетка.

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -0.522 \quad n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = -1.916 \quad \omega = 9.164$$

$$A := 0.54 \quad B := 0.898$$

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } -1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1 \\ B \cdot |M_a| & \text{otherwise} \end{cases} \quad M_{\max} = 4.864 \times 10^3 \text{ MPa}$$

-изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\max}|}{(s_{1p} - c)^2} \quad \sigma_{p1} = 55.171 \text{ МПа}$$

-касательные:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_p|}{s_{1p} - c} \quad \tau_{p1} = 7.099 \text{ МПа}$$

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } -1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1 \\ B \cdot |M_a| & \text{otherwise} \end{cases} \quad M_{\max} = 4.864 \times 10^3 \text{ N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

-изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{[\phi_p \cdot (s_p - c)]^2} \quad \sigma_{p2} = 294.243 \text{ МПа}$$

-касательные:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\phi_p \cdot (s_p - c)} \quad \tau_{p2} = 39.603 \text{ МПа}$$

Напряжения в коже в месте присоединения к решетке:

Расчетная прибавка к толщине стенки кожи, мм: $c_k := 2$

-в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c_k)} \quad \sigma_{Mx} = 25.194 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_1 - c_k)^2} \quad \sigma_{ux} = 195.057 \text{ МПа}$$

-в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{s_1 - c_K} \quad \sigma_{M\phi} = 75 \text{ МПа}$$

изгибные:

$$\sigma_{u\phi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} \quad \sigma_{u\phi} = 58.517 \text{ МПа}$$

Напряжения в трубах:

-в осевом направлении:

мембранные:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi(d_T - s_T) \cdot s_T} \quad \sigma_{1T} = 22.503 \text{ МПа}$$

суммарные:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2J_T} \quad \sigma_1 = 39.007 \text{ МПа}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \cdot \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} \quad \sigma_{2T} = 3.45 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

Необходимо выполнения условия:

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{дг}$$

Проверку трубной решётки на малоцикловую прочность проводят по [17].

При проверке трубной решётки на малоцикловую прочность следует принимать:

в месте соединения с кожухом:

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

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

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

в перфорированной части:

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

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

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

$$K_\sigma := 1.1$$

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

При этом следует принимать:

$\sigma_{дА}$ -допускаемая амплитуда упругих напряжений по [17],МПа

$$\sigma_{дА} := 120 \text{ МПа}$$

$$s_{pp} := (s_p - c) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{2 \cdot \sigma_{дА}} \quad s_{pp} = 28.198 \text{ мм}$$

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

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

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.

Максимальный прогиб трубной решетки:

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 0.28 \text{ мм}$$

W_d - рекомендуемая допустимая величина прогиба трубной решетки, мм, в зависимости от диаметра аппарата.

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

$$W_d = 0.9 \text{ мм}$$

Проверка условия жесткости:

$$UsI_{525} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } W \leq W_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$UsI_{525} = \text{"Условие выполняется"}$$

Расчет прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке следует проводить только для конструкций, рис.18.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

σ_{Mx} - мембранные напряжения в кожухе

в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа;

σ_{dk} - допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$\sigma_{dk} := 186.4$ МПа

Проверка условия прочности.

```
Usl_5261 := | "Условие выполняется " if  $\sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{dk}$ 
            | "Условие НЕ выполняется " otherwise
```

Usl_5261 = "Условие выполняется "

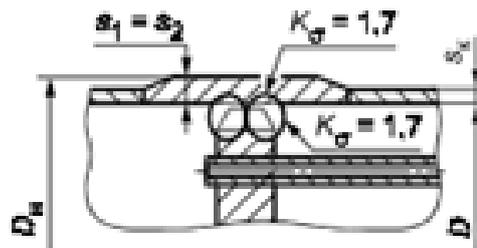


Рисунок 18. Решетка, сваренная в корпус.

