

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

Институт *физики высоких технологий*
Направление подготовки *18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии*
Кафедра *общей химии и химической технологии*

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка основного оборудования для промышленной подготовки нефти на Пионерном месторождении

УДК 622.276.8(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ51	Чернышов Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ОХХТ	Семакина О.К.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Раденков Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
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 информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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) 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ _____ Ан В.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ51	Чернышову Александру Александровичу

Тема работы:

Разработка основного оборудования для промышленной подготовки нефти на Пионерном месторождении	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	08.12.16 №10497/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Цех подготовки и перекачки нефти №4, п. Пионерный. Установка подготовки нефти. Проектная мощность 3 млн. тонн/год нефти. Режим работы – непрерывный. Вид сырья – сырая нефть. Технологические параметры работы ТФС: - температура рабочей среды в аппарате от +5 до +25°C; - рабочее давление в аппарате 1,3 МПа. В данном аппарате происходит разделение на три фазы: газ, нефть и вода. Технологические параметры работы электродегидратора: - температура рабочей среды в аппарате до 50°C; - рабочее давление в аппарате 0,8 МПа; В аппарате происходит глубокое обезвоживание и обессоливание нефти за счет подачи электрического тока на электроды, расположенные внутри аппарата.</p>
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат Введение 1. Описание технологической схемы 2. Расчет трехфазного сепаратора 2.1. Технологический расчет трехфазного сепаратора 2.2. Технологический расчет диаметра патрубков 2.3. Механический расчет трехфазного сепаратора 3. Расчет электродегидратора 3.1. Технологический расчет электродегидратора 3.2. Механический расчет электродегидратора. 4. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе 5. Расчет средства защиты трехфазного сепаратора от превышения давления в среде Wolfram Mathematica. 6. Социальная ответственность. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Заключение Список литературы Приложение</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема. (A1) Лист 2. Трехфазный сепаратор. Чертеж общего вида. (A1x2) Лист 3-4. Трехфазный сепаратор. Выносные элементы. (A1) Лист 5. Электродегидратор. Чертеж общего вида. (A2x3) Лист 6-7. Электродегидратор. Выносные элементы. (A1) Лист 8. Техничко-экономические показатели. (A1) Лист 9. Результаты моделирования ТФС. (A1)</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.т.н., доцент Криницына З.В.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры ЭБЖ Раденков Т.А.
Иностранный язык	Доктор пед.наук, доцент Игна Ольга Николаевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

4. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе
--

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н., с.н.с.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM51	Чернышов Александр Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ51	Чернышов Александр Александрович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

Оборудование для обессоливания и обезвоживания нефти. Установка подготовки нефти.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 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);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Нефть относится к III классу опасности, ПДК аэрозоля нефти в воздухе рабочей зоны не более 10 мг/м³. Она содержит легкоиспаряющиеся вещества, опасные для человека – возбудимость ЦНС, снижение кровяного давления.

Загазованность рабочей зоны по ГН 2.2.5.1313. – 03;

Недостаточность освещения по ГОСТ Р 55710 - 2013;

Измерение шума на рабочем месте по ГОСТ 12.1.003 – 83;

Опасность поражения электрическим током по

ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ;

Опасность термических ожогов по РД 153-34.0-03.702-99.

Опасность взрыва и пожара по

ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ;

Правила работы на высоте устанавливаются ПОТ РМ 012-20004;

При работе с нефтью необходимо иметь противогазы марки БКФ, защитные перчатки, мази, очки. Также при работе в закрытых помещениях должны быть установлены приточно-вытяжные вентиляции.

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу

Защита селитебной зоны:

Объект по переработке нефти относится к I классу опасности. Санитарно-защитная зона – 1000 м.

Величина ПДК. Средне суточное, мг/м³:

- Хлор – 0,03;

