

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

Институт Электронного обучения

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

Кафедра Общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема проекта
Разработка основного оборудования второй ступени сепарации установки подготовки нефти «Хвойного месторождения»

УДК-622.276.8.063:66.045.1(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2K11	Турушев Павел Анатольевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.х.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г

РЕЦЕНЗИЯ
на Бакалаврскую работу.

Студент	<i>Турушев Павел Анатольевич</i>
---------	----------------------------------

Специальность	<i>Машины и аппараты химических производств</i>
---------------	---

Кафедра	<i>ОХТ</i>	Институт	<i>ИнЭО</i>
---------	------------	----------	-------------

Тема работы	
Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты	

Представленная на рецензию работа содержит пояснительную записку на 104 листах, 2 листах графической части на формате **A1**,
Работа выполнена в соответствии с заданием и в полном объеме.

Рецензируемая работа содержит **4** раздела.

В разделе Введение:
Описывается роль серной кислоты в химической промышленности и важный фактор регенерации отработанной серной кислоты, распространенным в России ,огневым методом.

В первом разделе «Описание технологической схемы»
Представлен процесс работы установки регенерации серной кислоты.

В втором разделе «Расчет кожухотрубчатого теплообменника ТН»:
Произведен тепловой, конструктивный расчет аппарата.

В третьем разделе «Социальная ответственность»:
Рассмотрен вопрос организаций трудового процесса. Произведен анализ вредных производственных факторов: состояние воздушной среды, освещения, шумов и вибраций на производстве. Рассмотрены вопросы техники безопасности технологического процесса, электробезопасность, пожаровзрывобезопасность, безопасность при стихийных бедствиях и вопрос гражданской обороны.

В четвертом разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения»:
Произведён расчет производственной мощности, численности персонала и фонда оплаты труда. Выполнена калькуляция себестоимость на первый год при 75% мощности установки, на второй год при 100% мощности установки. Произведен расчет точки безубыточности.

Оценка работы рецензентом в целом
Дипломный проект выполнен в соответствии с заданием и состоит из соответствующих разделов. К достоинствам можно отнести: грамотность оформления работы, содержит достаточное количество табличного и иллюстрационного материала. Недостатки: не везде имеются ссылки на литературные источники В целом дипломный проект выполнен в соответствии с требованиями ЕСКД и при успешной защите заслуживает оценки «хорошо»

Выполненная работа может быть признана законченной квалификационной работой, соответствующей всем требованиям, а ее автор,

Турушев Павел Анатольевич

заслуживает оценки:

«хорошо»

и присуждения квалификации специалиста по:

специальность

Машины и аппараты химических производств
--

Рецензент

(подпись)

Ф.И.О. _____

Место работы _____

Должность _____

« ____ » _____ 20__ г.

М.П

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	информации.	
Общекультурные компетенции		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметаким, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
	решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологии.	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..

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) Машины и аппараты химических производств
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Тихонов В.В.
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич

Тема работы:

Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<u>25.04.2016г. № 3106/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Кожухотрубчатый теплообменник– производительностью 26 кг/с. Режим работы непрерывный. Сырьем производства является отработанная серная кислота. Товарная продукция- “Кислота серная” по ГОСТ 2184- 2013.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1) Введение: значения технологии сернокислотного производства для промышленности и населения, объём рынка. 2) Краткие физико-химические основы технологии сернокислотного производства. 3) Технологическая схема производства серной кислоты. 4) Расчет кожухотрубчатого теплообменника для охлаждения серной кислоты 5) Вопросы социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов. 6) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7) Заключение (выводы).
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Технологическая схема производства серной кислоты (1 лист А1) 2) Чертежи общего вида и выносных элементов теплообменника (2-3 лист А1) 3) Точка безубыточности (4 лист А1)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат химических наук Сечина Ася Александровна
Социальная ответственность	Доцент, кандидат технических наук Чулков Николай Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тихонов Николай Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка основного оборудования второй ступени сепарации установки подготовки нефти «Хвойного месторождения»
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации теплообменного аппарата в следующей последовательности: - 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). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаро-взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные
----------------------------------	---

	средства пожаротушения).
2. Экологическая безопасность:	- защита селитебной зоны; - анализ воздействия выпарного аппарата на атмосферу; - анализ воздействия выпарного аппарата на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия выпарного аппарата на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- 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.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- специальные (характерные при эксплуатации теплообменного аппарата) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка расходов на установку и монтаж оборудования	Рассчитать общие затраты на приобретение оборудования, его установку и монтаж, расчет амортизационных отчислений
2. Оценка расходов на оборотные средства	Рассчитать общие затраты на оборотные средства
3. Оценка расходов на оплату труда рабочим	Расчет численности рабочих, установление графика сменности работы, расчет баланса эффективного рабочего времени одного рабочего, расчет годового фонда заработной платы
4. Расчет себестоимости	Расчет себестоимости на единицу продукции и весь объем продукции. Расчет точки безубыточности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Анализ безубыточности

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
3-2К11	Турушев Павел Анатольевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 18 рис., 20 табл., 26 источников, 3 прил.

Ключевые слова: теплообменник, поверхность теплообмена, трубная решетка, трубы, механическая прочность, механическая устойчивость, тепловой расчет, нефть

Объектом исследования является УПН Хвойного месторождения, мощностью 80 тыс. тонн/год

Цель работы — подбор и проведение поверочного расчета основного технологического оборудования при увеличении производительности на 10%

В результате расчетов установлено, что при росте планов на добычу нефти на 10% подобранный кожухотрубчатый теплообменный аппарат сохраняет механическую прочность и обеспечивает бесперебойное течение процесса. Также были рассмотрены следующие вопросы: описание ныне действующей технологической схемы установки подготовки нефти и принцип работы кожухотрубчатого теплообменника с неподвижной трубной решеткой. В разделе «социальная ответственность» описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования), отбор законодательных и нормативных документов по теме, анализ выявленных опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды, охрана окружающей среды, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Разработаны мероприятия по ведению безопасного технологического процесса. В разделе «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведен расчет и сравнительный анализ себестоимости до и после повышения производительности получаемого продукта.

ESSAY

Final qualifying work 100 p., 18 fig., 20 tab., 26 sources, Appendix 3.

Keywords: heat exchanger, the heat transfer surface, tube sheet, tube, mechanical strength, mechanical strength, thermal design, oil

The object of this study is to UPN coniferous field capacity of 80 thousand. tons / year

The purpose of the work - the selection and conduct testing calculation of basic technological equipment while increasing productivity by 10%

The calculations revealed that the growth of oil production plans by 10% matched shelltube heat exchanger retains the mechanical strength and provides uninterrupted during the process. Also, the following issues were discussed: the description of the existing technological schemes of oil treatment and the principle of shell and tube heat exchanger with fixed tube sheet. In the "social responsibility" job description (the work area, process, mechanical equipment), the selection of laws and regulations on the subject, the analysis identified the dangerous and harmful factors designed working environment, environmental protection, legal and organizational issues of security. Developed measures for managing process safety. In the "financial management, resource efficiency and resource conservation" calculated the cost and comparative analysis before and after the increase in the performance of the resulting product.

Содержание

Введение.....	7
1. Общая характеристика объекта.....	8
1.2 Описание технологического процесса и технологической схемы УПН.....	9
2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	15
2.1 Тепловой расчет теплообменника.....	15
2.1.1 Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости.....	15
2.1.2 Расчет движущей силы процесса теплообменника.....	16
2.1.3. Ориентировочный расчет поверхности теплообмена.....	16
2.1.4 Подбор теплообменника.....	16
2.1.5 Уточненный расчет поверхности теплообмена.....	17
2.2. Конструктивно – механический расчет теплообменника.....	21
2.2.1 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов.....	24
2.3 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.....	26
2.3.1 Расчет толщины стенки распределительной камеры.....	27
2.3.2 Определение температурных деформаций в корпусе теплообменника.....	28
2.3.3 Расчет штуцеров для аппарата.....	28
2.3.4 Расчет толщины стенки днища(крышки) аппарата.....	29
2.3.5 Расчет фланцевого соединения.....	30
2.4 Определение расчетных параметров.....	32
2.4.1 Расчетные температуры.....	32
2.4.2 Эффективная ширина плоской прокладки.....	33
2.4.3 Податливость прокладки.....	35
2.4.4 Расчетные параметры фланцев.....	36
2.4.5 Угловая податливость фланцев.....	38
2.4.6 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.....	40

2.4.7 Расчет фланцев на статическую прочность.....	41
2.4.8 Проверка углов поворота фланцев.....	43
2.5. Патрубки в обечайке и распределительной камере.....	44
2.5.1 Расчет патрубков для штуцеров.....	45
2.5.2 Расчет укрепления отверстия при внутреннем давлении.....	46
2.5.3 Подбор стандартных штуцеров для аппарата.....	47
2.6 Расчет трубной решетки.....	48
2.6.1 Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух.....	50
2.6.2 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата.....	51
2.6.3 Расчетные напряжения в трубных решетках.....	56
2.6.4 Расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к трубной решетке.....	60
2.7 Расчет массы аппарата.....	62
2.8 Расчет стандартной опоры аппарата.....	64
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	78
SWOT-анализ установки подготовки нефти «Хвойного месторождения».....	78
Анализ эффективности действующего производства.....	79
Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	81
Расчет затрат на производство продукции.....	84
Расчет амортизационных отчислений.....	85
Анализ безубыточности по действующему производству.....	87
Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства на 10%.....	88
Анализ безубыточности при увеличении производства на 10%.....	89

4. Социальная ответственность.....	92
Безопасная эксплуатация производства.....	94
Пожарная безопасность.....	98
Средства защиты работающих.....	102
5. Заключение.....	103
6. Список использованной литературы.....	104

Введение

В процессе добычи нефти вместе с ценным продуктом на поверхность извлекается вода, попутный газ, механические примеси и растворенные в пластовой воде соли.

Наличие данных веществ значительно затрудняют транспортировку, хранение и переработку нефти, приводят в негодность трубопроводы и аппаратуру и вызывают дополнительные материальные затраты.

Для снижения пагубного воздействия попутных веществ применяется промысловая подготовка нефти, которая включает в себя процессы обезвоживания, обессоливания нефти и сепарации ее от газа. Установка подготовки нефти (УПН) имеются практически на каждом месторождении. Выбор оборудования, которым она снабжена, определяется физико-химическими свойствами подготавливаемой нефти. При росте планов на добычу нефти и, соответственно, росте объемов производства нефти возрастает нагрузка на оборудование подготовки нефти.

1. Общая характеристика объекта

Хвойное нефтяное месторождение находится в юго-западной части Александровского района Томской области, в 1250 км от г. Томска, в среднем течении р. Колтогорской, левого притока р. Ларьеган.

Зима холодная – абсолютная минимальная температура воздуха в январе минус 51°С. Лето короткое, но теплое – абсолютная максимальная температура воздуха в июле + 35°С. По климатическому районированию относится к подрайону IV. Нормативная глубина сезонного промерзания, рассчитанная в соответствии с п. 2.27 СНиП 2.02.01-83* составляет для суглинков и глин 2,05 м, для супесей и песков – 2,50 м.

Максимальная проектная производительность УПН Хвойного месторождения составляет:

- по нефти – 80 тыс.т/год;
- по жидкости – 100 тыс.т/год;
- по газу – 7,112 млн.м3/год;
- по пластовой воде – 20 тыс.т/год.

На УПН предусмотрен герметизированный сбор и подготовка продукции скважин кустов № 1, 2, 3 Хвойного нефтяного месторождения. Оборудование УПН обеспечивает подготовку нефти до требований ГОСТ Р 51858-2002 и откачку её на пункт налива, с последующим вывозом товарной нефти автоцистернами. Выделенный в процессе подготовки нефти попутный газ используется в качестве топлива для технологических нужд, в котельной и для выработки электроэнергии на газопоршневых электростанциях (ГПЭС), входящих в состав энергоблока. Пластовая вода, выделенная в процессе подготовки, проходит очистку вместе со сточными водами до качества в соответствии с требованиями ОСТ 39-225-88 и откачивается в систему ППД на куст № 2.

1.2 Описание технологического процесса и технологической схемы УПН

В состав УПН входят следующие технологические объекты и оборудование:

- технологическая площадка (в составе: сепаратор первой ступени (С-1), сепаратор концевой (С-2), газовый сепаратор (ГС), теплообменник (Т-2));
- установка дозирования химреагентов;
- подогреватель нефти;
- дренажная емкость $V=8$ м³;
- резервуарный парк: РВС $V=400$ м³ х 3 шт.;
- пункт налива (стояк нефтеналива);
- дренажная емкость нефтеналива $V=12,5$ м³;
- дренажная аварийная емкость $V=12,5$ м³;
- дренажная емкость $V=63$ м³;
- факельное хозяйство в составе:
- факел низкого давления;
- факел высокого давления;
- расширительные камеры (2 шт.);
- емкости сбора конденсата $V=12,5$ м³ (2 шт.);
- блок запально-сигнализирующий (2 шт.);
- блок запорно-регулирующий (2 шт.) с пультом местного управления (2 шт.).

На УПН последовательно проводятся следующие технологические операции:

- прием нефтегазоводяной смеси на площадке подключения;
- сепарация нефти в две ступени с предварительным подогревом нефтегазоводяной смеси перед второй ступенью сепарации;

- отстаивание водно-нефтяной эмульсии в резервуаре РВС-400 с отводом подготовленной нефти в резервуары товарной нефти РВС-400;
- сжигание аварийных и постоянных сбросов на факеле высокого и низкого давления;
- подготовка топливного газа для нужд энергоблока;
- откачка товарной нефти на пункт налива в автоцистерны.

Продукция скважин с кустовых площадок Хвойного месторождения поступает по общему нефтесборному коллектору на узел подключения. От узла подключения продукция скважин по подземному трубопроводу поступает на технологическую площадку.

В трубопровод нефтегазоводяной смеси организована подача деэмульгатора с помощью дозирочной установки УДЭ. Ингибиторная защита оборудования и трубопроводов осуществляется подачей ингибитора коррозии блоками дозирования на кустовых площадках.

Нефтегазоводяная смесь от узла подключения с температурой 5-10°C и давлением до 0,5 МПа (изб.) поступает в сепаратор первой ступени С-1. Уровень жидкости в сепараторе поддерживается регулирующим клапаном Кж1. Давление в системе С-1-ГС-узел распределения газа поддерживается на уровне 0,3-0,4 МПа клапаном Кг2, установленным на трубопроводе сброса избытка газа.

Из сепаратора С-1 нефтяная эмульсия подается в подогреватель нефти ПНПТ-0,63, где подогревается до температуры ~ 45°C. В качестве резервного источника нагрева водонефтяной смеси предусмотрен теплообменник Т-2. В качестве теплоносителя в Т-2 используется горячая вода, подаваемая с котельной с температурой +70..+115 °С.

Нагретая эмульсия поступает в концевой сепаратор С-2. Здесь проводится окончательное разгазирование нефти до давления насыщенных паров менее 66,7 кПа. Уровень жидкости в сепараторе поддерживается клапаном Кж2. Нефтяной газ с С-2 направляется в

коллектор факела низкого давления. Давление в сепараторе – минимально достаточное для транспортирования выделившегося газа на факел низкого давления, но не более 0,005 МПа.