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

При проверке кожуха на малоцикловую прочность следует принимать:

σ_{ux} - изгибные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа;

$\sigma_{M\phi}$ - мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в окружном направлении, МПа;

$\sigma_{u\phi}$ - изгибные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в окружном направлении, МПа;

$$\Delta\sigma_1 := \sigma_{Mx} + \sigma_{ux} \quad \Delta\sigma_1 = 220.25 \text{ МПа}$$

К.σ - смотри рис.18

$$K_\sigma = 1.7 \quad \Delta\sigma_3 = 0$$

$$\Delta\sigma_2 := \sigma_{M\phi} + \sigma_{u\phi} \quad \Delta\sigma_2 = 133.517 \text{ МПа}$$

Допускается амплитуду напряжений вычислять по [17]

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} \quad \sigma_a = 163.346$$

Допускаемую амплитуду напряжений определяют по формуле

$A_m := 0.6 \cdot 10^5$ - характеристика материала, МПа;

$R_{mt} := 20\%$ - временное сопротивление материала при расчетной температуре, МПа;

$B_m := 0.4 \cdot R_{mt}$ - характеристика материала, МПа;

$B_m = 83.6$

A_m и B_m , C_t выбираем [17, табл.3], R_{mt} по [7]

C_t - поправочный коэффициент, учитывающий температуру;

n_N - коэффициент запаса прочности по числу циклов;

n_σ - коэффициент запаса прочности по напряжениям;

Для углеродистой стали:

$$C_t := \frac{2300 - t_k}{2300} \quad C_t = 0.979$$

$n_N := 10$; $n_\sigma := 2$; [17, стр.15-17]

$$N_d := \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A_m}{\sigma_a - \frac{B_m}{n_\sigma}} \cdot C_t \right)^2 = 2.337 \times 10^4 \text{ - допускаемое число циклов}$$

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

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{A_m}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B_m}{n_\sigma} \quad \sigma_{da} = 304.587$$

Условие малоциклового прочност.

$$Usl_5262 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$Usl_5262 = \text{"Условие выполняется "}$

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

Условие статической прочности труб:

σ_{1T} - мембранные напряжения в трубах в осевом направлении, МПа;

σ_{2T} - мембранные напряжения в трубах в окружном направлении, МПа;

σ_{dT} - допускаемое напряжение для материала труб, МПа;

$$Usl_5271 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$Usl_5271 = \text{"Условие выполняется "}$

Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по [17].

При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать

σ_1 - суммарные напряжения в трубах в осевом направлении, МПа;

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

$$\Delta\sigma_2 := 0$$

$$\Delta\sigma_3 := 0$$

$$K_\sigma := 1$$

Допускается амплитуду напряжений вычислять по формуле

$$\sigma_a := \frac{K_\sigma}{2} \cdot \sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1 \cdot \Delta\sigma_2} \quad \sigma_a = 33.156 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{da} := C_t \cdot \frac{Am}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{Bm}{n_\sigma} \quad \sigma_{da} = 304.587 \text{ МПа}$$

Условие малоциклового прочност.

$$Usl_5272 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } \sigma_a \leq \sigma_{da} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_5272 = \text{"Условие выполняется "}$$

Проверка прочности крепления трубы в решетке

Если трубы крепятся в решетке с помощью развальцовки, должно выполняться условие:

$$Usl_5275 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется " if } |N_T| \leq N_{dтр} \\ \text{"Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_5275 = \text{"Условие выполняется "}$$

Допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой $N_{dтр}$ определяется на основании испытаний или по нормативным документам.

При отсутствии данных о прочности вальцовочного соединения допускается принимать $N_{dтр}$ по приложению Е.

Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Толщина перегородки должна отвечать условию

$$B_{пер} := 100 \text{ - ширина перегородки, мм}$$

$$L_{пер} := 600 \text{ - длина перегородки, мм}$$

$$\Delta p := 0.2 \cdot p_T \quad \Delta p = 0.05$$

$$\sigma_{дп} := 180 \text{ - допускаемое напряжение для материала перегородки, МПа}$$

$$c_n := 3 \text{ - прибавка на коррозию перегородки, мм}$$

$$s_{пер} := 10 \text{ - толщина перегородки, мм}$$

$$f_n := \frac{1}{1 + \frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}} + \left(\frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}}\right)^2} \quad f_n = 0.184$$

$$s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_n}{\sigma_{\text{дп}}}} + c_n$$

$$0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_n}{\sigma_{\text{дп}}}} + c_n = 8.071$$

$$\text{USL56} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_n}{\sigma_{\text{дп}}}} + c_n \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

USL56 = "Условие выполняется"

2.5 Расчет тепловой изоляции

Расчёт тепловой изоляции производится по методике, изложенной в учебном пособии [14].