<p>(отходы);</p> <p>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Оксид углерода – 3; • Диоксид серы – 0,1; • Диоксид азота – 0,04; • Свинец – 0,0003 <p>Для защиты гидросферы предусмотрено:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Обвалование площадок; • Дренажные емкости для сбора разливов нефтепродуктов; • Сточные воды проходят механическую очистку. <p>Защита литосферы осуществляется утилизацией отходов производства, установленным регламентом производства.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <p>– выбор наиболее типичной ЧС;</p> <p>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p> <p>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Взрыв, пожар, разрыв трубопровода;</p> <p>Протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах;</p> <p>Сбои в работе системы электроснабжения.</p> <p>При возникновении ЧС в первую очередь необходимо сообщить в пожарную охрану и скорую помощь.</p> <p>Прекращение подачи сырья;</p> <p>Отсечь аварийный участок;</p> <p>Переключение на резервную линию;</p> <p>Отцепить территорию лентой и выставить необходимые знаки.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Повышена оплата труда – не менее 4% тарифной ставки;</p> <p>Продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю;</p> <p>К работе не допускаются женщины и лица, не достигшие восемнадцатилетнего возраста.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ51	Чернышов Александр Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM51	Чернышов Александр Александрович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в технологическом регламенте, аналитических материалах, нормативно-правовых документах; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности установки подготовки нефти (УПН) на Пионерном месторождении.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>	
2. <i>Расчет технико-экономических показателей</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Креницына З.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM51	Чернышов Александр Александрович		

Реферат

Магистерская диссертация состоит из пояснительной записки. Пояснительная записка содержит 175 страницы, 40 таблиц, 30 рисунков и 37 источников.

Целью работы является разработка основного оборудования установки подготовки нефти, а так же моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе.

В разделах «Расчет трехфазного сепаратора» и «Расчет электродегидратора» приведены технологические расчеты для определения основных размеров аппаратов. Так же произведены расчеты на прочность, расчет укрепления отверстий, расчет фланцевых соединений, расчет массы аппарата и расчет опор.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены опасные и вредные факторы на данном производстве, а так же вопросы по безопасному ведению технологического процесса.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была рассчитана экономическая эффективность данной установки.

Выпускная магистерская диссертация была выполнена в редакторе «Microsoft Word», расчеты проведены в среде «Wolfram Mathematica».

Abstract

The master thesis consists of the explanatory note. The explanatory note contains 175 pages, 40 tables, 30 pages and 37 sources.

The purpose of work is development of the capital equipment of installation of preparation of oil, and also model operation of a separation process of a water oil emulsion in a three-phase separator.

Technological calculations for definition of principal dimensions of devices are given in the sections "Calculation of a Three-phase Separator" and "Calculation of an Electrodehydrator". Calculations on durability, calculation of strengthening of openings, calculation of flange joints, calculation of mass of the device and calculation of support are also made.

In the section "Social Responsibility" dangerous and harmful factors on this production, and also questions on safe conducting technological process are considered.

In the section "Financial Management, Resource-saving" was calculated economic efficiency of this installation.

The final master thesis was executed in the Microsoft Word editor, calculations are carried out in the environment of "Wolfram Mathematica".

Оглавление

Введение	16
1. Описание технологического процесса и технологической схемы установки подготовки нефти	17
1.1. Площадка трехфазных сепараторов	17
1.2. Площадка подогревателей нефти	18
1.3. Площадка электродегидраторов	19
2. Расчет трехфазного сепаратора	21
2.1. Технологический расчет трехфазного сепаратора.....	21
2.2. Расчет диаметра патрубков	25
2.3. Механический расчет трехфазного сепаратора	28
2.3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.....	29
2.3.1.1. Расчет обечайки на прочность	30
2.3.2. Расчет эллиптической крышки	32
2.3.2.1. Расчет стенки крышки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении.....	32
2.3.3. Расчет штуцеров	34
2.3.3.1. Расчет укрепления отверстия при внутреннем и внешнем давлении.....	35
2.3.3.2. Расчет толщины стенок штуцеров.....	38
2.3.3.3. Расчетные длины штуцеров	40
2.3.3.4. Расчет ширины зоны укрепления отверстий.....	42
2.3.3.5. Расчет допускаемого избыточного давления штуцеров	45
2.3.4. Расчет фланцевого соединения.....	47