Отсепарированная водонефтяная эмульсия самотеком поступает в технологический резервуар Р-1/2 на уровень 0,3 м. Для обеспечения движения жидкости от сепаратора к резервуарному парку (при отсутствии достаточного избыточного давления в С-2) предусмотрена установка концевой ступени (сепаратора С-2) на высоту превышающую уровень жидкости в РВС-400. В резервуаре Р-1/2 происходит выделение пластовой воды из нефти до остаточного содержания 0,5% масс. Выделенная из нефти вода сбрасывается в подземную дренажную емкость ЕП-1 $V=63$ м³, откуда, после проведения аналитического контроля качества подготовленной воды на соответствие требованиям ОСТ 39-225-88, откачивается погружным насосом в систему поддержания пластового давления. Подготовленная нефть отводится с уровня 4 м в резервуары Р-1/1, Р-1/3. Из резервуаров Р-1/1 и Р-1/3 товарная нефть откачивается насосами Н-1/1,2 с уровнями 3 м и 2 м соответственно на пункт налива в автоцистерны. Налив в автоцистерны осуществляется автоматизированным стояком АСН-2В с возможностью прекращения подачи нефти в автоцистерну при её заполнении.

Технологическая схема предусматривает возможность использования резервуара Р-1/1 в качестве технологического. В резервуарах Р-1/1,3 также предусмотрена возможность сброса пластовой воды, выделившейся из товарной нефти в процессе хранения в подземную дренажную емкость ЕП-1. На случай возникновения аварийной ситуации схемой предусмотрена перекачка насосами Н1/1,2 из аварийного резервуара в целый резервуар.

Нефтяной газ с первой ступени сепарации направляется для дополнительной очистки от капельной жидкости в газовый сепаратор ГС.

Здесь при давлении сепарации 0,3-0,4 МПа и температуре 5-10^oC проводится очистка газа до содержания жидкости на выходе 0,02 мг/м³. Выделенный в процессе очистки газа конденсат удаляется в подземную дренажную емкость ЕА-1 V=12,5 м³. Рабочий уровень конденсата в аппарате поддерживается регулирующим клапаном КжЗ.

Очищенный нефтяной газ из ГС поступает на распределительную гребенку. Газ используется в качестве топливного для системы розжига факелов, технологических нужд подогревателя нефти, для выработки электричества на энергоблоке и тепла в котельной. Также газ используется в качестве продувочного для факельных систем. На распределительной гребенке газ направляется в линии:

- топливный газ системы розжига факелов с учетом количества отводимого газа, возможность регулирования давления и расхода топливного газа предусматривается системами розжига факелов, поставляемых в комплекте с факельными установками;
- топливный газ к установке подготовки топливного газа с учетом количества отводимого газа, возможность регулирования давления и расхода топливного газа предусматривается на УПТГ;
- продувочный газ к факелу низкого давления с учетом количества сбрасываемого газа и регулирования его расхода клапаном Кг1;
- продувочный газ к факелу высокого давления с учетом количества сбрасываемого газа и регулированием его расхода и давления в системе «С-1-ГС-узел распределения газа» клапаном Кг2.

На сепарационном оборудовании технологической площадки предусмотрена установка предохранительных клапанов для защиты от превышения внутреннего давления. Сброс газа с блоков предохранительных клапанов сепаратора С-1 и ГС осуществляется в факельный коллектор высокого давления. Сброс с концевой ступени С-2 осуществляется в факельную систему низкого давления.

Предусмотрен замер и регистрация потоков газа счетчиками, установленными на факельных коллекторах.

Для осуществления непрерывной работы УПН, в случае ремонта одного из факелов, предусмотрен трубопровод-перемычка для переключения потоков газа между факельными стволами. Арматура на линии переключения опломбирована в закрытом состоянии. Арматура на основных коллекторах газа установлена в горизонтальном положении и опломбирована в открытом состоянии. Факельные стволы и оголовки факелов рассчитаны на поступление максимально-возможного количества нефтяных газов и паров.

Перед поступлением газа на сжигание на факела предусматривается отделение капельной жидкости в расширительных камерах РК-1,2. Также в них осуществляется сбор конденсата из факельных коллекторов, проложенных с уклоном к камерам. Отвод конденсата из РК-1,2 осуществляется в емкости сбора конденсата ЕП-3,4. При достижении максимального уровня в емкостях производится автоматическая откачка конденсата погружными насосами НВ 50/50 в емкость ЕА-1 $V=12,5$ м³.

Помимо этого в дренажную аварийную емкость ЕА-1 осуществляется сбор дренажей от сепараторов С-1,2, газового сепаратора ГС, теплообменника Т-2, насосов нефти Н-1/1,2. Откачка содержимого дренажной емкости осуществляется в линию подачи нефти в резервуарный парк.

Сбор дренажа от подогревателя нефти ПНПТ-0,63 осуществляется в отдельную дренажную емкость ЕП-5 $V=8$ м³. Откачка дренажа из емкости ЕП-5 осуществляется в автоцистерну.

Сбор проливов нефти с пункта налива в аварийных ситуациях, а также сбор дренажа от фильтра площадки налива нефти осуществляется в дренажную емкость нефтеналива ЕП-2 $V=12,5$ м³. Откачка из емкости

осуществляется погружным насосом в линию входа нефти в резервуар Р-1/2.

Схемой предусмотрена подготовка пластовых и производственно-дождевых сточных вод в резервуаре Р-1/2. Производственно-дождевые стоки поступают в резервуар от емкости-усреднителя. РВС-400 выполняет роль резервуара-отстойника с гидрофобным жидкостным фильтром (слоем нефти). Время отстоя воды в резервуаре составляет от 16 до 24 ч. Остаточное содержание механических примесей в воде составляет 20 мг/л, нефти – 25-30 мг/л, что отвечает требованиям ОСТ 39-225-88. Подготовленная вода сбрасывается в подземную дренажную емкость ЕП-1 V=63 м³, откуда откачивается погружным насосом в систему поддержания пластового давления, в затрубное пространство водозаборной скважины куста № 2. Перед откачкой воды в систему ППД проводится аналитический контроль качества подготовленной воды на соответствие требованиям ОСТ 39-225-88.

Установка сепарации нефти и газа – сердце цеха подготовки и перекачки нефти Хвойного месторождения. Именно на эту часть установки подготовки нефти лежат основной груз ответственности при повышении объема подготавливаемой нефти. Именно здесь может начаться аварийная ситуация в том случае, если эксплуатируемая установка не сможет принять планируемый объем нефти без дополнительной модернизации производства.

По Хвойному месторождению план перерабатываемой нефти на конец 2007 года превышает заложенную в проекте максимально ожидаемую производительность по нефти на 10%. В связи с этим возникает необходимость произвести технологический, механический и экономический расчёт основного оборудования на предмет повышения производительности.

2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

2.1. Тепловой расчет теплообменника

Производительность 2.5 кг/с

нефть входит при давлении $P=1.6$ МПа при температуре $T_n=15^0$ С.

нефть нагревается до температуры $T_k=45^0$ С

Температура греющей воды на входе $t_1=115^0$ С на выходе $t_3=70^0$ С.

Дано:

$$P_{абс} := 1.6 \quad \dot{m} := 2.5 \quad \text{кг/с}$$

$$T_n := 15 \quad \text{температура нефти на входе в теплообменник}$$

$$T_k := 45 \quad \text{температура нефти на выходе из теплообменника}$$

$$t_1 := 115 \quad \text{температура воды на входе в теплообменник}$$

$$t_2 := 70 \quad \text{температура воды на выходе из теплообменника}$$

$$C_p := 1.87 \quad \text{кДж/кг} \quad \text{удельная теплоемкость нефти}$$

2.1.1. Расчет удельной теплоемкости и динамической вязкости

$$T_{cp} := \frac{T_n + T_k}{2} = 30 \quad C^0 \quad t_{cp} := \frac{t_2 + t_1}{2} = 92.5 \quad C^0$$

$$v_{xT} := \begin{pmatrix} 30 \\ 31 \end{pmatrix} \quad v_{\mu} := \begin{pmatrix} 0.7085 \\ 0.6947 \end{pmatrix}$$

$$x_1 := 0.05$$

$$\mu_{воды} := 0.5146 \cdot 10^{-4} \quad \mu_{нефти} := 1.16 \cdot 10^{-4}$$

$$\mu_1 := x_1 \cdot \mu_{воды} + (1 - x_1) \cdot \mu_{нефти} = 1.128 \times 10^{-4} \quad \text{мПа}\cdot\text{с}$$

Расход смеси:

$$G_1 := 2.5 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Расход теплоты на нагрев смеси:

$$c_{воды} := 4190 = 4.19 \times 10^3$$

$$x_1 := 0.05$$

$$c_{нефти} := 1870 = 1.87 \times 10^3$$

$$x_2 := 0.95$$

где $c_{смеси} := x_1 \cdot c_{воды} + x_2 \cdot c_{нефти} = 1.986 \times 10^3$ - удельная теплоемкость смеси.

$$Q := 1.15 G_1 \cdot c_{\text{смеси}} \cdot (T_k - T_n)$$

$$Q = 1.713 \times 10^5 \quad \text{Вт}$$

находим расход горячей воды

$$G_2 := \frac{Q}{c_{\text{воды}} \cdot (115 - 70)}$$

$$G_2 = 0.908$$

2.1.2. Расчет движущей силы процесса теплообмена

$$t_M := t_1 - T_n = 100$$

$$t_6 := t_2 - T_k = 25$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{t_6 - t_M}{\ln\left(\frac{t_6}{t_M}\right)} = 54.101$$

2.1.3. Ориентировочный расчет поверхности теплообмена

$$K := 60 \quad \text{кДж/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$F := \frac{Q \cdot 1000}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K} = 5.277 \times 10^4 \quad \text{м}^2$$

$$F_{\text{max}} := F = 5.277 \times 10^4 \quad \text{м}^2$$

2.1.4. Подбор теплообменника

Внутренний диаметр труб:

$$d_{\text{вн}} := 16 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

Режим движения жидкости:

$$Re := 10000$$

Плотность воды в зависимости от температуры:

$$\nu_{\text{XT}} := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \end{pmatrix} \quad \nu_{\text{Yp}} := \begin{pmatrix} 1000 \\ 998 \\ 992 \\ 983 \end{pmatrix}$$

$$\rho_B := \text{interp}(vxT, vy\rho, t_{cp}) = 968.375 \quad \text{кг/м}^3$$

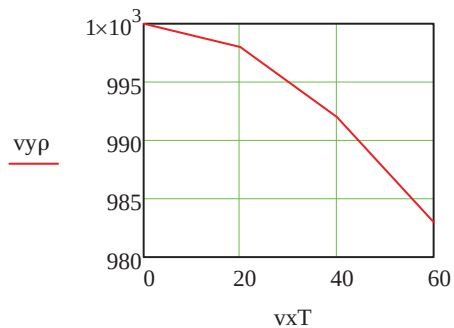


Рис. 2.3. График зависимости ρ воды от T^0 воды

$$w_B := \frac{Re \cdot \mu_1 \cdot 10^{-3}}{d_{BH} \cdot \rho_B} = 7.278 \times 10^{-5} \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$V_B := \frac{G_2}{\rho_B} = 9.381 \times 10^{-4} \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$n := \frac{V_B}{0.785 \cdot w_B \cdot d_{BH}^2} = 6.414 \times 10^4$$

$$Re := 10000 \cdot \frac{588}{384} = 1.531 \times 10^4$$

$$n := 370$$

2.1.5. Уточненный расчет поверхности теплообменника

$$\sigma_{CT} := 0.002 \quad \lambda_{CT} := 46.5 \quad \text{Вт/м}^2\text{К}$$

$$r_{зarp1} := 5800 \quad r_{зarp2} := 5800$$

$$R := \frac{\sigma_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{r_{зarp2}} = 2.154 \times 10^{-4}$$

коэффициент зависящий от степени ассоциации жидкости:

для воды - $3.58 \cdot 10^{-8}$

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

$$M_B := 18 \quad \text{кг/кмоль} \quad \text{молярная масса воды}$$

Коэффициент теплопроводности воды:

$$\lambda_B := A \cdot c_{\text{смеси}} \cdot \rho_B \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_B}{M_B}} = 0.26 \quad \text{Вт/м*К}$$

значение поправочного коэффициента ϵ учитывающего влияние на коэффициент теплоотдачи отношения длины трубы L к ее диаметру d , приведены в таблице

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

$$\epsilon_1 := 1$$

Определение критерия Прандтля:

$$Pr := c_{\text{смеси}} \cdot \frac{\mu_1}{\lambda_B} = 0.862$$

$$Pr_{\text{CT}} := 5.0315 \quad \mu_1 = 1.128 \times 10^{-4} \quad \text{мПа·с}$$

Определения критерия Нуссельта:

$$Nu := 0.021 \cdot \epsilon_i \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{CT}}} \right)^{0.25} = 28.241$$

$$\alpha_1 := \frac{Nu \cdot \lambda_B}{d_{\text{BH}}} = 458.757$$

$v_{xT} :=$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \end{pmatrix}$	$v_{y\mu} :=$	$\begin{pmatrix} 1.792 \\ 1.308 \\ 1.05 \\ 0.8007 \\ 0.6560 \\ 0.5494 \\ 0.4688 \\ 0.4061 \\ 0.3565 \\ 0.3165 \end{pmatrix}$
-------------	---	---------------	--

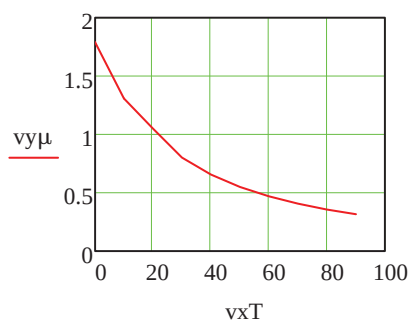


Рис. 2.4.График зависимости μ воды от T^0

$v_{xT} :=$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \end{pmatrix}$	$v_{y\mu} :=$	$\begin{pmatrix} 55 \\ 37 \\ 25.8 \\ 17.1 \\ 12.9 \\ 9.46 \\ 7.5 \\ 4.1 \\ 2.7 \\ 2 \end{pmatrix}$
-------------	---	---------------	--

$$\mu_2 := \text{interp}(v_{xT}, v_{y\mu}, T_{cp}) = 17.1 \quad \text{мПа}\cdot\text{с}$$

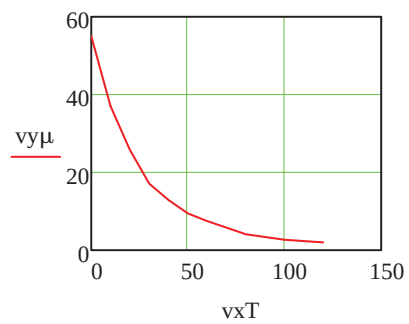


Рис.2.5.График зависимости μ нефти от T^0

$$vxT := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \end{pmatrix} \quad \quad \quad vy\rho := \begin{pmatrix} 1857 \\ 1837 \\ 1817 \\ 1789 \\ 1779 \\ 1761 \\ 1742 \end{pmatrix}$$

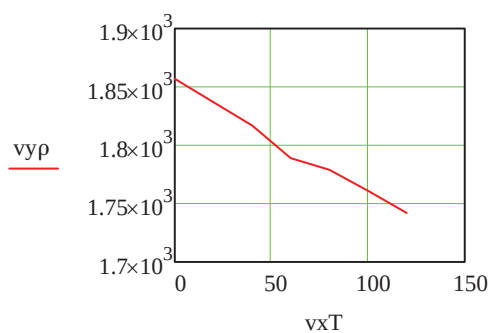


Рис.2.6.График зависимости ρ нефти от T^0

$$\rho_2 := \text{linterp}(vxT, vy\rho, T_{cp}) = 1.827 \times 10^3$$

Коэффициент теплоотдачи для нефти:

$$\lambda_6 := 0.340$$

$$d := 0.025$$

$$n := 334$$

$$\alpha_2 := 3.78 \cdot \lambda_6 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_2^2 \cdot d \cdot n}{\mu_2 \cdot m \cdot 10^{-3}}} = 1.114 \times 10^3$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = 324.977$$

$$F_{расч} := \frac{Q \cdot 1000}{t_{cp} \cdot K} = 5.698 \times 10^3 \quad \text{м}^2$$