Принимаем температуру стенки равной температуре среды в межтрубном пространстве:

$$t_{ст} := 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Температура изоляции:

$$t_{из} := 40 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Температура окружающей среды:

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

$^\circ\text{C}$

Разность между температурой поверхности слоя изоляции и температурой окружающей среды:

$$\Delta t := t_{из} - t_{окр} = 20$$

В качестве теплоизоляционного материала принимаем «совелит»: $\lambda_{из} := 0.098$

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

$$\alpha_H := 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t = 11.14 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\delta_{из} := \frac{\lambda_{из}}{\alpha_H} \cdot \frac{(t_{ст} - t_{из})}{(t_{из} - t_{окр})} = 8.797 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Следовательно, толщину изоляции примем равной 10 мм

2.6 Гидравлический расчёт

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

Гидравлическое сопротивление трубного пространства.

$$d_{\text{вн}} = 0.021 \text{ м}; \quad Re_1 = 2 \times 10^4; \quad N_{\text{ход}} := \frac{N}{4}; \quad \rho_1 := 997.6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Скорость движения обратной воды в трубах:

$$\omega_1 := \frac{Re_1 \cdot \mu_1}{d_{\text{вн}} \cdot \rho_1} = 0.891 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент сопротивления трения:

$$Re_1 = 2 \times 10^4$$

При турбулентном режиме движения потока:

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

Скоростное давление в трубах:

$$\Delta p_{\text{скт}} := \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 395.721 \text{ Па}$$

Потеря давления на преодоление трения в трубах:

$$n := 4$$

число ходов по трубному пространству.

$$L := 4$$

длина труб

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

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

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

Общее гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta p_{\text{тр.пр}} := \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot L}{d_{\text{вн}}} + \Sigma \xi \right) \cdot \Delta p_{\text{скт}} = 8.206 \times 10^3 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства.

$$D := 1 \text{ м}; \quad N := 718 \text{ шт}; \quad Re_2 = 3.47 \times 10^4$$

Эквивалентный диаметр:

$$d_э := \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - N \cdot \frac{\pi \cdot d_{нар}^2}{4} \right)}{D + N \cdot (\pi \cdot d_{нар})} = 0.03 \text{ м}$$

Скорость движения оборотной воды в межтрубном пространстве:

$$\omega_2 := \frac{Re_2 \cdot \mu_2}{d_э \cdot \rho_2} = 0.669 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент сопротивления трения:

$$Re_2 = 3.47 \times 10^4$$

При турбулентном режиме движения потока

$$\lambda := \frac{0.316}{Re_2^{0.25}} = 0.023$$

Скоростное давление:

$$\Delta p_{скт} := \frac{\omega_2^2 \cdot \rho_2}{2} = 221.724 \text{ Па}$$

Потеря давления на преодоление трения в трубах:

$$x := 6$$

число поперечных перегородок в межтрубном пространстве.

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

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

$$\Sigma \xi := 1.5 + x \cdot 1.5 + 1.5 = 12$$

Общее гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta p_{мжтр.пр} := \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot L}{d_{вн}} + \Sigma \xi \right) \cdot \Delta p_{скт} = 4.56 \times 10^3 \text{ Па}$$

Подбор насосов:

Мощность насоса для подачи оборотной воды:

Плотность среды:

$$\rho_1 := 997.62 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объёмный расход

$$V_{\text{о.в.}} := \frac{G_{\text{о.в.}}}{\rho_1} = 0.073 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

к.п.д. зададимся:

$$\eta := 0.65$$

$$N_{\text{нас}} := \frac{V_{\text{о.в.}} \cdot \Delta p_{\text{тр.пр}}}{1000 \cdot \eta} = 0.923 \text{ кВт}$$

Мощность насоса для подачи деминерализованной воды:

Плотность среды:

$$\rho_2 := 989.36 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объёмный расход

$$V_{\text{д.в.}} := \frac{G_{\text{д.в.}}}{\rho_2} = 0.028$$

к.п.д. зададимся:

$$\eta := 0.65$$

$$N_{\text{нас}} := \frac{V_{\text{д.в.}} \cdot \Delta p_{\text{мхтр.пр}}}{1000 \cdot \eta} = 0.197$$

Выбираем по [18] насосы с характеристиками, представленными в табл. 8 .