2.3.4.1. Расчет податливости прокладки	52
2.3.4.2. Расчет податливости шпилек	53
2.3.4.3. Расчет параметров фланцев	53
2.3.4.5. Угловая податливость фланцев	56
2.3.4.6. Проверка прочности шпилек и прокладки	59
2.3.4.7. Расчет фланцев на статическую прочность.....	60
2.3.5. Расчет массы аппарата	60
2.3.5.1. Расчет седлообразной опоры	62
2.3.5.2. Определение расчетных усилий	62
3. Расчет электродегидратора	65
3.1. Технологический расчет электродегидратора	65
3.2. Механический расчет электродегидратора	68
3.2.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.....	69
3.2.1.1. Расчет обечайки на прочность	70
3.2.2. Расчет эллиптической крышки	72
3.2.2.1. Расчет стенки крышки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении.....	72
3.3.3. Расчет штуцеров	74
3.3.3.1. Расчет укрепления отверстия при внутреннем и внешнем давлениях.....	76
3.3.3.2. Расчет толщины стенок штуцеров.....	78
3.3.3.3. Расчетные длины штуцеров	80
3.3.3.5. Расчет допускаемого избыточного давления штуцеров	88
3.3.4. Расчет фланцевого соединения.....	90

3.3.4.1. Расчет податливости прокладки	95
3.3.4.2. Расчет податливости шпилек	96
3.3.4.3. Расчет параметров фланцев	96
3.3.4.5. Угловая податливость фланцев	99
3.3.4.6. Проверка прочности шпилек и прокладки	103
3.3.4.7. Расчет фланцев на статическую прочность.....	103
3.3.5. Расчет массы аппарата	104
3.3.5.1. Расчет седлообразной опоры	105
3.3.5.2. Определение расчетных усилий	106
4. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе	109
4.1. Построение математической модели.....	110
5. Расчет средства защиты трехфазного сепаратора от превышения давления в среде Wolfram Mathematica.....	115
5.1. Характеристика современного состояние проблемы	116
5.2. Защита от превышения давления	117
5.3. Разработка методики расчета для предохранительного клапана в среде Wolfram Mathematica	118
6. Социальная ответственность	128
6.1. Характеристика объекта исследования	128
6.2. Производственная безопасность.....	129
6.2.1. Загазованность рабочей зоны	130
6.2.2. Воздействие на организм человека.....	130
6.2.3. Предлагаемые средства защиты	131
6.2.5. Повышенный уровень шума на производстве	132

6.2.6. Электробезопасность.....	132
6.2.7. Пожарная безопасность.....	133
6.2.8. Пожарно-профилактические мероприятия	134
6.2.9. Термическая опасность. Повышенная температуры поверхностей	135
6.3. Экологическая безопасность.....	135
6.3.1. Защита жилой зоны	135
6.3.2. Воздействие объекта на атмосферу	136
6.3.3. Воздействие объекта на гидросферу	137
6.3.4. Воздействие объекта на литосферу	138
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	139
6.4.1. Первичные средства пожаротушения.....	140
6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	141
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	142
7.1. Расчёт производственной мощности.....	142
7.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству	144
7.2.1 Расчет численности персонала	144
7.2.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала.....	145
7.2.3 Расчет затрат на производство продукции.....	148
7.3 Определение цены готовой продукции	151
Анализ безубыточности по действующему производству.....	151
7.5. Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства до 2 014 888 т/год.....	153
7.5.1. Определение цены готовой продукции	156

Анализ безубыточности по действующему производству.....	156
7.5.2. Определение технико-экономических показателей	157
Заключение	159
Список литературы	161
Приложение А	164
Приложение Б.....	172
Приложение В.....	174

Введение

Нефть, на сегодняшний день является основным энергоносителем в России, так как играет важную роль в экономике страны. Но сразу использовать нефть, добытую из скважин экономически не целесообразно, потому что в сырой нефти содержатся большое количество механических примесей (песок, глина, часть бурового раствора и т.п.), а так же большое содержание солей в пластовой воде. При использовании не подготовленной нефти, может вызвать ряд проблем в технологии и дальнейшей переработке.

В целях уменьшение механических примесей в добываемой сырой нефти и увеличение качества товарной нефти необходима предварительная подготовка.

Основным объектом являлся цех по подготовке и перекачки нефти №4 (ЦППН-4) в п. Пионерное, где расположена установка подготовки нефти (УПН).

В данной магистерской диссертации объектом исследования является установка подготовки нефти на Пионерном месторождении.

Актуальность данной темы выражается в качественной подготовки нефти для последующей ее переработки.

Задачей в данной работе было исследовать влияние технологических параметров на процесс отстаивания, а так же определение длины отстойной зоны аппарата. Расчет и проектирование основного оборудования установки подготовки нефти.