2.2 Конструктивно - механический расчет теплообменника

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

$$f_1 := \frac{G_2}{w_B \cdot \rho_B} = 12.889 \quad \text{м}$$

Определяем количество трубок:

$$n := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_{BH}^2} \quad n = 370$$

Принимаем количество трубок одного хода равным 185

$$n := 185$$

Расчетная длина 1-й трубки при одном ходе:

d_p расчетный диаметр стенки

$$d_H := 20 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

$$d_{BW} := 16 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

$$d_p := \frac{d_H + d_{BW}}{2} = 0.018 \quad \text{м}$$

$$L := \frac{F_{расч}}{d_H \cdot \pi \cdot n} = 490.221 \quad \text{м}$$

Определение количества ходов:

l рабочая длина трубок:

$$l := 2500 \quad \text{мм}$$

$$z := \frac{L}{l} = 0.196$$

принимаем число ходов в теплообменнике z равное 2

$$z := 2$$

Определение общего числа трубок в теплообменнике:

$$n_{общ} := z \cdot n = 370$$

Определяем внутренний диаметр кожуха теплообменника:

Для многоходового:

$$\eta := 0.6$$

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t_2 \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 1.352 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Исходя из полученных данных подберем теплообменник:

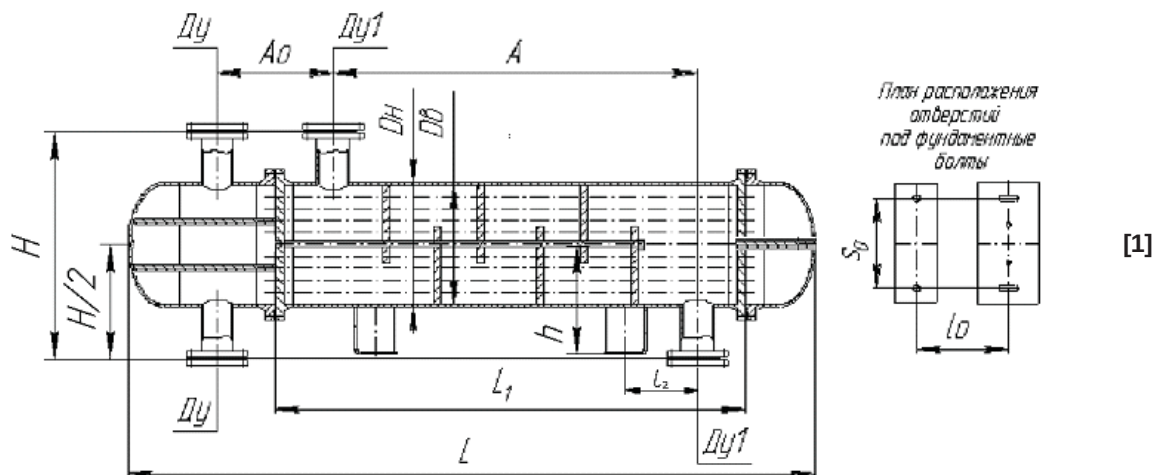


Рис. 2.7. "Горизонтальный теплообменник типа ТН, ТК с неподвижной трубной решеткой "

Внутренний диаметр аппарата: $D := 600 \quad \text{мм};$

Крышка аппарата:

Диаметр крышки:

$D_{\text{кр}} := 600 \quad \text{мм};$

Высота отбортованной части крышки: $h_2 := 25 \quad \text{мм};$

Высота крышки: $H_{\text{к}} := 250 + h_2 = 275 \quad \text{мм};$

Длина аппарата :

$L := 3400 \quad \text{мм};$

[1]

Длина распределительной камеры:

$H_{\text{камеры}} := 411 \quad \text{мм};$

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя: $d_{\text{хол}} := 220 \quad \text{мм};$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя: $d_{\text{гор}} := 220 \quad \text{мм};$

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

Рабочая температура холодного теплоносителя: $t_{\text{хол}} := 15$ градуса

Рабочая температура горячего теплоносителя: $t_{\text{гор}} := 115$ градуса

Допускаемое напряжение материала ст09Г2С-12 при температуре 20 градусов:

$\sigma_{Д20} := 184$ МПа. [3]

Допускаемое напряжение материала ст09Г2С-12 при температуре 20 градусов: при рабочей температуре холодного теплоносителя :

$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix}$ градусов $\sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 160 \\ 154 \end{pmatrix}$ МПа;

$\sigma_{t1} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{хол}}), 0.5) = 182$ МПа. [3]

Допускаемое напряжение материала ст09Г2С-12 при температуре 20 градусов: при рабочей температуре горячего теплоносителя:

$\sigma_{t2} := 184$ МПа; [3]

Диаметр труб аппарата: 20x2 [1]

Плотность рабочей среды:

$\rho_{\text{ср}} := 704.45$ кг/м³;

Рабочее избыточное давление в трубном пространстве:

$P_{\text{тр}} := 1.6$ МПа;

Рабочее избыточное давление в межтрубном пространстве:

$P_{\text{мт}} := 1.6$ МПа.

Дополнительные параметры:

Коэффициент запаса устойчивости: $n_y := 2.4$ [3]

Вид сварного шва и способ сварки:

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

[3]

- $\phi_p := 1$ - коэффициент прочности продольного сварного шва;
 $\phi_T := 1$ - коэффициент прочности кольцевого сварного шва;
 $\phi_k := 1$ - коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости.

2.2.1 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно [4]:

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П := 0.2 \text{ мм/год.}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \text{ лет.}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau = 4 \text{ мм.}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 0.2 \text{ мм.}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм.}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 4.2 \text{ мм.}$$

[3]

Расчет давлений:

Определить гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 градусов)

$$\rho_{\text{вод}} := 979 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{\text{эф}} := 704.45 \text{ кг/м}^3.$$

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \text{ м/с}^2.$$

Высоту гидравлического столба в аппарате принимаем равной диаметру аппарата:

$$H_{\text{гид}} := D = 600 \text{ мм.}$$

Давление гидравлического столба при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{гид1}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^9} = 5.757 \times 10^{-3} \text{ МПа.}$$

[2]

Так как коэффициент заполнения аппарата при рабочем состоянии нам не известен, будем считать, что аппарат полностью заполнен (рассмотрим самые худшие условия которые могут быть).

Давление гидравлического столба при рабочих условиях:

$$P_{\text{гид2}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{ср}}}{10^9} = 4.142 \times 10^{-3} \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Для дальнейшего расчета выберем максимально возможное гидравлическое давление которое может быть оказано на аппарат:

$$P_{\text{гид_мак}} := \max(P_{\text{гид1}}, P_{\text{гид2}}) = 5.757 \times 10^{-3} \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{\text{рас1}} := (P_{\text{тр}} + P_{\text{гид_мак}}) = 1.606 \quad \text{МПа.}$$

Давление при гидроиспытаниях :

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 2.007 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Условное давление: (для горячего теплоносителя)

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т2}}} = 1.606 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас2}} := (P_{\text{мт}} + P_{\text{гид_мак}}) = 1.606 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т1}}} = 2.029 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Условное давление: (межтрубного пространства)

$$P_{\text{усл2}} := P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{т1}}} = 1.623 \quad \text{МПа.}$$

2.3. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением

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

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{pac2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t2}} - P_{pac2}}{P_{и2} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{D20}} - P_{и2}} \right) \right) = 3.327 \quad \text{мм} \quad [4]$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 7.527 \quad \text{мм} \quad [4]$$

Принимаем толщину для цилиндрических аппаратов: согласно из ряда стандартных толщин

$$s_1 := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases} \quad [4]$$

Пров₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{D20} \cdot \phi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.316 \quad \text{МПа.} \quad [4]$$

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

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_{и2} \end{cases} \quad [4]$$

Пров₂ = "Условие прочности стенки для цилиндрической обечайки выполняется"

2.3.1. Расчет толщины стенки распределительной камеры

Расчетная толщина стенки распределительной камеры при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{pac1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1}} - P_{pac1}}{P_{и1} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{D20}} - P_{и1}} \right) \right) = 3.291 \quad \text{мм} \quad [4]$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 7.491 \text{ мм}$$

[4]

Принимаем толщину для колонных аппаратов: согласно из ряда стандартных толщин

$$s_2 := 8 \text{ мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

[4]

Пров₃ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \Phi_p \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 2.316 \text{ МПа.}$$

[4]

Проверка условия прочности стенок цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для распределительной камеры выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₄ = "Условие прочности стенки для распределительной камеры выполняется"

Толщина перегородки распределительной камеры:

$$s_{\text{толщина_перегородки}} := s_2 = 8 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{камеры}} := 600 \text{ мм.}$$

2.3.2. Определение температурных деформаций в корпусе теплообменника

Находим поперечное сечение всех труб и корпуса:

$$D_H := 0.620 \text{ м}$$

$$D := 0.6 \text{ м}$$

$$F_k := 0.785 \cdot (D_H^2 - D^2) = 0.019 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{труб}} := 0.020 \text{ м}$$

$$d_{\text{корп}} := 0.016 \text{ м}$$

$$F_{\text{ТР}} := 0.785 \cdot (d_{\text{Н}}^2 - d_{\text{ВН}}^2) \cdot 370 = 0.042 \quad \text{м}^2$$

Находим температурные усилия:

коэффициент линейного расширения металла

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

модуль упругости

$$E := 1.76 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Из полученных данных можно сделать вывод, что будем рассматривать конструкцию теплообменника тип ТН.

2.3.3. Расчет штуцеров для аппарата

Штуцера горячего теплоносителя:

Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров

Для нефти принимаем: $\omega_{\text{ШТ}} := 0.2 \quad \text{м/с}$

$$d_{\text{ВНШТ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{\text{ШТ}} \cdot \rho_{\text{ср}}}} = 0.15 \quad \text{м}$$

Принимаем $d_{\text{ВН}}$ штуцера горячего теплоносителя равным:

$$d_{\text{ВНШТ}} := 0.2 \quad \text{м}$$

Истинная скорость течения горячего теплоносителя:

$$\omega_{\text{ШТ}} := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot d_{\text{ВНШТ}}^2} = 0.113 \quad \text{м/с}$$

Штуцера холодного теплоносителя:

Для воды принимаем $\omega_{\text{ШТ}} := 2.5 \quad \text{м/с}$

$$d_{\text{ВНШТ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \omega_{\text{ШТ}} \cdot \rho_{\text{ВОД}}}} = 0.036 \quad \text{м}$$

Принимаем $d_{\text{ВН}}$ штуцера холодного теплоносителя равным:

$$d_{\text{ВНШТ}} := 0.2 \quad \text{м}$$

$$\omega_{\text{вншт}} := 4 \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot d_{\text{вншт}}^2} = 0.081 \quad \text{м/с}$$

2.3.4. Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата

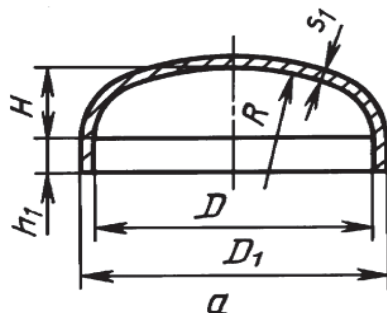


Рис.2.8.Эскиз днища (крышки) эллиптическое отбортованное стальное

Основные конструктивные параметры эллиптического днища и крышки определяем согласно [4]:

Диаметр днища:

$$D_{\text{дн}} := 600 \quad \text{мм.}$$

Высота отбортованной части днища:

$$h_1 := 25 \quad \text{мм.}$$

Высота днища:

$$H_{\text{д}} := 250 + h_1 = 275 \quad \text{мм.}$$

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических оболочек)

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

$$R_{\text{в}} := D = 600 \quad \text{мм.}$$

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

$$s_{\text{рз}} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - 0.5 \cdot P_{\text{рас1}}}}{P_{\text{и1}} \cdot \frac{R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{Д20}} - 0.5 \cdot P_{\text{и1}}}} \right) \right) = 3.282 \quad \text{мм.}$$

[4]

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{\text{и3}} := s_{\text{рз}} + c = 7.482 \quad \text{мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину днища (крышки) :

$$s_3 := 8 \quad \text{мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

[4]

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

Пров₅ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{дЗ} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot (s_3 - c)}{R + (s_3 - c)} = 2.316 \quad \text{МПа.}$$

[4]

Проверка условия прочности стенки днища (крышки):

$$\text{Пров}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"} & \text{if } P_{дЗ} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{дЗ} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₆ = "Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"

2.3.5. Расчет фланцевого соединения

Исходные данные для расчета:

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С-12

Материал - сталь 35

Материал прокладки - паронит ПМБ.

$\underline{D} := 600$ мм; Внутренний диаметр фланца

$\underline{D}_n := 800$ мм; Наружный диаметр фланца

$t := 115$ °С. Рабочая температура

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$\underline{t} := t_{\text{Гор}} \cdot 0.96 = 110.4 \quad ^\circ\text{C}.$$

материал для шпилек: Сталь 35

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для шпильки:

$$\sigma_6 := 230 \text{ МПа};$$

$$h_{\Pi} := 3 \text{ мм}; \quad \text{Толщина прокладки}$$

$$d := 20 \text{ мм}; \quad \text{Диаметр шпильки (рекомендуемый)}$$

$$b_{\Pi} := 25 \text{ мм}; \quad \text{Ширина прокладки}$$

$$S_0 := 10 \text{ мм}; \quad \text{Толщина втулки фланцев}$$

$$h := 50 \text{ мм}; \quad \text{Толщина тарелки фланца}$$

$$D_6 := 800 \text{ мм}; \quad \text{Диаметр окружности расположения шпилек}$$

$$D_{\text{сп}} := 685 \text{ мм}; \quad \text{Расчетный диаметр прокладки}$$

$$F := \left[-0.673 \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{1000} \right)^2}{4} \cdot 10^6 \right] = -1.903 \times 10^5 \text{ Н}; \quad \text{Внешняя осевая сила}$$

$$M := 0 \text{ Н*мм}; \quad \text{Внешний изгибающий момент}$$

$$c_0 := 1 \text{ мм}; \quad \text{Прибавка на коррозию}$$

$$n := 40 \quad \text{Количество шпилек}$$

Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа

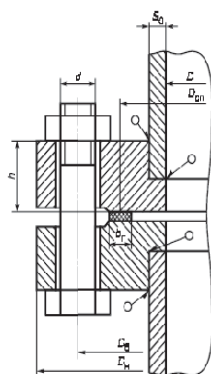


Рис.2.10. "Фланцевые соединения с плоскими фланцами, с гладкой уплотнительной поверхностью"

Выбор крепежных элементов:

--	--

$$\mathbf{t} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix} \quad [3]$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma = 230 \text{ МПа.}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката

$$\eta := 1$$

[5]

$$\sigma_{\text{д.}\phi} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.}\phi} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С-12 при рабочей температуре:

$$E := 1.76 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С-12 при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_{20} := 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 230 \text{ МПа.}$$

[3]

Модуль упругости для стали 09Г2С-12 при температуре испытания $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{20} := 1.76 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

[3]

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С-12 при $t = 20 - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_{\phi} := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{K.}$$

[5]

2.4.2. Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\pi} := 49 \text{ мм.}$$

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

[5]

$$b_0 = 27 \text{ мм.}$$

Таблица 1, характеристики основных типов прокладок.