Таблица 8. Характеристика насосов.

Название агрегата	Номин. подача, м ³ /ч	Номин. напор, м	Рабочая зона		ρ макс ⁺ , т/м ³	Электродвигатель		
			подача, м ³ /ч	напор, м		марка	кВт	об/мин
X 200-150-500Б	270	50	200...350	46...51	1,3	АИР 250М4	90	1500
					1,85	АИР 280М4	132	1500

Таблица 8. Характеристика насосов. (Продолжение)

Габаритные размеры агрегата, мм			Диаметр патрубков, мм		Масса насоса, кг	Масса агрегата, кг
L	B	H	вход	выход		
1970	660	935	200	150	440	1160
2185	660	935	200	150	440	1530

По значению мощности и жидкости выбрали 2 насоса, которые удовлетворяют всем требованиям.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Сравнение экономических и технических характеристик кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников

Задачей дипломной работы является подбор и расчёт кожухотрубчатого теплообменника. Эта работа выполняется для того, чтобы заменить пластинчатый теплообменник, установленного в узле термостатирования реакторов получения полипропилена. Необходимость этой деятельности обусловлена тем, что пластинчатый теплообменник не справляется со своей задачей и дорог в обслуживании. В данный момент используется пластинчатый теплообменник «РИДАН НН 41 ДУ 150-10».

Для проведения сравнительного анализа экономических и технических характеристик кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников необходимо выделить основные критерии, по которым можно судить.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Цена - стоимость готового аппарата с завода изготовителя.

Наглядное сравнение характеристика двух теплообменников представлена в табл. 9.

Таблица 9. Сравнительная характеристика кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников.

Характеристика	Кожухотрубчатый теплообменник (КТ)	Пластинчатый теплообменник (ПТ)	Предпочтение
Поверхность теплообмена	209 м ³	218 м ³	Незначительно ПТ
Расход теплоносителей	300 т/час	300 т/час	Одинаково
Устойчивость к загрязнению	Устойчив. Загрязнения не мешают нормальному функционированию	Не устойчив. Загрязнения затрудняют функционирование	КТ
Удобство в эксплуатации	<ul style="list-style-type: none"> • Управляемость • Обслуживаемость • Осваимость • Безопасность 	<ul style="list-style-type: none"> • Управляемость • Обслуживаемость • Осваимость • Безопасность 	Одинаково
Уровень шума (без насосов)	65 дБ	40 дБ	ПТ
Надёжность	Конструктивная простота. Средний срок - высокий	Конструктивно сложен. Средний срок - средний	КТ
Безопасность	Безопасен. Находится в тепловой изоляции	Безопасен. Закрыт кожухом	Одинаково
Ремонтопригодность	Прост и неприхотлив	Сложен и трудоёмок	КТ
Доступность запасных частей	Запасные части распространены и унифицированы	Запасные части только с завода изготовителя	КТ

Предполагаемый срок эксплуатации	15 лет	10 лет	КТ
Уровень проникновения на рынок	Распространён	Распространён	Одинаково
Габариты	Длина: 4802 мм Ширина: 1158 мм Высота: 1585 мм	Длина: 3252 мм Ширина: 608 мм Высота: 1546 мм	ПТ

3.2 Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменников

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты табл. 10. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения будут служить упомянутые выше критерии экономических и технических теплообменников. Но в данном случае необходимо детальней разобрать достоинства и недостатки двух типов теплообменников.

Производительность: Оба представленных аппарата имеют сопоставимый расход горячего и холодного теплоносителей. Порядка 300 м³/ч. Площадь теплообмена для обоих аппаратов также идентична и составляет около 220 м².

Удобство в эксплуатации: Основными показателями удобства являются: управляемость, обслуживаемость, освоенность, безопасность. Оба аппарата в достаточной мере удовлетворяют приведенным требованиям.

Помехоустойчивость: В пластинчатом теплообменнике может происходить «забивание» из-за низкого качества воды, а это может негативно сказаться на

производительности. Когда в кожухотрубчатом теплообменнике эта проблема практически исключена.