1. Описание технологического процесса и технологической схемы установки подготовки нефти

Сырая нефть с давлением 0,3-0,8МПа, поступает на оперативные узлы учета нефти с направлений: Первомайского, Западно – Катильгинского, Оленьего, Ломового, Южно-Черемшанского и Крапивинского месторождений. Газожидкостная смесь от Катильгинского и Онтонигайского месторождений поступает напрямую на вход установки подготовки нефти.

1.1. Площадка трехфазных сепараторов

Газожидкостная смесь с давлением 0,2-0,8МПа из коллектора после узлов учета нефти поступает в трехфазные сепараторы ТФС-1, ТФС-2.

С целью увеличения интенсивности обезвоживания, перед входом в сепараторы предварительного сброса воды ТФС-1,ТФС-2 в трубопровод предусмотрена подача деэмульгатора от БРХ с давлением 0,3-0,8МПа.

Добавление деэмульгатора в сырую нефть дает возможность разрушить слои природных стабилизаторов нефтяной эмульсии, входящих в состав защитных оболочек глобул воды и способствует их переводу с границы раздела фаз в объем.

Трехфазный сепаратор представляет собой горизонтальный отстойный аппарат объемом 200м³. Внутри аппарата на уровне 225см расположена перегородка, которая делит аппарат на два отсека (технологический и буферный). Нефтеводогазовая смесь поступает в сепараторы через устройство ввода, где плавно подается на верхний уровень жидкой фазы с малым образованием пены и равномерно распределяется по сечению сепаратора перегородкой из просечно-вытяжного листа. Далее нефть проходит пакеты Л-образных пластин, освобождаясь от газа и поступает в секцию сбора нефти.

Уровень нефти в сепараторах ТФС-1,2 поддерживается регуляторами поз. LISA в пределах 1200-1800мм, управляющими клапанами LCV

установленными на линии сброса попутного нефтяного газа, с сигнализацией минимального и максимального уровня.

Попутный нефтяной газ из аппаратов ТФС1,2 подается на установку осушки газа, утилизируется на факеле высокого или низкого давления.

Подтоварная вода по межфазному уровню под собственным давлением подается из сепараторов ТФС-1 через клапан LCV и ТФС-2 через узел замера поз. FQIR на очистные сооружения.

Для обеспечения контроля качества выхода нефти на трубопроводе нефти после ТФС-1,2 расположен ручной пробоотборник.

1.2. Площадка подогревателей нефти

Нефть с давлением 0,2-0,8МПа прошедшая предварительное обезвоживание в сепараторах ТФС-1, ТФС-2 поступает в подогреватели нефти, представляющие собой печи трубчатые блочные (ПТБ-10).

Нефть в печах подогревается до температуры 40-50⁰С за счет сжигания попутного нефтяного газа.

Трубчатая печь состоит из трех основных блоков

- теплообменной камеры;
- блок основания печи;
- блок вентиляторного агрегата.

В теплообменной камере осуществляется процесс теплообмена между продуктами сгорания топливного газа, омывающими наружные поверхности труб секций змеевика, и нагреваемым продуктом, перемещающимся внутри труб змеевика. Применение для змеевика оребренных труб обеспечивает высокую теплоотдачу поверхности нагрева. При своем движении по змеевикам нефть нагревается за счет тепла, отдаваемого продуктами сгорания топливного газа, сжигаемого в четырех горелках. Сжигание осуществляется с принудительной подачей воздуха радиальным вентилятором с электрическим приводом. в пределах 12:1-17:1. Имеется возможность поддержания оптимального соотношения воздух-газ с

помощью заслонок, находящихся на коллекторе и линиях подачи воздуха к форсункам и частотного регулирования электрического привода вентилятора.

Система автоматизации обеспечивают контроль за:

- давлением нефти на входе печей по приборам поз. PI;
- температурой нефти на входе печи по приборам поз. TI ;
- расходом топливного газа на печь по приборам поз. FI;
- температурой нефти на выходе по приборам поз. TS;

1.3. Площадка электродегидраторов

Горячая нефть после печей поступает в сепараторы концевой ступени сепарации КСУ-1, КСУ-2, где происходит ее полное разгазирование при давлении 2,0-5,0КПа. Выделившийся попутный нефтяной газ утилизируется на факеле низкого давления.

Нефть из сепараторов КСУ-1, КСУ-2 за счет разности высотных отметок в электродегидраторы ЭГ-1, ЭГ-2, где происходит дальнейшее обезвоживание нефти.