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент m	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия $K_{обж}$	Условный модуль сжатия прокладки $E_n \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из: резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20,0 ¹⁾	130,0	0,90	0,02

По таблице 1, выбираем характеристики прокладки изготовленной из стали паронита:

$m := 2.5$ Прокладочный коэффициент

$q_{обж} := 20$ МПа; Удельный коэффициент обжатия прокладки

$q_d := 130$ МПа; Допускаемое удельное давление

[5]

$K_{обж} := 0.9$ Коэффициент обжатия

$E_{II} := 0.02 \cdot 10^5$ МПа. Условный модуль сжатия прокладки

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж}$ $P_{обж} = 5.81 \times 10^5$ Н;

[5]

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

$R_{II} := \begin{cases} \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{и1} & \text{if } P_{и1} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

[5]

$R_{II} = 2.916 \times 10^5$ Н;

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек):

$f_{\bar{b}} := 324$ мм²

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

$A_{\bar{b}} := n \cdot f_{\bar{b}}$ $A_{\bar{b}} = 1.296 \times 10^4$ мм².

[5]

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P_{\text{и1}} \quad Q_d = 7.397 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

Уклон втулки (принимаем):

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

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

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

$$Q_{\text{FM}} = 1.903 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

2.4.3. Податливость прокладки

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad y_{\text{п}} = 1.28 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н.} \quad [5]$$

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

$$L_{\text{б0}} := 177 \quad \text{мм.}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := \begin{cases} L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d & \text{if } b_s = 1 \\ L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d & \text{if } b_s = 2 \end{cases} \quad L_{\text{б}} = 182.6 \quad \text{мм.} \quad [5]$$

Податливость шпилек:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 8.005 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н.} \quad [5]$$

2.4.4. Расчетные параметры фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 77.46 \quad \text{мм.} \quad [5]$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} \quad K = 1.333 \quad [5]$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.781 \quad [5]$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 7.592 \quad [5]$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 6.97 \quad [5]$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 3.571 \quad [5]$$

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

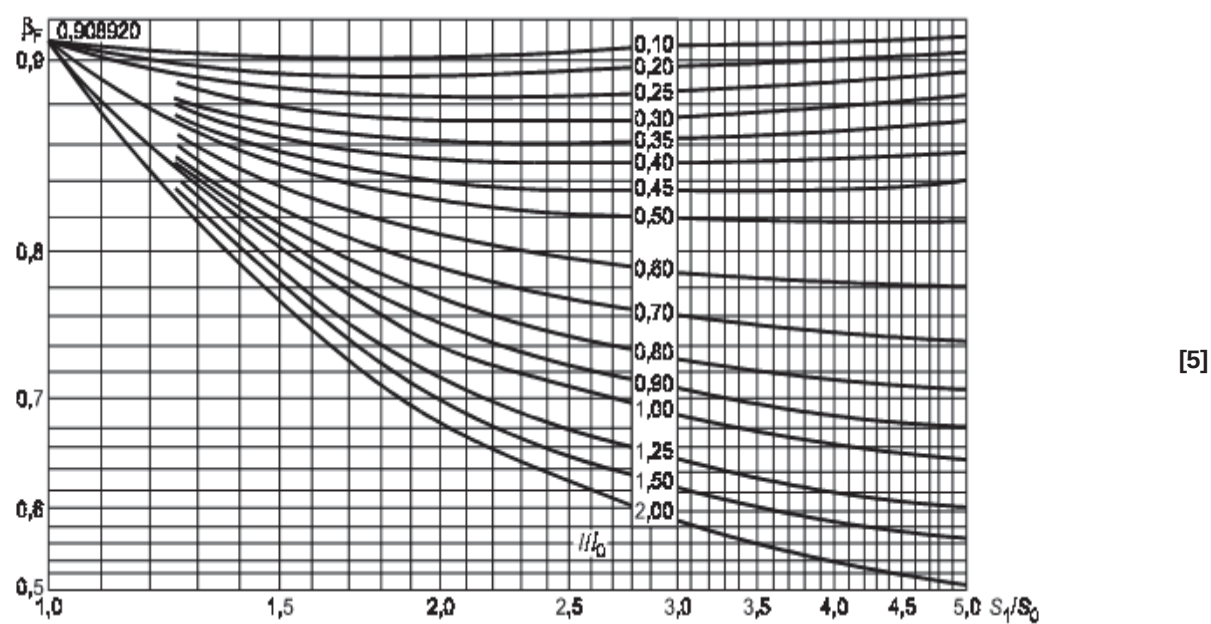


Рис.2.11.К определению коэффициента β_F .

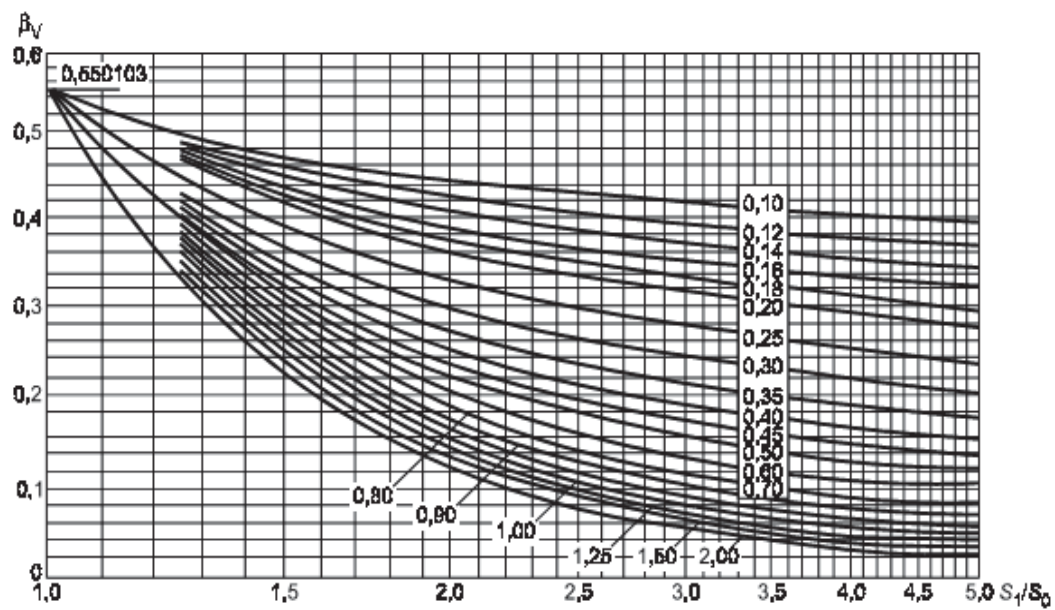


Рис.2.12. К определению коэффициента β_V .

[5]

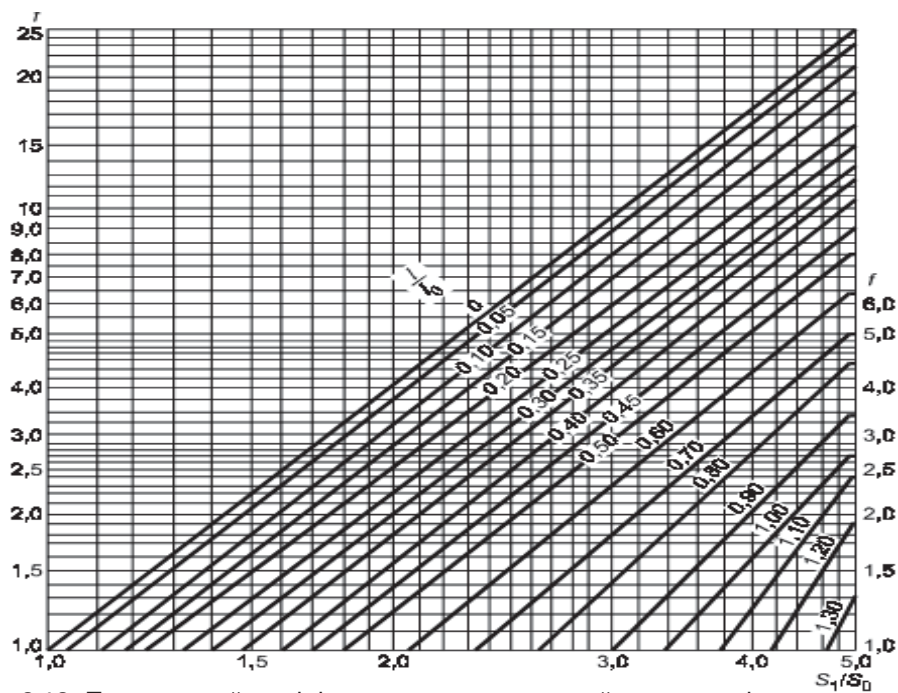


Рис.2.13. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца.

[5]

Из рисунка 2.11, 2.12, 2.13 определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

$$f := 1$$

[5]

1.28. Коэффициент I :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 2.06 \quad [5]$$

2.4.5. Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad [5]$$

$$y_\phi = 1.782 \times 10^{-10} \quad 1/\text{Н*мм.}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi_H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad [5]$$

$$y_{\phi_H} = 2.202 \times 10^{-11} \quad 1/\text{Н*мм.}$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1 \quad [5]$$

Приведенный диаметр плоского фланца: $D_{пр} := D \quad \text{мм.}$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп}) \quad [5]$$

$$b = 57.5$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad [5]$$

$$e = 37.5 \quad \text{мм.}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_3 := S_0 \quad [5]$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\delta} \cdot \frac{E_{20\delta}}{E_{\delta}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad [5]$$

$$\gamma = 7.866 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad [5]$$

$$\alpha = 1.594$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\phi} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 1.297 \quad [5]$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_{\delta} \cdot h \cdot (t_{\delta} - 20) \right] \quad [5]$$

$$Q_t = 1.28 \times 10^4 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\delta 1} := \max \left[\left[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right] \right. \\ \left. \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right] \quad [5]$$

$$P_{\delta 1} = 1.168 \times 10^6 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 5.81 \times 10^5 \quad \text{Н}; \quad [5]$$

$$P_{\text{б2}} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20\text{б}}) \quad [5]$$

$$P_{\text{б2}} = 1.192 \times 10^6 \quad \text{Н}.$$

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

$$P_{\text{бм}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) \quad [5]$$

$$P_{\text{бм}} = 1.192 \times 10^6 \quad \text{Н}.$$

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

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \quad [5]$$

$$P_{\text{бр}} = 8.785 \times 10^5 \quad \text{Н}.$$

2.4.6. Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б1}} = 92 \quad \text{МПа}. \quad [5]$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б2}} = 67.786 \quad \text{МПа}. \quad [5]$$

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

$$\text{Usl_1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{20\text{б}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [5]$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \quad \text{МПа}; \quad \sigma_{\text{д.б}} = 230 \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_{20\text{б}} = 230 \quad \text{МПа}; \quad \sigma_{\text{б2}} = 67.786 \quad \text{МПа}.$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 11.307 \quad \text{МПа.} \quad [5]$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{Usl_2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [5]$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 11.307 \quad \text{МПа.} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа.}$$

2.4.7. Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_{\text{м}} := C_{\text{F}} \cdot P_{\text{бм}} \cdot b \quad M_{\text{м}} = 6.856 \times 10^7 \quad \text{Н*мм.} \quad [5]$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_{\text{р}} := C_{\text{F}} \cdot \max[P_{\text{бр}} \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e, |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e] \quad [5]$$

$$M_{\text{р}} = 8.539 \times 10^7 \quad \text{Н*мм.}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0\text{м}} := \frac{M_{\text{м}}}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad [5]$$

$$\sigma_{0\text{м}} = 684.742 \quad \text{МПа.}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{RM}} := \frac{1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_{\text{м}} \quad \sigma_{\text{RM}} = 39.518 \quad \text{МПа.} \quad [5]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 177.453 \quad \text{МПа.} \quad [5]$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 852.842 \quad \text{МПа.} \quad [5]$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad [5]$$

$$\sigma_{0mp} = 31.855 \quad \text{МПа.}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 49.22 \quad \text{МПа} \quad [5]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 221.016 \quad \text{МПа.} \quad [5]$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

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

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

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

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

$$K_T := 1.3$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max\left(\left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp}| \right)\right), \left(\left|\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}\right| \right)\right) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad [5]$$

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

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 862.195 \quad \text{МПа}; \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 299 \quad \text{МПа};$$

$$\max\left(\left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp}| \right)\right), \left(\left(|\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp}| \right)\right), \left(\left|\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}\right| \right)\right) = 1.042 \times 10^3 \quad \text{МПа}; \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 299 \quad \text{МПа}.$$

2.4.8. Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta_d := 0.013 \quad \text{допускаемый угол поворота приварного встык фланца} \quad [5]$$

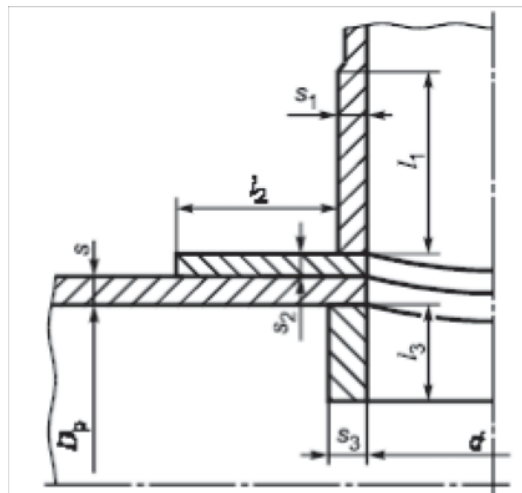
$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 0.015 \quad [5]$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [5]$$

$Usl_P = \text{"Условие в рабочих условиях выполняется"}$

2.5. Патрубки в обечайке и распределительной камере



[6]

Рис.1.14. Расчетная схема для штуцера

2.5.1. Расчет патрубков для штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя: $d_{\text{хол}} = 220 \text{ мм}$;

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя: $d_{\text{гор}} = 220 \text{ мм}$.

Материал для патрубков назначаем конструктивно: ст09Г2С-12 (корпус аппарата изготовлен из такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии)

Рабочая температура холодного теплоносителя: $t_{\text{хол}} := 15 \text{ градуса}$

Рабочая температура горячего теплоносителя: $t_{\text{гор}} := 115 \text{ градуса}$

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

Длина патрубка для горячего теплоносителя: $l_{\text{гор}} := 232 \text{ мм}$;

Длина патрубка для холодного теплоносителя: $l_{\text{хол}} := 232 \text{ мм}$.

Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p4} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1}} - P_{\text{рас1}}}{P_{\text{и1}} \cdot \frac{d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{D20}} - P_{\text{и1}}} \right) \right) = 1.207 \text{ мм.}$$

[3]

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{и4}} := s_{p4} + c = 5.407 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину патрубка:

Труба 159х6-ст09Г2С-12

[7]

$s_4 := 8$ мм.