Надёжность: Оба аппарата достаточно надёжны, однако кожухотрубчатый теплообменник благодаря своей простоте очень неприхотлив, а как следствие и весьма надёжен.

Уровень шума: Оба аппарата являются шумными, т.к. в цепочке с ними идут мощные насосы, однако кожухотрубчатый теплообменник из-за своих конструктивных особенностей более шумный, по сравнению с пластинчатым.

Безопасность: Оба аппарата снабжены защитными кожухами.

Ремонтопригодность: В данном аспекте пластинчатый теплообменник значительно уступает кожухотрубчатому. Пластинчатый теплообменник это сложное устройство, состоящее из множества пластин, которые собраны между собой и образуют пакеты. Ремонт таких пакетов это очень трудо- и время затратный процесс. Кожухотрубчатый теплообменник благодаря простоте своей конструкции очень прост и удобен при ремонте, сборке и разборке.

Доступность запасных частей: Запасные детали для пластинчатого теплообменника необходимо заказывать у фирмы производителя и ожидать. А для кожухотрубчатого теплообменника детали широко распространены и дешевы.

Габариты: Каждый из аппаратов имеет внушительные размеры. Однако пластинчатый теплообменник более компактный, что является его несомненным достоинством.

Предполагаемый срок эксплуатации кожухотрубчатого аппарата более 15 лет, цена от 120 тыс. рублей. Когда у пластинчатого 10 лет. Цена от 198 тыс. рублей.

Таблица 10. Оценка конкурентоспособности кожухотрубчатого теплообменника

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бкт	Бпт	Ккт	Кпт
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Производительность	0,1	4	4	0,4	0,4
Удобство в эксплуатации	0,08	5	5	0,4	0,4
Помехоустойчивость	0,09	5	4	0,45	0,36
Надёжность	0,09	5	4	0,45	0,36
Уровень шума	0,06	4	5	0,24	0,3
Безопасность	0,07	5	5	0,35	0,35
Ремонтопригодность	0,08	5	3	0,4	0,24
Доступность запасных частей	0,09	5	3	0,45	0,27
Габариты	0,06	4	5	0,24	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность	0,07	4	5	0,28	0,35
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	0,35	0,28
Цена	0,07	4	4	0,28	0,28
Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
ИТОГО	1	-	-	4,64	4,24

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

По результатам табл. 10 можно выразить ряд преимуществ кожухотрубчатого теплообменника: надёжность, ремонтпригодность, доступность запчастей, простота в эксплуатации, долгий срок службы, невысокая цена. Эти достоинства помогут завоевать доверие покупателей.

3.3 Оценка расходов на наладку и монтаж кожухотрубчатого теплообменника и пластинчатого

В данном разделе рассматривается оценка расходов на закупку, монтаж, эксплуатацию и обслуживание двух типов аппаратов.

В качестве единицы времени служит 1 смена = 8 часов. Заработная плата персонала за одну смену принимается 2000 рублей. При монтаже применяются специальные устройства типа талей, тельферов, домкратов, лебедок и такелажной оснастки. Затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание пластинчатого и кожухотрубчатого теплообменников представлены в табл. 11 и 12 соответственно.

Таблица 11. Затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание пластинчатого теплообменника

Операция	Персонал и техника	Время	Цена, расходы (руб.)	Сумма
Приобретение				
Приобретение пластинчатого теплообменника	-	-	198000	198000
Монтаж				
Установка теплообменника	4 человека	2 смены	Работа: 4*2*2000	16000
Установка арматуры и датчиков	3 человека 1 таль	1 смена	Датчики: 4*10000 Арматура: 10000 Работа: 3*2000	56000
Наладка				
Испытания и доработка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Наладка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000

Обслуживание и ремонт				
Разборка, осмотр	3 человека	1 смена	Работа: 3*2000	6000
Ремонт и замена частей	3 человека	2 смены	Работа: 3*2*2000	12000
Сборка и испытание	3 человека	1 смена	Работа: 3*2000	6000
Наладка	3 человека	1/2 смены	Работа: 3*1000	3000
Дополнительные расходы				
Запасные части и датчики	-	-	От 20000 до 70000	30000
Электроэнергия	-	-	1000	1000
ИТОГО:				334000

Таблица 12. Затраты на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание кожухотрубчатого теплообменника

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

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

Из полученных в таблицах 11 и 12 данных видно, что кожухотрубчатый теплообменник при затратах на приобретение, наладку, монтаж и обслуживание обойдётся дешевле.