Электродегидратор представляет собой горизонтальный отстойный аппарат, в котором на подвесных изоляторах закреплены электроды решетчатой конструкции, подсоединенные к высоковольтной обмотке трансформатора. Питание трансформатора осуществляется от сети с напряжением $V=380$ В.

Нефть подается в электродегидратор через маточник, обеспечивающий равномерное поступление ее по всему сечению аппарата. Для более эффективной работы электродегидратора, необходимо поддерживать уровень воды на высоте 200-300 мм выше маточника. В этом случае эмульсия нефти проходит слой отстоявшейся воды, где происходит водная промывка эмульсии и отделение пластовой воды. Затем эмульсия подвергается обработке в зоне слабой напряженности электрического поля (уровень воды – нижние электроды) и в зоне сильной напряженности междуэлектродного пространства.

В процессе обессоливания очень важно контролировать следующие параметры работы электродегидраторов:

- давление, чтобы не допустить вскипания нефти и образования газовой подушки,
- уровень воды, чтобы поддерживать между водой и нижним электродом аппарата фиксированное расстояние – низкий уровень воды уменьшает напряженность электрического поля вокруг нижнего электрода и ухудшает качественные показатели процесса обессоливания, а при повышении уровня возможно замыкание нижнего электрода на корпус электродегидратора.

Контроль давления в аппаратах ЭГ-1, 2 осуществляется по приборам поз. РІА сигнализацией максимального и минимального давления.

Уровень воды в ЭГ-1,2 поддерживается регуляторами поз.ЛІСА управляющими клапанами на линии отвода пластовой воды на очистные сооружения, с сигнализацией минимального и максимального значений.

Нормальная работа электродегидратора возможна только при полном заполнении его нефтью и отсутствия газовой «подушки». С этой целью регулирование уровня производится в КСУ-1,2 расположенным на отметке выше ЭГ-1,2 и обеспечивающим полное их заполнение нефтью, а также отвод газовой фазы из ЭГ-1, 2 в КСУ-1,2.

Подтоварная вода из ЭГ-1,2 поступает на очистные сооружения

После электродегидраторов ЭГ-1,2 нефть поступает в технологические резервуары РВС.

2. Расчет трехфазного сепаратора

2.1. Технологический расчет трехфазного сепаратора

Технологический расчет трехфазного сепаратора состоит в определении его длины и диаметра.

Определение диаметра трехфазного сепаратора.

Диаметр сепаратора рассчитаем по формуле [1]:

$$D = 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{Q_c \cdot \rho_{ж} \cdot (1-B)^{2,5}}{\mu_n}, \quad (2.1.1)$$

где

Q_c – нагрузка сепаратора по эмульсии, т/сутки;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы, кг/м³;

μ_n – вязкость нефти, Па · с;

B – обводненность нефти, %;

$$D = 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{4719 \cdot 996,5 \cdot (1 - 0,06)^{2,5}}{86400 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3}} = 6,6 \text{ м,}$$

Т.к. сепараторы диаметром более 3,4 м в промышленности не выпускаются, следовательно, выбираем трехфазный сепаратор диаметром 3,4 м. Таким образом, при нагрузке 4719 т/сут, необходимо установить два трехфазных сепаратора с диаметром 3,4 м [1].

Выбираем сепаратор с диаметром 3,4 м.

Определение скорости осаждения капель при свободном осаждении.

Для определения скорости свободного осаждения капель, необходимо рассчитать критерий Архимеда по формуле [1]:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_n \cdot (\rho_{ж} - \rho_n)}{\mu_n^2}, \quad (2.1.2)$$

где

d – диаметр капли воды, м;

ρ_n – плотность нефти, кг/м³;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы, кг/м³;

μ_n – вязкость нефти, Па · с;

Используя граничные значения критерия Рейнольдса, легко рассчитать граничные значения критерия Архимеда:

- В области ламинарного режима осаждения капель:

$$18 \cdot 10^{-6} < Ar \leq 36;$$

Рассчитываем скорость свободного осаждения капель воды по формуле:

$$\omega_{oc} = \frac{Ar \cdot \mu_n}{18 \cdot \rho_n \cdot d'} \quad (2.1.3)$$

где

Ar – критерий Архимеда;

μ_n – вязкость нефти, Па · с;