[3]

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_7 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_4 - c}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_4 - c}{d_{\text{хол}}} > 0.1 \end{cases}$$

Пров₇ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д4}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д20}} \cdot \phi_p \cdot (s_4 - c)}{d_{\text{хол}} + (s_4 - c)} = 6.248 \quad \text{МПа.}$$

[3]

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

$$\text{Пров}_8 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для патрубка холододного тепл. выполняется"} & \text{if } P_{\text{д4}} > P_{\text{и2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{д4}} < P_{\text{и2}} \end{cases}$$

Пров₈ = "Условие прочности стенки для патрубка холододного тепл. выполняется"

Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя, согласно :

$$s_{\text{р5}} := \max \left(\begin{pmatrix} P_{\text{рас2}} \cdot \frac{d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{т2}} - P_{\text{рас2}}} \\ P_{\text{и2}} \cdot \frac{d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{Д20}} - P_{\text{и2}}} \end{pmatrix} \right) = 1.22 \quad \text{мм.}$$

[3]

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{и5}} := s_{\text{р5}} + c = 5.42 \quad \text{мм.}$$

Принимаем толщину патрубка:

Труба 220х8-ст09Г2С-12

[7]

$$s_5 := 8 \quad \text{мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

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

Пров₁₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д5}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д20}} \cdot \Phi_p \cdot (s_5 - c)}{d_{\text{гор}} + (s_5 - c)} = 6.248 \quad \text{МПа.} \quad [3]$$

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

$$\text{Пров}_{12} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка горячего теплоносителя выполняется"} & \text{if } P_{\text{д5}} > P_{\text{и1}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{д5}} < P_{\text{и1}} \end{cases}$$

Пров₁₂ = "Условие прочности стенки патрубка горячего теплоносителя выполняется"

2.5.2. Расчет укрепления отверстия при внутреннем давлении

$$D_p := D = 600 \quad \text{мм.}$$

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

$$d_{\text{рхол}} := d_{\text{хол}} + 2 \cdot c = 228.4 \quad \text{мм.}$$

$$d_{\text{ргор}} := d_{\text{гор}} + 2 \cdot c = 228.4 \quad \text{мм.}$$

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

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{1\text{хол}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{хол}} + 2 \cdot c) \cdot (s_4 - c)} = 36.826 \quad \text{мм;} \quad [6]$$

$$l_{1\text{гор}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{гор}} + 2 \cdot c) \cdot (s_5 - c)} = 36.826 \quad \text{мм.} \quad [6]$$

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

$$d_{0\text{хол}} := 2 \cdot \left(\frac{s_4 - c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_4 - c)} = 224.376 \quad \text{мм}; \quad [6]$$

$$d_{0\text{гор}} := 2 \cdot \left(\frac{s_5 - c}{s_{p5}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_5 - c)} = 221.088 \quad \text{мм}. \quad [6]$$

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

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

Расч_{отв1} = "Расчет укрепления отверстия штуцера холодного теплоносителя необходим"

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров горячего теплоносителя: [6]

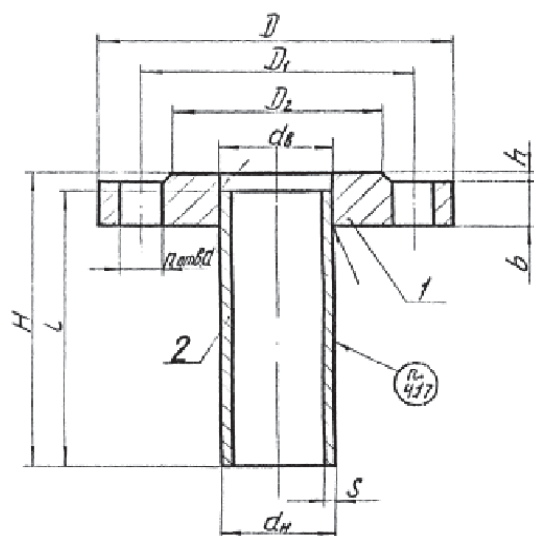
$$\text{Расч}_{\text{отв2}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теп. не требуется"} & \text{if } d_{p\text{гор}} < d_{0\text{гор}} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Расч_{отв2} = "Расчет укрепления отверстия штуцера горячего теплоносителя необходим"

2.5.3. Подбор стандартных штуцеров для аппарата

Штуцера горячего теплоносителя:

Подбор стандартных штуцеров осуществляем исходя из давления и принятой толщины патрубков, диаметра условного прохода.



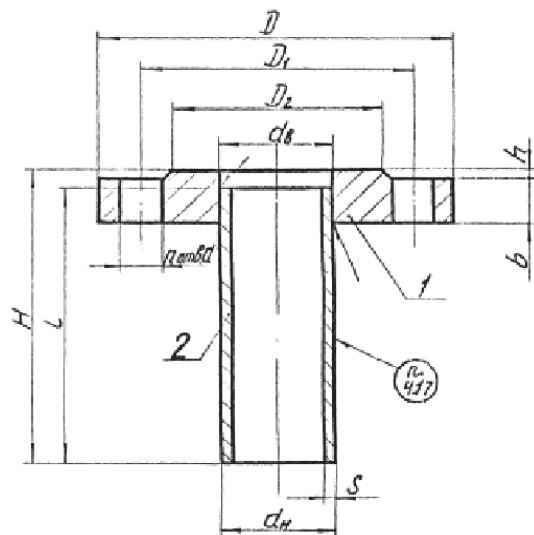
[8]

Рис.2.15.Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа

Таблица 2 Основные размеры штуцеров горячего теплоносителя.

D_y	d_6	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_n	s	Масса, кг
100	110	215	180	158	23	3	18	8	160	165	108	6	7,1

Штуцера холодного теплоносителя:



[8]

Рис.2.16. Штуцера с плоскими приварными фланцами под прокладку круглого сечения на условное давление от 0,1 до 2,5 МПа

Таблица 3 Основные размеры штуцеров холодного теплоносителя.

D_y	d_8	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_H	S	Масса, кг
150	161	260	225	202	17	3	18	8	150	155	159	6,0	9,2

2.6. Расчет трубной решетки

Принимаем длину труб аппарата равной 2,5 метрам согласно [1],[9]

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

$$l_{\text{труб}} := 2500 \text{ мм.}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 370 \text{ труб}$$

Для трубной решетки используем материал Сталь 09Г2С-12

Допускаемое напряжение трубной решетки:

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

[3]

Модуль упругости:

$$E_{\text{реш}} := 1.76 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

[3]

Для труб используется материал: Сталь 09Г2С-12

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$t_{\text{таб1}} := \left(\frac{20}{100} \right) \text{ градусов} \quad \sigma_{\text{таб1}} := \left(\frac{184}{174} \right) \text{ МПа}$$

[3]

$$\sigma_{\text{тр120}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{хол}}), 0.5) = 184.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{тр120}} := 1.76 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

[3]

Внутренний диаметр аппарата: $\underline{D} := 600 \text{ мм;}$

Диаметр трубы внутренний: $d_{\text{тр}} := 16 \text{ мм;}$

Толщина стенки трубы: $s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм;}$

Диаметр трубы наружный: $d_{\text{нр}} := 20 \text{ мм;}$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 300 \text{ мм.}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 579$$

[9]

Расчет трубной решетки: согласно

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки:

[10]

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 0.518$$

Шаг расположения труб, располагаются по равнобедренному треугольнику:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нр}} + 2 = 26 \text{ мм.}$$

[10]

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_p := \frac{t - 21}{t} = 0.192$$

[10]

Толщина трубной решетки:

$$s_p := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{и2}}}{\sigma_{\text{реш}} \cdot \phi_p}} + c = 34.771 \text{ мм.}$$

[10]

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_{\text{пр}} := 52 \text{ мм.}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.89$$

[10]

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.929$$

[10]

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_{\text{тр120}} \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l_{\text{труб}}} = 2.797 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

[10]

Модуль упругости кожуха при температуре 115 градусов:

[3]

$$E_{\text{кож}} := 1.76 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 2.876$$

[10]

2.6.1. Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

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

$$K_{q1} := 0 \quad K_{p1} := 0 \quad [10]$$

K_q - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы;

$$K_q := 1 + K_{p1} = 1 \quad [10]$$

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

$$K_p := 1 + K_{q1} = 1 \quad [10]$$

Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$s_p := 52 \quad \text{толщина трубной решетки, мм.}$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

$$\eta_T = 0.929$$

Таблица 9 Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

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

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,65 \end{pmatrix} \quad \psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,37 \end{pmatrix} \quad [10]$$

Коэффициент прочности перфорированной трубы

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{interp}[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}, (\eta_T)], 0.005] = 0.76$$

$$E_p := 1.76 \cdot 10^5 \quad \text{модуль продольной упругости материала трубной решетки, МПа}$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{\text{реш}}}} = 6.356 \times 10^{-3} \quad [10]$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 3.68 \quad [10]$$

2.6.2. Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

K_f - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

$$K_{\phi} := 1 \quad H \cdot \text{мм.} \quad [10]$$

- Максимальное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{мак1}} := 1.6 \quad \text{МПа.}$$

- Максимальное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{мак2}} := 1.6 \quad \text{МПа.}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} + \frac{D}{2} = 350 \quad \text{мм.}$$

$m_{\text{ср}}$ — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб: [10]

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.011 \quad [10]$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6} \quad \text{коэффициент линейного расширения кожуха,} \\ \text{ГОСТ P52857.1-2007 таблица Г.1, 1/С}$$

$$\alpha_T := \alpha_K \quad \text{так как материал идентичен}$$

$$p_0 := [\alpha_K \cdot (t_{\text{гор}} - 20) - \alpha_T \cdot (t_{\text{хол}} - 20)] \cdot K_y \cdot l + [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{и2}} - [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n]$$

$$p_0 = 9.061 \quad \text{МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = 3.437 \times 10^7 \quad \text{Па.} \quad [10]$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 определяют по таблице 5.

Таблица 10 Коэффициенты Φ_1, Φ_2, Φ_3

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

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

безразмерный параметр системы решетка - трубы. $\omega = 3.68$

$$\omega_{-1} := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad \Phi_{1_таб} := \begin{pmatrix} 9.08 \\ 10.51 \end{pmatrix} \quad [10]$$

$$\Phi_1 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-1}, \Phi_{1_таб}, \omega), 0.05) = 5.75$$

$$\omega_{-2} := \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \quad \Phi_{2_таб} := \begin{pmatrix} 5.15 \\ 7.7 \end{pmatrix} \quad [10]$$

$$\Phi_2 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-2}, \Phi_{2_таб}, \omega), 0.05) = -0.8$$

$$\omega_{-3} := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.6 \end{pmatrix} \quad \Phi_{3_таб} := \begin{pmatrix} 2.76 \\ 3.76 \end{pmatrix} \quad [10]$$

$$\Phi_3 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-3}, \Phi_{3_таб}, \omega), 0.05) = 5.55$$

Значения T_1 , T_2 , T_3 вычисляются по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = -1.483$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 1.325 \quad [10]$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 1.186$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 2.876$$

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

- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 4 \quad \text{мм} \quad s_{2k} := 4 \quad \text{мм.}$$

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

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.038 \quad 1/\text{мм.} \quad [10]$$

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

$$\beta_2 := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.038 \quad 1/\text{мм.} \quad [10]$$

h_1 - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_1 := 50 \quad \text{мм.}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{\beta_1^2} = 2.042 \times 10^3 \quad [10]$$

m_2 - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

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

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) = 0 \quad \text{Па.} \quad [10]$$

расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{мак2}} = 1.6 \quad \text{МПа.}$$

$$M_\Pi := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -6.783 \times 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{мм.} \quad [10]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_\Pi := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 1.249 \times 10^3 \quad \text{Н.} \quad [10]$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру

перфорированной зоны решетки, вычисляют по формулам:

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = -3.485 \times 10^5 \quad \text{Н*мм.} \quad [10]$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = 647.209 \quad \text{Н.} \quad [10]$$

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

- для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 2.978 \times 10^7 \quad \text{Н.} \quad [10]$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 16 \quad \text{мм.} \quad [10]$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 4.637 \times 10^3 \quad \text{мм}^4.$$

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

$l_{\text{пр}}$ — вычисляют по формулам.

$$l_{\text{пр}} := l_{\text{труб}} = 2.5 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

$$\dot{w} := s_p$$

$$\frac{E_{\text{тр120}} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) \quad [10]$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{и2}} + Q_{\Pi} = 1.554 \times 10^3 \quad \text{Н.} \quad [10]$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{\Pi} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{\Pi}) - \frac{P_{\text{мак1}}}{2 \cdot \beta_1^2} = 8.049 \times 10^4 \quad \text{Н*мм.} \quad [10]$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F_k := \pi D \cdot Q_k = 2.928 \times 10^6 \quad \text{Н.}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции

[10]

D_H - наружный диаметр фланца, м; $D_H = 800$ мм.

s_p - толщина трубной решетки, м; $s_p = 52$ мм.

$$s_{1p} := s_p = 52 \quad \text{мм.}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 100 \quad \text{мм.}$$

[10]

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 := \frac{D_H - D}{4} = 50 \quad \text{мм.}$$

[10]

2.6.2. Расчетные напряжения в трубных решетках

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\Pi}|}{(s_{1p} - c)^2} = 1.781 \times 10^{-5} \quad \text{МПа.}$$

[10]

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{\Pi}|}{s_{1p} - c} = 26.132 \quad \text{МПа.}$$

[10]

B - коэффициент, определяемый по таблице 6, в зависимости от ω и p_B : $B := 0.813$

$$\omega = 3.68$$

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

$$p_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = -0.292$$

[10]

Таблица 6 Коэффициент B

n_B	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥ 10
1,0	0,843	0,972	1,041	0,991	0,964	1,029	1,071	1,117
0,9	0,829	0,943	1,000	0,949	0,940	1,000	1,040	1,083
0,8	0,815	0,914	0,960	0,908	0,910	0,971	1,009	1,051
0,7	0,800	0,886	0,920	0,871	0,884	0,944	0,979	1,020
0,6	0,786	0,858	0,880	0,836	0,860	0,918	0,951	0,990
0,5	0,771	0,829	0,840	0,804	0,839	0,894	0,925	0,963
0,4	0,757	0,801	0,799	0,777	0,819	0,871	0,900	0,938
0,3	0,742	0,773	0,761	0,754	0,802	0,852	0,878	0,915
0,2	0,728	0,744	0,732	0,737	0,789	0,835	0,860	0,896
0,1	0,714	0,716	0,714	0,727	0,780	0,823	0,846	0,882
0	0,700	0,702	0,709	0,725	0,776	0,816	0,837	0,874
-0,1	0,703	0,707	0,716	0,732	0,778	0,815	0,835	0,873
-0,2	0,705	0,712	0,723	0,741	0,787	0,821	0,841	0,876
-0,3	0,708	0,717	0,730	0,750	0,796	0,828	0,846	0,879
-0,4	0,711	0,722	0,738	0,759	0,805	0,835	0,852	0,882
-0,5	0,713	0,728	0,745	0,768	0,814	0,842	0,857	0,884
-0,6	0,716	0,733	0,753	0,777	0,823	0,850	0,863	0,887
-0,7	0,718	0,738	0,760	0,786	0,832	0,857	0,869	0,890
-0,8	0,721	0,743	0,768	0,795	0,841	0,864	0,874	0,893
-0,9	0,723	0,748	0,775	0,804	0,849	0,871	0,880	0,895
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	0,858	0,878	0,885	0,898

где A - коэффициент, определяемый по таблице 7 в зависимости от ω и m_A

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -3.422 \quad [10]$$

$$A := 0.812$$

Таблица 7 Коэффициент A

m_A	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥ 10
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	0,858	0,878	0,885	0,898
-0,9	0,656	0,683	0,712	0,740	0,781	0,797	0,802	0,811
-0,8	0,586	0,613	0,641	0,668	0,705	0,716	0,720	0,724
-0,7	0,516	0,543	0,570	0,596	0,628	0,636	0,637	0,637
-0,6	0,446	0,473	0,500	0,524	0,551	0,555	0,554	0,550
-0,5	0,376	0,403	0,429	0,451	0,474	0,474	0,471	0,463
-0,4	0,306	0,333	0,358	0,379	0,397	0,393	0,388	0,376
-0,3	0,236	0,262	0,287	0,307	0,320	0,313	0,305	0,289
-0,2	0,166	0,192	0,274	0,355	0,305	0,273	0,289	0,308
-0,1	0,096	0,216	0,338	0,408	0,337	0,319	0,338	0,359
0	0,144	0,284	0,402	0,461	0,376	0,370	0,392	0,414
0,1	0,214	0,353	0,466	0,514	0,420	0,426	0,450	0,474
0,2	0,284	0,422	0,530	0,567	0,470	0,485	0,511	0,537
0,3	0,354	0,491	0,593	0,620	0,523	0,546	0,575	0,603
0,4	0,424	0,559	0,657	0,672	0,580	0,610	0,641	0,671
0,5	0,494	0,628	0,721	0,725	0,639	0,677	0,709	0,742
0,6	0,564	0,697	0,785	0,778	0,701	0,745	0,779	0,814
0,7	0,634	0,766	0,849	0,831	0,765	0,814	0,851	0,888
0,8	0,704	0,834	0,913	0,884	0,830	0,885	0,923	0,963
0,9	0,773	0,903	0,977	0,937	0,896	0,956	0,997	1,040
1,0	0,843	0,972	1,041	0,991	0,964	1,030	1,071	1,117

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

$$((B \cdot |M_a|)) = 2.833 \times 10^5 \quad \text{Н*мм.}$$

$$A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 8.269 \times 10^4 \quad \text{Н*мм.} \quad [10]$$

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

- изгибные:

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

[10]

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 104.883 \quad \text{МПа.}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 13.54 \quad \text{МПа.}$$

[10]

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = -7.768 \times 10^3 \text{ МПа.} \quad [10]$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 1.207 \times 10^7 \quad [10]$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{P_{\text{мак1}} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = -2.4 \times 10^3 \text{ МПа.} \quad [10]$$

изгибные:

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 3.622 \times 10^6 \text{ МПа.} \quad [10]$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_{\text{нр}} - s_{\text{тр}}) \max(|P_{\text{мак2}}|, |P_{\text{мак1}}|, |P_{\text{мак2}} - P_{\text{мак1}}|)}{2 \cdot s_{\text{тр}}} = 7.2 \text{ МПа.} \quad [10]$$

сдр - допускаемое напряжение для материала решетки, МПа;

$$\sigma_{\text{др}} := 184 \text{ МПа.}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров}_{\text{труб_реш}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{\text{др}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Пров_{труб_реш} = "Условие прочности выполняется"

Проверка прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

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

$$\sigma_{D200} := 184 \text{ МПа.}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma_{D200} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Пров_{кож} = "Условие выполняется"

2.6.3. Расчёт трубы на прочность ,устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке

условие статической прочности труб

$$\text{Пров}_{\text{ст_прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2T} \leq \sigma_{\text{тр120}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [10]$$

Пров_{ст_прочности} = "Условие выполняется"

Проверку труб на устойчивость проводят в случае,если

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

Задаем конструктивно:

l_{1R} — максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм; $l_{1R} := 520$ мм;

l_{2R} — максимальный пролет трубы между перегородками, мм; $l_{2R} := 520$ мм.