4 Социальная ответственность

4.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[19]. Выявленные факторы перечислены в таблице 13.

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

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1.Монтаж опор; 2.Монтаж аппарата; 3.Монтаж арматуры; 4. Наладка аппарата; 5. Эксплуатация.	1. Повышенный уровень вибрации; 2. Повышенная температура воздуха рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума;	1.Электрический ток. 2. Подвижные части производственного оборудования. 3. Повышенная температура поверхности оборудования.	1. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. 2. ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. 3. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 4. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 5. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности 6. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 7. СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает требования к электромагнитным полям для потребительской продукции; 8. ГОСТ 12.1.007-76 устанавливает требования безопасности вредных веществ.

4.2 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией. [20]

Вибрация.

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

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

Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе [21].

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза) [22].

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

Режим труда должен устанавливать требования:

- по рациональной организации труда в течение смены;
- по сокращению длительности непрерывного воздействия вибрации на оператора и введению регулярно повторяющихся перерывов (защита временем). [22]

Рациональная организация труда в течение смены должна предусматривать: длительность рабочей смены не более 8 ч (480 мин); установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1 - 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены.

Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. [22]

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

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

При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке

технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения, по ГОСТ 26568 . [22]

Повышенная температура воздуха рабочей зоны.

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

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

Температура в рабочих помещениях соответствующих категорий работ не может быть выше или ниже установленных нормативов. Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [23] в таблице 14.

Таблица 14. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Повышенный уровень шума.

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

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

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

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

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

Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- устранение причин шума и вибрации или существенное их ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума и вибрации от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

-архитектурно - планировочные решения, предусматривающие рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов, акустическая обработка помещений; применение средств индивидуальной защиты;

-профилактические мероприятия медицинского характера.

Борьба с аэродинамическим шумом, возникающим при работе вентиляционных установок, кондиционеров, компрессоров и т.д. требует больших усилий и часто является недостаточной. Основное снижение шума чаще всего достигается звукоизоляцией источника или применением глушителей - активных и реактивных[24].

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

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

4.3 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

Электрический ток.

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором. Для минимизации опасности удара электрическим током разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам, установленный [25]. Данный ГОСТ устанавливает требования для изоляции, защитного заземления, органов управления, блокировки, оболочки, зажимов и выводных устройств, экранов и прочих средств защиты от опасного и вредного влияния электромагнитных полей, теплового, оптического и рентгеновского излучения, предупредительных знаков, надписей, сигнализаций. Также, для минимизации риска, следует соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

Согласно требованиям [20]:

Конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва. [20]

Особенно опасно прикосновение человека к токоведущим частям находящимся под напряжением.

Вследствие теплового воздействия электрического тока при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям и при воздействии электрической дуги возникают внешние местные поражения (ожоги).

Ожоги могут быть поверхностные или глубокие, сопровождающиеся поражением не только кожных покровов, но и подкожной ткани, жира, глубоколежащих мышц и кости.

Различают три степени электрических ожогов :

1 Покраснение кожи.

Опасные факторы действия электрического тока

2 Образование пузырей.

3. Обугливание и омертвление кожи.

Раны от ожогов заживают очень долго, а поражение 2/3 поверхности тела может привести к смертельному исходу. Возникают также механические повреждения — разрыв тканей и некоторых внутренних органов, это может быть следствием динамических перенапряжений при прохождении через тело человека электрического тока (практически — тока короткого замыкания) при случайном прикосновении одновременно к двум токоведущим шинам, напряжением выше 1000 В.

Механическое повреждение может быть вызвано падением человека с высоты вследствие испуга при незначительном воздействии силы тока, практически безопасного, если не были выполнены меры безопасности при работе на высоте.

Наибольшую опасность при всех видах поражения представляет электроудар, когда при прохождении тока через тело человека поражается весь организм в целом, возникают судороги, расстройство дыхания, аритмия работы сердца. Степень опасности силы тока зависит от силы тока, проходящего через организм. Если сила тока, проходящего через организм 1,5 мА (при постоянном

напряжении), то в месте контакта с токоведущими частями ощущается зуд и нагрев. Такую силу тока называют порогом ощущения.[26]

Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук. При такой силе тока человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такую силу тока называют условно безопасной.

Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, руки парализуются, наступает паралич дыхания, самостоятельно оторваться от токоведущих частей невозможно. Сила тока при снижении сопротивления человеческого тела постоянно возрастает и при достижении 100 мА, как при переменном, так и при постоянном напряжении наступает клиническая смерть (отсутствие внешних признаков жизни).[26]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Для предотвращения этих и других несчастных случаев необходимо разработать электробезопасность конструкций. [26]

Согласно ПЭУ данная лаборатория относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и или особую опасность.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токоведущих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;

- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электробезопасности.[9]

Подвижные части производственного оборудования.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Повышенная температура поверхности оборудования.

На теплообменник необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит. [28]

Теплообменник, температура наружных поверхностей которого в процессе эксплуатации может превышать 45 °С, должен быть теплоизолирован. Рекомендуется дополнительная установка ограждающих конструкций теплообменника. Теплоизоляция и ограждающие конструкции теплообменника разрабатываются и изготавливаются по документации эксплуатирующей организации (Заказчика) и в комплект поставки не входят. [28]

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

Работы, при которых возможно бурное протекание химического процесса, разбрызгивание горячих или вредных веществ, а также работы под вакуумом должны выполняться в вытяжных шкафах на противнях или поддонах. При работе следует пользоваться специальными защитными очками, спецодеждой, фартуками и перчатками из материалов, стойких к воздействию вышеназванных веществ. [29]

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Оознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. [29]

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

Трубопроводы агрессивных, легко воспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место. [29]

4.4 Экологическая безопасность

Работа с данным теплообменником не оказывает негативного влияния на атмосферу. Так как в процессе эксплуатации аппарата не используются и не выделяются газообразные продукты (выбросы). В процессе эксплуатации аппарата не происходит воздействия на гидросферу, так как в процессе теплообмена в качестве теплоносителей используется деминерализованная и обратная вода, которая является абсолютно безопасной для окружающей среды. В цехе подготовки воды производится подготовка и очистка воды. В процессе эксплуатации в воду не добавляются никакие химические соединения. В результате эксплуатации аппарат не появляются отходы, а значит нет воздействия объекта на литосферу. В результате чего можно сделать вывод о том, что негативного воздействия на качество окружающей среды не оказывается.

4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.5.1 Пожарная и взрывная опасность

При эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро- и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Согласно [30] не электротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током, присваивается группа I по электробезопасности.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты[31]. В цехе размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Согласно Статье 11 [32] установлен и выполняется запрет на курение в помещении. Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

Горючие компоненты в помещении - строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) - накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

4.5.2 Чрезвычайные ситуации на производственном объекте

Перечень основных возможных аварийных ситуаций и причин их вызывающих. [35]

Возможные аварийные ситуации:

1. Отключение электроэнергии.

2. Прекращение подачи воздуха КИПиА

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

3. Прекращение подачи оборотной воды.

Причина: остановка блока оборотного водоснабжения, разрыв трубопровода.

4. Прекращение подачи технологического воздуха.

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

5. Прекращение подачи пара.

Причина: остановка котельного цеха разрыв трубопровода.

6.Отсутствие азота.

Причина: остановка АКЦ, разрыв трубопровода или образование ледяных пробок.

6. Разлив едкого натра.

Причина: разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры.

7. Нарушение герметичности трубопровода диатермического масла.

Причина: нарушение при переключениях аппаратов Д213-Д216, разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры.

8. Нарушение герметичности трубопровода топливного газа.

Причина: разрыв трубопровода, пропуск во фланцевое соединение, неисправность арматуры, приборов КИПиА.

9. Пожар.

Причина: образование взрывопожароопасной смеси при разгерметизации трубопроводов, нефраса, пропилена, топливного газа, диатермического масла, АПП. Нарушения при подготовке и проведении огневых и газоопасных работ.

10. Загазованность в помещении отделения.