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

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

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр120}}}{E_{\text{тр120}}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 1.563 \quad [10]$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр120}}}{E_{\text{тр120}}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 1.354 \quad [10]$$

$$\varphi_T := 0.8 \quad \text{из рисунка 2.17.}$$

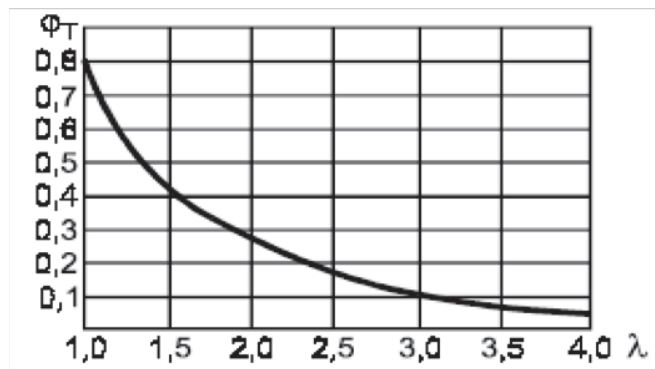


Рис. 2.17. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

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

Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой:

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 384.354 \quad \text{мм}^2.$$

[10]

Трубная нагрузка:

$$q := P_{\text{рас1}} \cdot f = 617.179$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \quad \text{Па};$$

[10]

$$q := \frac{Q}{n_{\text{тр}}} = 171.811 \quad \text{Н};$$

[10]

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_T := 4.853 \times 10^8 \quad \text{Па}.$$

[10]

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_{\text{вн}} := 0.02 \quad \text{м}; \quad d_{\text{вн}} := 0.016 \quad \text{м}.$$

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{вн}}^2 - d_{\text{в}}^2) = 1.131 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2.$$

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 5.489 \times 10^4$$

Суммарное усилие:

$$q_c := q - q_T = -5.471 \times 10^4 \quad \text{Н}.$$

[10]

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 2.734 \times 10^3 \text{ Н/м};$$

[10]

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

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

[10]

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

2.7. Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D := 0.6 \text{ м.}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 := 0.008 \text{ м.}$$

Толщина стенки распределительной камеры:

$$s_2 := 0.008 \text{ м.}$$

Толщина стенки днища:

$$s_3 := 0.008 \text{ м.}$$

Высота отбортовки крышки:

$$h_1 := 0.025 \text{ м.}$$

Высота отбортовки днища:

$$h_2 := 0.025 \text{ м.}$$

Длинна трубной решетки:

$$l := 0.05 \text{ м.}$$

$$D_{\text{вн}} := 0.6 \text{ м.}$$

Высота распределительной камеры:

$$H_{\text{камеры}} := 0.411 \text{ м.}$$

Плотность среды:

$$\rho_{\text{ср}} := 704.45 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность материала сталь 09Г2С-12:

$$\rho_{\text{мет}} := 7950 \quad \text{кг/м}^3.$$

Длина обечайки:

$$L := 2398 \quad \text{м.}$$

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

$$G_{\text{ц}} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot L \cdot \rho_{\text{мет}} = 2.913 \times 10^5 \text{ кг}$$

Высота эллиптического днища без отбортованной части оболочки:

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

Высота эллиптической крышки без отбортованной части оболочки:

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

Внутренний объем эллиптической крышки без отбортовки:

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

Наружный объем эллиптической крышки без отбортовки:

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

Объем металла днища аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{д}} := V_{\text{д2}} - V_{\text{д1}} = 2.068 \times 10^{-3} \quad \text{м}^3.$$

Объем металла крышки аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{к}} := V_{\text{д}} = 2.068 \times 10^{-3} \quad \text{м}^3.$$

Вес эллиптического днища (крышки) аппарата без отбортовки:

$$G_{\text{д.эл}} := V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{мет}} = 16.442 \text{ кг}$$

Вес отбортованной части днища аппарата:

$$G_{д.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.2 \cdot \rho_{мет} = 24.296 \text{ кг}$$

Масса отбортованной части днища аппарата:

$$G_{к.отб} := \pi \cdot \left[\frac{(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2}{4} \right] \cdot 0.05 \cdot \rho_{мет} = 6.074 \text{ кг}$$

Масса днища аппарата:

$$G_{д} := G_{д.эл} + G_{д.отб} = 40.738 \text{ кг}$$

Масса днища аппарата:

$$G_{кр} := G_{д.эл} + G_{к.отб} = 22.516 \text{ кг}$$

Масса распределительной камеры:

$$G_{распред_камеры} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H_{камеры} \cdot \rho_{мет} = 49.929 \text{ кг}$$

Масса пустого аппарата:

$$G_{ап1} := G_{д} + G_{кр} + G_{ц} + G_{распред_камеры} = 2.914 \times 10^5 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри корпуса при самых худших рабочих условиях:

$$G_{жид1} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{камеры} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{д1} \right] \cdot \rho_{ср} = 4.778 \times 10^5 \text{ кг}$$

Масса аппарата заполненного жидкостью при самых худших рабочих условиях:

$$G_{ап2} := G_{ап1} + G_{жид1} = 7.692 \times 10^5 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри корпуса при условиях гидроиспытания:

$$G_{жид2} := \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (L + H_{камеры} + 0.2 + 0.05) + 2 \cdot V_{д1} \right] \cdot \rho_{вод} = 6.64 \times 10^5 \text{ кг}$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при условиях гидроиспытания:

$$G_{ап3} := 3293 \text{ кг}$$

2.8. Расчет стандартной опоры аппарата

Выбор стандартных опор ведется согласно [11]

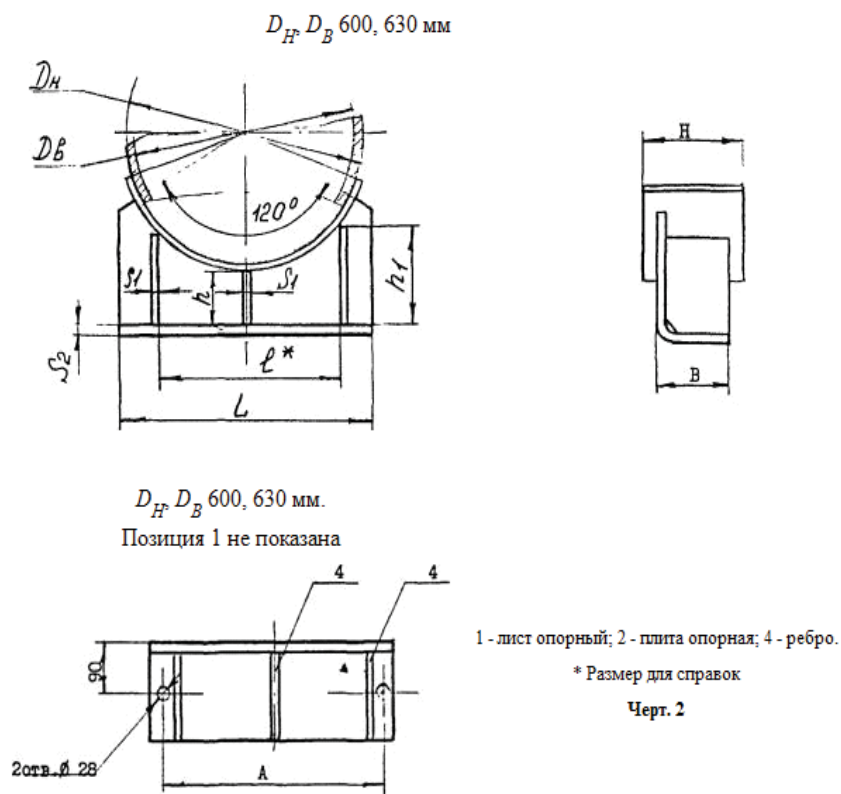


Рис.2.18.Конструкция седловой опоры.

Параметры и размеры опор типа 1

Диаметр аппарата		Допускаемая нагрузка на опору, кН (тс)		Размеры, мм																Масса*, кг		Масса листа подкладного, кг
				S_1				S_2				R	L	L_1	ℓ	B	B_1	h	h_1	A	A_1	
				Исполнение				Исполнение		Исполнение												
				1	2	1	2	1	2	1	2											
D_H	D_B	Исп. 1	Исп. 2	1	2	1	2															
-	600	40 (4,0)	80 (8,0)	6	10	10	14	314	600	620	306	180	300	190	230	450	200	25,2	36,5	8,8		
630	-							322			312							25,0				
								332			315											
								325			312											

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

Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуды работающие под внутренним избыточным давлением

Исходные данные:

$\rho := 7850$ плотность материала, кг/м³

$H := 250$ высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$L := 3400$ длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$D := 600$ внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$p_{rab} := 1.6$ внутреннее избыточное или наружное давление, МПа

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

$E := 1.76 \cdot 10^5$ модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа

$b := 180$ ширина седловой опоры, мм;

$s_2 := 8$ исполнительная толщина подкладного листа, мм;

$b_2 := 330$ ширина подкладного листа, мм;

$\sigma_t := 184$ допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_m := 240$ предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{20} := 184$ допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

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

$e := a + H$ длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;

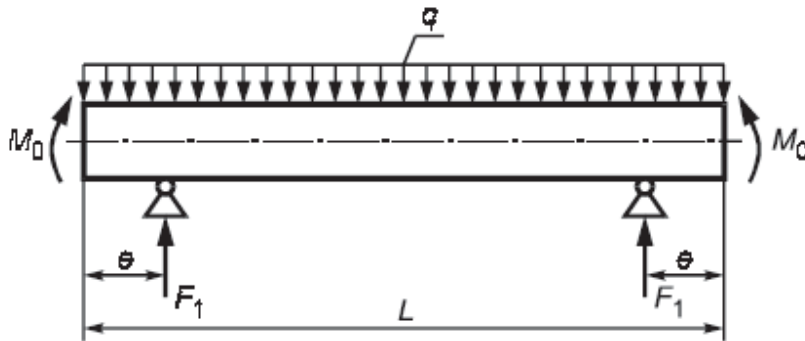
$t_{rab} := 52$ рабочая температура в аппарате, °С;

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

$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$ угол охвата седловой опоры, °;

$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$ угол охвата сосуда подкладным листом, °.

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



условие нагружения:

$z :=$

условие работы аппарата:

$o :=$

Расчётные данные:

Расчётная температура

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

$t = 52$ °C

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по **ГОСТ Р 52857.1-2007** при расчётной температуре $t=100^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 184 \quad \text{МПа}$$

Расчётное давление:

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

$$p = 1.6 \quad \text{МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

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

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

$$s = 4 \quad \text{мм}$$

Допускаемое наружное давление

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

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

$$p_d = 0.048 \quad \text{МПа}$$

Вес аппарата:

$$A_k := 1.24 \cdot D$$

- площадь эллиптической крышки и днища

$$A_1 := \pi \cdot D \cdot L \quad - \text{площадь корпуса}$$

$$\begin{aligned} G &:= \left| \begin{array}{l} A_k \leftarrow 1.24 \cdot D \\ A_1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A_1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{array} \right. \end{aligned}$$

$$G = 1.973 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Проверка применимости формул:

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

$$\text{Prov} = \text{"Формулы применимы"}$$

Нагрузки на корпус аппарата:

$$\begin{aligned} q &:= \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 0.528 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \\ M_0 &:= q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 1.189 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \end{aligned}$$

Опорное усилие:

$$\begin{aligned} F_1 &:= \frac{G}{2} \\ F_1 &= 986.294 \quad \text{Н} \end{aligned}$$

Момент над опорой:

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

$$M_1 = 8.252 \times 10^5$$

Максимальный момент между опорами:

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

$$M_{12} = -7.41 \times 10^5 \quad \text{Н·мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 89.823 \quad \text{Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

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

$$M_d = 1.327 \times 10^8 \quad \text{Н·мм}$$

Дополнительные вычисления:

K₉ - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

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

$$W1 := -0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

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

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

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

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

$$K_9 = 1.327$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{\pi \cdot D}{4 \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \leq \sigma_d \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется. Увеличить толщину стенки"} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

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

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{p_v}{p_d} + \frac{M_{12}}{M_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка2 = "Условие устойчивости выполняется."

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

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 0.51$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 3.861$$

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

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{mx} = 0.973 \quad \text{МПа}$$

вид обечайки:

u :=

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

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

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

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

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

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

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

Коэффициенты для определения $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$

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

$$K_2 = 1.25$$

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

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

K_{12} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

K_{14} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

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

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

$$K_{16} = 0.956$$

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

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

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

$$K_{13} = 0.346$$

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

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

$$K_{15} = 1$$

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

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

$$K_{11} = 0.259$$

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.248$$

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

$$K_{122} = 0.81$$

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

$$K_{113} = 1.473$$

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

$$K_{123} = 1.284$$

$$K_{1,2} := \min(K_{112}, K_{122}) \quad K_{1,2} = 0.81$$

$$K_{1,3} := \min(K_{113}, K_{123}) \quad K_{1,3} = 1.284$$

$$\sigma_{i2} := K_{1,2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 186.227 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{i3} := K_{1,3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 295.23 \quad \text{МПа}$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 6.761 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{13} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 1.788 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \\ \text{"Проверка не выполняется"} & \text{if } z = 2 \end{cases}$$

Проверка3 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

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

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

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 3.795 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

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

$$Q_d = 1.924 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot (w) \cdot \sigma_d \quad F_d = 1.046 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \frac{P_v}{P_d} + \frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} + \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_4 = "Условие устойчивости выполняется."

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целевой рынок – промышленные предприятия, сельское хозяйство и транспорт, причем доля последнего в использовании жидкого топлива возрастает, что связано с увеличением количества судовых двигателей, работающих на дизельном топливе, быстрыми темпами роста автомобильного и воздушного транспорта. Главным потребителем мазута являются электростанции и теплоэнергоцентралли.

SWOT – анализ Установки подготовки нефти «Хвойного месторождения»

	Возможности: 1. Герметизированный сбор и подготовка продукции до требований с ГОСТ 51858-2002; 2. Использование нового высококачественного оборудования; 3. Повышение квалификации персонала.	Угрозы: 1. Объект относится к категории опасных производственных объектов; 2. Появление новых конкурентов; 3. Большое количество конкурентов;
Сильные стороны: 1. Выгодное расположение в Сибирском регионе, близость с административным центром; 2. Обеспечение местных жителей рабочими местами; 3. Применяемое оборудование сертифицировано и имеет разрешение Ростехнадзора.	Результаты полей «Сильные стороны и возможности» : 1. За счет повышения качества продукции по мировым стандартам увеличим рынок сбыта продуктов; 2. За счет увеличения ассортимента продуктов – эффективно продвигать товар на рынке, пользующийся большим	Результаты полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. За счет качества и увеличения ассортимента нефтепродуктов исключить угрозу появления новых конкурентов; 2. Использование качественной продукции.

	спросом, т.к. рядом центр; 3. Возможность для местных жителей трудоустроиться на высокотехнологичное производство.	
Слабые стороны: 1. Нехватка квалифицированных кадров; 3. Старение высококвалифицированных рабочих.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности» : 1. За счет использования новых автоматизированных технологий уменьшить трудозатраты персонала на совершение операций; 2. За счет повышения квалификации персонала исключить возможность появления чрезвычайных и аварийных ситуаций.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. За счет ввода дополнительной очистки нефтепродуктов повысить конкурентоспособность продукции; 2. Привлечение молодых специалистов.

Анализ эффективности действующего производства

Расчет производственной мощности предприятия

Под производственной мощностью химического предприятия понимается максимально возможный годовой выпуск продукции в номенклатуре и ассортименте:

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

$$M = 2030 * 8400 * 1 = 17052000 \text{ кг/год}$$

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

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

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

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 42 - 0 = 323$$

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

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

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

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

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

Таблица 1 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени • выходные • праздники	0(0) 0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365(8760)
Простой оборудования в ремонтах	42 (1008)
Эффективное время работы оборудования	323(7752)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования находим по формуле:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эфф}} / T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 7752/8760 = 0,884$$

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}$$

$$K_{\text{инт}} = 70956,1/80787,51 = 0,878$$

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

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

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} * K_{\text{инт}} = 0,884 * 0,878 = 0,776$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M$$

$$N_{\text{год}} = 0,776 * 17052000 = 13239552 \text{ кг}$$

Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала

Таблица 2 – Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик установки	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и АСУ	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			4	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	3
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	3
Итого:			13	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			12	
Итого:			29	

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (Табл.3)

Таблица 3 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни Выходные Праздники	104 12	832 96
3	Номинальный фонд рабочего времени	249	7832
4	Планируемые невыходы • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение гос. обязанностей	28 14 0 0 0	224 112 0 0 0
5	Эффективный фонд рабочего времени	207	7496

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 4).

Таблица 4 – График сменности

Номер смен	Часы работы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	08:00-20:00	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А
2	20:00-08:00	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б
Отдых		А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б	А Б

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

4. Расчет сменоборота и количества выходных дней в году (табл.3,4)

5. Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{год}} = 53418,57 + 10838,09 = 64256,66 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{год}} = 86194,03 + 17487,91 = 103681,94 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{год}} = 263833,41 + 315348,25 = 317362,57 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{год}} = 134578,58 + 27304,65 = 161883,23 \text{ тыс.руб.}$$

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

$З_{\text{доп}}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс.руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Пр + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{пр.дни}} + Д_{\text{бриг.}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{осн}} = 53418,57 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{осн}} = 103681,4 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 317362,57 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 134578,58 \text{ тыс.руб.}$$

где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс.руб;

$Пр$ – оплата премий (50%), тыс.руб.;

$Д_{\text{н.вр.}}$ – доплата за работу в ночное время (50%), тыс.руб.;

$Д_{\text{пр.дни}}$ – оплата за работу в праздничные дни (20%), тыс.руб.;

$Д_{\text{бриг}}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс.руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$З_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * Т_{\text{ст}} * Т_{\text{эф.раб}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{тар}} = 24281,17 \text{ тыс.руб.,}$$

ИТР:

$$З_{\text{тар}} = 47128,15 \text{ тыс.руб.,}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{тар}} = 144255,71 \text{ тыс.руб.,}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{тар}} = 61172,08 \text{ тыс.руб.}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$Т_{\text{сп}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс.руб.

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

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

Дополнительная зарплата:

$$З_{\text{доп}} = (Д_{\text{н}} * З_{\text{осн}}) / Т_{\text{эфф}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 53418,57) / 333 = 10838,09 \text{ тыс.руб.},$$

ИТР:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 1013681,94) / 333 = 17387,91 \text{ тыс.руб.},$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 317362,57) / 333 = 315348,25 \text{ тыс.руб.},$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 134578,58) / 333 = 57304,65 \text{ тыс.руб.}$$

где $Д_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, учеба)

Районный коэффициент для севера Томской области, с.
Александровское – 1,5.

Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 5 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Нефть сырая	т	3,0	1,5	120000	4,5	1620000

Расчет амортизационных отчислений

Таблица 6 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб
1.Здания			
1.1.АБК	3500	5	175
1.2.Операторная	7000	5	350
Итого:			525
2. Оборудование			
2.1. Подогреватель нефти	180000	10	18000
2.2. Сепаратор первой ступени	10000	10	1000
2.3. Сепаратор второй ступени	9000	10	900
2.4. Газовый сепаратор	900	10	90
2.5. Дренажная емкость	900	10	90
2.6 Насос Н/1	900	10	90
2.7. Насос Н/2	900	10	90
2.8. Теплообменник	350	10	35

2.9 Емкость сбора конденсата	350	10	35
3.0 Трубопровод продувочного газа	3000	10	300
3.1 Резервуар нефти	150	10	15
Итого:	206450		20645
Итого:	211700		21170

Таблица 7 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (80 000 т/год)

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс.руб.	3,0	3182200
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	0,004	728
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	3,004	3182928
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс.руб	0,112	20366,09
• Ремонт оборудования	тыс.руб	0,01138	2069,28
3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб	0,8902	161883,23
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (27.1%)	тыс.руб.	0,26707	43870,35
3.3. Заработная плата ИТР	тыс.руб	0,5701	103681
• Отчисление на соц.нужды ИТР (27,1%)		0,17105	28097,55
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб	0,35336	64256,66
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (27,1 %		0,106	17413,55
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб	1,74528	317362,57
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (27,1%)		0,52358	86005,2
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	4,7502	863775,11
Цеховая себестоимость	тыс.руб	22,25419	4046703,11
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс.руб	0,667642	121404,1

Заводская себестоимость	тыс.руб	23,15104	4168104,21
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс.руб	0,223115716	41681,04
Полная себестоимость	тыс.руб	23,151	4209785,25

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100)$$

$$Ц = 23,151 * (1 + 25/100) = 28,938$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25%)

$$В_{пр} = 28,938 * 181840 = 5262085,9$$

Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{12п} - Изд_{пер}}$$

$$Q_{кр} = 41380 \text{ тонн}$$

Определение точки безубыточности графическим способом:

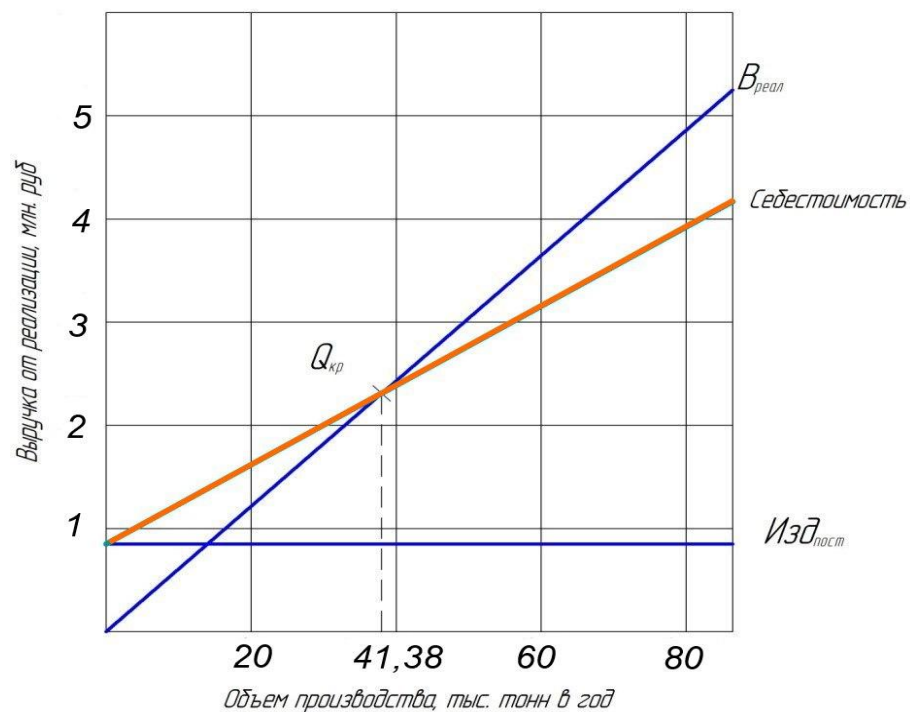


Рисунок 1 – График безубыточности действующего производства

Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства на 10%

Таблица 8 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Нефть товарная	т	3,0	1,0110831	88000	3,69282	3500000

Таблица 9 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (88000 т/год) увеличенного на 10%

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
---------------	---------	---	--------------------------------

1. Сырье	тыс.руб.	3,0	3500000
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	0,004	728
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	3,004	3500728
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс.руб	0,10183	20366,09
• Ремонт оборудования	тыс.руб	0,010346	2069,28
3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб	0,809416	161883,23
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (27,1%)	тыс.руб.	0,242825	43870,35
3.3. Заработная плата ИТР	тыс.руб	0,518405	64256,66
• Отчисление на соц.нужды ИТР (27,1%)		0,155523	19276,99
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб	0,321283	103681
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (27.1%)		0,096385	28097,55
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб	1,586813	317362,57
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (27,1%)		0,476044	86005,2
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	4,3188	863775,11
Цеховая себестоимость	тыс.руб	21,23352	4364503,11
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс.руб	0,607021	130935,1
Заводская себестоимость	тыс.руб	22,14052	4495438,21
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс.руб	0,22405	44954,38
Полная себестоимость	тыс.руб	22,36457	4540392,59

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P / 100)$$

$$Ц = 28,938$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (25%)

$$V_{\text{пр}} = 28,938 \cdot 200000 = 5787600$$

Анализ безубыточности при увеличении производительности на 10%

Определение точки безубыточности

Аналитический способ:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{Изд_{\text{пост}}}{Ц_{1\text{зн}} - Изд_{\text{пер}}}$$

$$Q_{\text{кр}} = 36400 \text{ тонн}$$

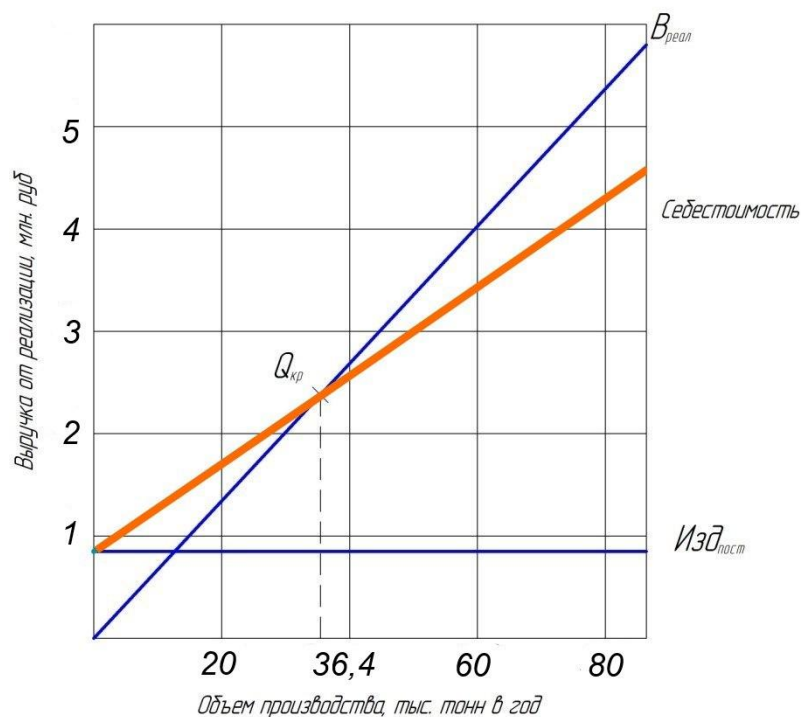


Рисунок 2 – График безубыточности производства при повышении загрузки на 10%

Определение технико-экономических показателей

Таблица 10 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	тыс.т	80000	88000
2. Объем продаж	тыс.т	80000	88000
3. Цена 1 тонны	тыс.руб.	28,938	28,938
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс.руб.	5262085,92	5787600
5. Суммарные издержки	тыс.руб.	4046703,11	4364503,11
5.1. Издержки переменные	тыс.руб.	3182928	3500728
5.2. Издержки постоянные	тыс.руб.	863775,11	863775,11
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс.руб.	1215382,81	1423096,9
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс.руб.	243076,56	284619,38
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс.руб.	972306,25	1138477,5
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	23,151	22,36457
10. Стоимость основных средств	тыс.руб.	211700	211700
11. Численность основных рабочих	чел.	29	29
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс.руб./чел	6415,15	6415,15
13. Фондоотдача (4/10)	руб/руб.	24,85	27,34
14. Фондоемкость (10/4)	руб.руб.	0,0402	0,0365
15. Производительность труда (4/11)	тыс.руб./чел	159457,15	175381,81
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	24,03	26,08
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	18,47	19,69
18. Критический объем продаж (Q _{кр})	тыс.т.	76.87	76,87
19. Критический объем продаж (Q _{кр})	Тыс.руб.	2224464	2224464

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10% и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

- себестоимость 1 тонны продукции на плановый период уменьшится на 0,786 тысяч рублей относительно текущего периода;
- чистая прибыль на плановый период увеличится на 166171,25 тысяч рублей относительно текущего периода;
- фондоотдача увеличится на 2,49 относительно текущего периода;
- рентабельность производства планового периода увеличится на 2,05%;

4. Социальная ответственность

Стороны [1] ставят в числе приоритетных целей Соглашения создание условий, содействующих формированию структурно развитой, обеспечивающей нужды страны и населения, конкурентоспособной экономики на базе рабочих мест, позволяющих использовать материальные и человеческие ресурсы эффективно с точки зрения интересов всех субъектов экономики; обеспечение нового, более высокого уровня жизни граждан Российской Федерации, прежде всего за счет кардинального повышения эффективности государственного управления и социальной ответственности всех субъектов экономики, внедрения принципов достойного труда на основе подходов Международной организации труда.

Социальная ответственность - ответственность организации, компании за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения; — интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях [1].

Введение

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается: описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования), отбор законодательных и нормативных документов по теме, анализ выявленных опасных и вредных факторов

проектируемой производственной среды, охрана окружающей среды, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Актуальность

Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы.