Причина: разгерметизация трубопроводов нефраса, пропилена, топливного газа, диатермического масла, АПП, едкого натра. Попадание облака вредных веществ в помещение отделения в результате аварийных ситуаций в других отделениях и производствах. [35]

Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций.

Действия персонала определяются «ПЛАС» УПП [35].

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;
- применяемые, обращающиеся и получаемые вещества не обладают способностью быстро и спонтанно полимеризоваться, реагировать с водой, саморазогреваться и самовоспламеняться, не склонны к произвольному термическому разложению при высоких температурах и давлениях;
- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обрабатываемых веществ;

- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов;

- предусмотрены система аварийного освобождения аппаратов от продуктов в аварийную емкость и аварийный сброс на факел;

- на наружной установке, где расположено оборудование, в котором обращаются взрывопожароопасные вещества, предусмотрены датчики загазованности, сигналы от которых поступают в операторную.

Способы и средства пожаротушения. В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно на установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);

- стационарная система пенотушения открытой насосной;

- водяная оросительная система колонных аппаратов;

- лафетные стволы;

- пожарные краны в помещении компрессорной.

4.5.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты.

В условиях ЧС необходимо знать правила поведения во избежание паники и несчастных случаев.

Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара.

Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

Стихийные бедствия - ураганы, наводнения, землетрясения предотвратить нельзя, поэтому, отключив электричество в здании, его необходимо покинуть или спуститься в подвальное помещение (бомбоубежище).

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения .

4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить **федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”**. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [34]

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

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

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

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

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

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

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

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

Заключение

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

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

Проведён механический расчёт, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки, эллиптического днища, распределительной камеры и плоской круглой крышки. Также в механическом расчёте были рассчитаны температурные деформации, подобраны фланцы и прокладки для обечаек и днищ, подобраны продольные и поперечные перегородки. 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 К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с., ил
2. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. -10-е изд. Стрелитипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753с.
3. ГОСТ 15120-79. Холодильники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – Введ. 1981-01.01. – М.: Госуд. комитет СССР по стандартам, 1981.-27 с.
4. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 1 /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118 с.
5. А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Л., «Машиностроение», 1970г., 752с.1.
6. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. – Введ. 1979-01.01. – М.:Изд-во стандартов, 1988.- 11 с.
7. ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.- Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-38 с.
8. В.М.Беляев, В.М.Миронов В. В. Тихонов. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 95 с.
9. ГОСТ 31842-2012. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. – Введ. 1979-01.01. – М.:Изд-во стандартов, 1988.- 11 с.
- 10.ГОСТ Р 52857.2-2007. Расчет обечаек и днищ. - Введ. 2009-27.12. – М.: Стандартиформ, 2008-41 с.
11. ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. - Введ. 1992-01.01. – М.:Госуд. комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. 1992.- 20 с.
12. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-40с.
13. ГОСТ Р 52857.3-2007. Укрепление отверстий. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-29 с.
14. Ю.И. Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.:Химия, 1991. — 496 с.
15. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.
16. ГОСТ 52857.7-2007. Теплообменные аппараты. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. - Введ. 2009-15.12. – М.: Стандартиформ, 2011-50с.

17. Инженерный справочник [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://tehtab.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
18. Каталог продукции [Электронный ресурс] / Таблицы. URL: <http://www.esbk.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус., англ. Дата обращения: 02.04.2016 г.
19. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[Текст]. – Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.- 4с.
20. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
22. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[Текст]. – утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1996. – 12 с.
23. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Текст]. – официальное издание М.: Стандартиформ, 2007- 4с. ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) [Текст]. –официальное издание М.: Стандартиформ, 2008-20 с.
24. Макаров Г.В. Охрана труда в химической промышленности.- М.:Химия,1989-496с.
25. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
26. Инструкция по охране труда по электробезопасности.
27. Экология и безопасность жизнедеятельности» Под редакцией доктора физ.- мат. наук, чл.-корр. РЭА, профессора Л.А. Муравья.
28. Руководство по эксплуатации. Теплообменники кожухотрубчатые.
29. РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.
30. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593.
31. Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003г.N313 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)».
32. Федеральный закон от 23 февраля 2013 г. N 15-ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака"
33. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”
34. Федеральный закон «О пожарной безопасности».
35. Требования по охране труда. Цех получения полипропилена. ТНХК.