Раздел V. Условия и охрана труда, промышленная и экологическая безопасность

Стороны считают обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала и рассматривают их в неразрывной связи с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Краткая характеристика рабочего места

В данной дипломной работе производился расчет теплообменного аппарата для подогрева нефти. Основные размеры сконструированного теплообменного аппарата: длина – 3.4 м, диаметр – 0.6 м.

Оборудование УПН обеспечивает подготовку нефти до требований ГОСТ Р 51858-2002 и откачку её на пункт налива, с последующим вывозом товарной нефти автоцистернами. Выделенный в процессе подготовки нефти попутный газ используется в качестве топлива для технологических нужд, в котельной и для выработки электроэнергии на газопоршневых электростанциях (ГПЭС), входящих в состав энергоблока. Пластовая вода, выделенная в процессе подготовки, проходит очистку вместе со сточными водами до качества в соответствии с требованиями ОСТ 39-225-88 и откачивается в систему ППД на куст № 2.

Данный аппарат рассчитан на установку в закрытом отапливаемом помещении. Температура в теплообменнике до 250 °С. Теплообменник покрыт теплоизоляцией. Рабочее давление в аппарате 1.6 МПа.

Аналитический контроль технологического процесса

В процессе работы ведется отбор проб пробоотборниками по ГОСТ 2517-2012 и оперативный контроль качества нефти, газа и воды для системы ППД. Анализы выполняются лаборантом химического анализа в лаборатории. По результатам анализа на каждую партию сдаваемой нефти согласно ГОСТ 1510-84 оформляется паспорт качества нефти установленного образца. Показатели, соответствующие ГОСТ Р 51858-2002 вносятся в паспорт качества нефти. Разногласия в оценке качества нефти разрешаются на основе ГОСТ Р 51858-2002 и ГОСТ Р 8.580-2001.

Для обеспечения безопасных условий труда и удобства эксплуатации предусмотрены необходимые средства местного контроля и дистанционного управления, а также система централизованного контроля и управления технологическим процессом на базе микропроцессоров и ЭВМ.

Системы централизованного контроля и управления размещены в помещениях операторных УПН и энергоблока. Система АСУ ТП разработана специализированной организацией.

Безопасная эксплуатация производства

Характеристика опасных факторов производства

Технологические процессы добычи, хранения, подготовки и сдачи нефти на объекте по характеру свойств веществ, обращаемых на производстве, относятся к взрывопожароопасным.

Основные опасности производства обусловлены:

- наличием легковоспламеняющихся жидкостей и взрывопожароопасных паров, токсичностью продуктов и их паров;
- наличием в котельной источника открытого огня и нагретых поверхностей, способных вызвать ожог;

- возможной разгерметизацией трубопроводов или оборудования, что может вызвать отравление парами углеводородов, а также привести к взрыву и пожару;
- наличием электрооборудования, что может вызвать поражение электрическим током и возможность возникновения пожара в случае повреждении изоляции;
- наличием нагретых поверхностей оборудования и трубопроводов, что может вызвать ожоги;
- несоблюдением правил хранения смазочных масел и обтирочных материалов, что может стать причиной пожара;
- возможностью попадания жидких нефтепродуктов на кожные покровы при несоблюдении правил обращения с ними, что может привести к отравлениям и дерматологическим заболеваниям;
- возможностью возникновения заряда статического электричества вследствие трения слоев нефти друг о друга или со стенкой трубы (оборудования).

Взрывопожароопасные и токсичные свойства используемых и получаемых веществ

Технологические процессы добычи и подготовки нефти и воды по характеру свойств веществ, обрабатываемых на производстве, относятся к взрывопожароопасным.

Основным сырьем УПН является нефть, являющаяся легковоспламеняющейся жидкостью с температурой вспышки ($-20,5^{\circ}\text{C}$), самовоспламенения 233°C . Нефть представляет собой смесь углеводородов. Индивидуальные углеводороды, входящие в состав нефтяных паров и попутного нефтяного газа, имеют следующие концентрационные пределы воспламенения, % (по объему):

- | | |
|---------|----------|
| - метан | 5 – 15 |
| - этан | 2.9 – 15 |

- пропан

2.1 – 9.5

Метан – предельный углеводород - бесцветный газ, воспламеняемый, не имеющий запаха, может находиться в сжатом состоянии в аппаратах работающих под давлением. Предполагает немедленное воспламенение и взрывоопасность при контакте с воздухом, способен вызвать головокружение, удушье, тошноту и рвоту, потерю сознания и смерть.

Этан – предельный углеводород – бесцветный газ, не имеющий запаха, по сравнению с метаном более пожаро- и взрывоопасен, малотоксичен, обладает наркотическим действием, может находиться в сжатом состоянии в аппаратах работающих под давлением, предполагает немедленное воспламенение и взрывоопасность при контакте с воздухом, может вызвать обморожение.

Пропан – быстро воспламеняющийся газ, при вдыхании в предельных концентрациях вызывает удушье и влияет на центральную нервную систему; в жидком состоянии при контакте с кожей способен вызвать ожоги.

В парах сырой нефти велико содержание метана, этана; подготовленной нефти – этана, пропана.

Для практического использования приняты: нижний концентрационный предел взрываемости – 2% об. или 40 г/м³, верхний – 10% об. или 200 г/м³.

Пожаровзрывоопасные свойства нефти, нефтепродуктов и других продуктов, используемых на объекте, учтены:

- при классификации по пожарной и взрывопожарной опасности наружных установок, зданий, помещений и сооружений и обеспечение их соответствующим технологическим оборудованием, электрооборудованием и КИП;
- при разработке генплана и прокладке инженерных коммуникаций;

- при выборе строительных конструкций и эвакуационных выходов;
- при выборе систем пожаротушения и предупреждения пожаров.

Правила аварийной остановки производства, возможные аварийные состояния производства, способы их предупреждения и устранения

Неполадки и аварийные состояния производства могут возникнуть при:

- отступлении от норм технологического регламента;
- ошибочных действиях персонала;
- нарушениях инструкций безопасного производства работ;
- несвоевременной ревизии и ремонте трубопроводов;
- неисправности средств автоматизации;
- отключении электроэнергии;
- опасных метеорологических условиях и др.

В таблице 1. изложены возможные причины, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций на сооружениях промысла, причины их возникновения и способы устранения.

Действия персонала по устранению аварийного состояния, связанные с заменой или устранением пропусков, должны выполняться после снятия давления, продувки и иных мероприятий обеспечивающих безопасность работ.

Таблица 1 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения

№ п/п	Вид аварийного состояния производства	Причина возникновения	Действия персонала по устранению аварийного
Теплообменник Т-2			

№ п/п	Вид аварийного состояния производства	Причина возникновения	Действия персонала по устранению аварийного
1	Пропуск газа, жидкости во фланцевом соединении.	Ослабло крепление фланцевого соединения. Повреждена прокладка.	Остановить теплообменник. Сбросить давление. Подтянуть крепежные
2	Низкая температура нефти на выходе.	Высокая нагрузка.	Уменьшить нагрузку на теплообменник.

Если неполадки не приводят к расширению зоны аварийной ситуации, нарушению техники безопасности, то их необходимо устранять вахтовым персоналом. При необходимости временного изменения технологического режима решение принимает начальник смены, доложив об этом начальнику УПН и промысла.

Если возникшие неполадки вызывают повышенную опасность, то принимается решение к остановке техпроцесса до устранения неполадок.

УПН должна быть остановлена в аварийном порядке в следующих случаях:

- при отключении электроэнергии;
- при порывах нефтегазопроводов;
- при разгерметизации аппаратов;
- выход из строя факельной системы;
- при нарушении санитарного режима и появлении опасности для людей и окружающей среды;
- при пожарах, взрывах;
- аварийное состояние резервуарного парка УПН.

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Работники, обслуживающие промысел, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на взрыво- пожароопасном производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке УПН выполнено согласно требованиям

Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009, Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008, с учетом ГОСТ 31385-2008.

Расстановка противопожарных резервуаров $V=700 \text{ м}^3$ (2 шт.), водозаборного колодца на водопроводной сети, блок-бокса пожаринвентаря и мотопомп, первичных средств пожаротушения обеспечивает пожаротушение любого обслуживаемого здания, сооружения, строения УПН и Энергоблока.

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

Противопожарное водоснабжение

Противопожарное водоснабжение УПН включает в себя два РВС $V=700 \text{ м}^3$ с тупиковым водопроводом ($d=219 \times 6 \text{ мм}$, $L=43 \text{ м}$) и водозаборным колодцем.

Запроектированные резервуары противопожарного запаса воды $V=700 \text{ м}^3$ удовлетворяют потребность в запасе воды. Радиус обслуживания резервуарами – 150 м. Для увеличения радиуса обслуживания резервуарами предусмотрен тупиковый трубопровод длиной 43 м и диаметром 219 мм для заполнения водозаборного колодца. Контроль не снижаемого противопожарного уровня запаса воды осуществляется датчиками уровня. При снижении уровня воды в резервуарах до нижнего на артезианских скважинах, расположенных на площадке водозабора, запускаются погружные электронасосные агрегаты ЭЦВ6-6,3-85.

Пенное пожаротушение

Для пожаротушения резервуаров РВС $V=400 \text{ м}^3$ предусматривается установка пеногенераторов ГПСС-600, подключаемых по сухотрубной системе пожарными рукавами к передвижным средствам пожаротушения.

Пожаротушение осуществляется передвижной пожарной техникой. Для этих целей предусмотрены мотопомпы типа «Гейзер-1600» $Q=20 \text{ л/сек}$,

H=190 м. Мотопомпы укомплектованы установками комбинированного тушения пожара УКТП «Пурга-10.10.20» (производительностью 20 л/сек, дальность подачи струи – 35 м).

Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике), вода (объемом 0,2 м³ и/или 0,02 м³);
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты);
- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6 Правил противопожарного режима в Российской Федерации, с учетом данных Приложений А и Б СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации».

Средства защиты работающих

Несмотря на мероприятия, предусмотренные в проекте, нельзя исключить вероятность контакта обслуживающего персонала с вредными веществами в случае нарушения герметичности уплотнений на арматуре, разгерметизации оборудования и трубопроводов, ремонта и чистки аппаратов.

Персонал установки должен быть обеспечен спецодеждой, не накапливающие статического электричества, брезентовые рукавицы, фартук, каска согласно ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты» и ГОСТ Р 12.4.218-99 «Система стандартов безопасности труда. Одежда

специальная. Общие технические требования»; спецобувью согласно ГОСТ 12.4.137-2007 «Обувь специальная кожаная для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия». Запрещается использовать спецодежду, пропитанную нефтепродуктами, маслами.

Персонал установки должен быть обеспечен индивидуальными средствами защиты органов дыхания следующего типа:

- фильтрующий противогаз с коробкой марки БКФ;
- шланговые изолирующие дыхательные аппараты типа ПШ-1 и ПШ-2.

Шланговые противогазы применяются при проведении работ в емкостях, колодцах, а также в условиях загазованности.

Для безопасного проведения работ на высоте применяются спасательные пояса согласно ГОСТ Р 12.4.184-95 ССБТ. «Пояса предохранительные. Общие технические требования. Методы испытаний»

Для работы с электросиловыми установками применяются диэлектрические перчатки по ГОСТ 12.4.183-91, оборудование и инструмент, соответствующие требованиям электробезопасности.

Также персонал обеспечивается касками защитными, подшлемниками под каску и другими средствами защиты. Конкретно виды средств защиты устанавливает начальник промысла по согласованию с инспектором по охране труда. Нормы выдачи на год приведены в ПЛА.

Кроме индивидуальных средств защиты предусматриваются коллективные средства защиты работающих при возможных возгораниях. Небольшие загорания, а также пожары в начальной стадии могут быть успешно ликвидированы обслуживающим персоналом первичными средствами пожаротушения. Наиболее распространенными первичными средствами пожаротушения являются: порошковые и углекислотные

огнетушители, асбестовые полотна, грубошерстные ткани (кошма, войлок), песок.

Список литературы

1. Социальная ответственность организации. Требования: Международный стандарт IC CSR 26000 : 2011
2. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
3. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химической в химических лабораториях. – Л: Химия. – 1985. -98с.
4. Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115-96). – ПИООБТ, 1996. – 156
5. Технологический регламент «Обустройство хвойного нефтяного месторождения. УПН.» 32-11-01-00-ТР. Том 5. 2002-87 с.

Нормативная литература

1. ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия».
2. ОСТ 39-225-88 «Вода для заполнения пластов. Требования к качеству».
3. ГОСТ 2517-2012 «Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб».
4. ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия».
5. ГН 2.2.5.1313-03 «химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
6. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
7. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
8. ОСТ 26-11-14 «Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Газовые и жидкостные методы контроля герметичности».
9. ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».
10. ПБ 09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».
11. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
12. ГОСТ Р 8.580-2001 «Определение и применение показателей прецизионности методов испытаний нефтепродуктов»
13. № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
14. ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов».

15. ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты».
16. ГОСТ Р 12.4.218-99 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Общие технические требования».
17. ГОСТ 12.4.137-2007 «Обувь специальная кожаная для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия»
18. ГОСТ Р 12.4.184-95 ССБТ. «Пояса предохранительные. Общие технические требования. Методы испытаний»
19. ГОСТ 12.4.183-91 «Перчатки резиновые диэлектрические бесшовные».

Заключение

В результате проделанной работы были проведены технологический расчет, целью которого явилось определение поверхности теплообмена, а также подбор штуцеров. Конструктивно-механический расчет, где мы рассчитали на прочность цилиндрическую обечайку и эллиптические днища, был произведен расчет укрепления отверстий, выяснили, что укрепление отверстий не требуется. была проведена проверка фланцевых соединений на прочность и герметичность и подобраны опоры.

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

В разделе социальная ответственность были рассмотрены производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение мы провели расчет с учетом производительности на 10%.

Список литературы

1. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – 2-е изд. –Л.: Машиностроение, 1970. –752 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное по-сobie для вузов под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. 576 с.
3. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Постановление Госгортех-надзора РФ. – М.: 2003 г. – 128 с..
4. ГОСТ Р 52857.2-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 2007.
5. ГОСТ 26296-84 Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. -М.: Издательство стандартов,1984 - 15 с.
6. Михалева М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств примеры и задачи. - Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.
7. ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. -М.: Издательство стандартов, 1990 - 17 с.
8. АТК24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных.
9. ГОСТ 52857.3-2007 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях.-М.: Издательство стандартов, 2007 - 24с
10. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологий: Учебник для техникумов. - Л. : Химия, 1991.
11. ГОСТ 365-80 Давление условное, пробное и рабочее. - М.: Издательство стандартов, 1989 - 14 с.
12. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические, отбортованные для сосудов, аппаратов и котлов. - М.: Издательство стандартов, 1978 - 17 с.
13. ГОСТ 7.0.5—2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. М. :Стандартинформ. 2008.

14. Беляев В.М., Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическим перемешивающими устройствами. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 95 с.
15. Беляев В.М., Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли. Часть II. Толстостенные сосуды и вращающиеся детали. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 163 с.
16. ГОСТ Р 52857.5-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. - М.: Издательство стандартов, 2007 - 26 с.
17. ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.: Издательство стандартов, 2007 - 26 с.
18. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. по-сobie /Том. политехн. ун-т. Томск, 2003. 118 с.
19. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Размещение отверстий под трубы в трубных решетках и перегородках. Основные размеры. М.: Издательство стандартов, 2007 - 13 с.
20. ГОСТ 28759.4-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык под прокладку восьмиугольного сечения. Конструкция и размеры. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. 318с.
21. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химической в химических лабораториях. Л: Химия. 1985. -98с.
22. Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115-96). ПИООБТ, 1996. 156
23. Технологический регламент «Обустройство хвойного нефтяного месторождения. УПН.» 32-11-01-00-ТР. Том 5. 2002-87 с.
24. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г. - 185 с.

25. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г. - 107 с
26. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