ρ_n – плотность нефти, кг/м³;

d – диаметр капли воды, м;

Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 2.1.1 – Результат расчета критерия Архимеда и скорости свободного осаждения капель

Размеры капель (d)		Ar	Скорость осаждения (w_{oc})	
м	мм		м/с	см/ч
0,000003	0,003	1,8818E-06	1,72422E-07	0,062072074
0,000004	0,004	4,46057E-06	3,06529E-07	0,110350354
0,000005	0,005	8,71205E-06	4,78951E-07	0,172422429
0,00001	0,01	6,96964E-05	1,9158E-06	0,689689714
0,00002	0,02	0,000557571	7,66322E-06	2,758758857
0,00003	0,03	0,001881804	1,72422E-05	6,207207429
0,00004	0,04	0,004460572	3,06529E-05	11,03503543
0,00005	0,05	0,008712054	4,78951E-05	17,24224286
0,00006	0,06	0,015054429	6,8969E-05	24,82882971
0,00008	0,08	0,035684572	0,000122612	44,14014171
0,0001	0,1	0,06969643	0,00019158	68,96897143
0,0002	0,2	0,557571439	0,000766322	275,8758857
0,0003	0,3	1,881803606	0,001724224	620,7207429
0,0004	0,4	4,460571511	0,003065288	1103,503543

Определение скорости осаждения капли при стесненном осаждении.

Скорость стесненного осаждения капли при обводненности нефти 6% рассчитывают по формуле:

$$\omega_{\text{ст.ос.}} = \omega_{\text{ос.}} \cdot (1 - B)^{4,7}, \quad (2.1.4)$$

где

$\omega_{\text{ос.}}$ – скорость свободного осаждения капель воды, см/ч;

B – обводненность нефти, %;

Полученные результаты представлены в табл.2.1.2.

Таблица 2.1.2 – Результаты расчета скорости при стесненном осаждении капли

Размеры капель (d)		Скорость осаждения ($\omega_{\text{ст.ос.}}$)	
м	мм	м/с	см/ч
0,000003	0,003	1,28912E-07	0,046408461
0,000004	0,004	2,29178E-07	0,082503931
0,000005	0,005	3,5809E-07	0,128912393
0,00001	0,01	1,43236E-06	0,515649571
0,00002	0,02	5,72944E-06	2,062598286
0,00003	0,03	1,28912E-05	4,640846142
0,00004	0,04	2,29178E-05	8,250393142
0,00005	0,05	3,5809E-05	12,89123928
0,00006	0,06	5,1565E-05	18,56338457
0,00008	0,08	9,1671E-05	33,00157257
0,0001	0,1	0,000143236	51,56495714
0,0002	0,2	0,000572944	206,2598286
0,0003	0,3	464,0846142	0,001289124
0,0004	0,4	825,0393142	0,002291776

Определение длины отстойной зоны

Для определения длины отстойной зоны аппарата, необходимо знать время осаждения капли, а так же горизонтальную скорость ($\omega_{\text{гор.}}$).

Аппарат заполнен водонефтяной эмульсией до уровня 1,7м.

Время осаждения капли рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{H}{\omega_{\text{ос.}}}, \text{ с}, \quad (2.1.5)$$

где

H – уровень водонефтяной эмульсии, м;

$\omega_{\text{ос.}}$ – скорость свободного осаждения капель воды, м/с;

Результаты расчета представлены в табл.2.1.3.

Таблица 2.1.3 – Результаты расчета времени при стесненном осаждении капель

Размеры капель (d),мм	Скорость осаждения (w_{oc}),мм	Время осаждения (τ), с
0,003	1,72422E-07	13187250,37
0,004	3,06529E-07	7417828,332
0,005	4,78951E-07	4747410,133
0,01	1,9158E-06	1186852,533
0,02	7,66322E-06	296713,1333
0,03	1,72422E-05	131872,5037
0,04	3,06529E-05	74178,28332
0,05	4,78951E-05	47474,10133
0,06	6,8969E-05	32968,12592
0,08	0,000122612	18544,57083
0,1	0,00019158	11868,52533
0,2	0,000766322	2967,131333
0,3	0,001724224	1318,725037
0,4	0,003065288	741,7828332

Рассчитываем горизонтальную скорость по формуле [1]:

$$\omega_{гор} = \frac{V \cdot 8}{\pi \cdot D^2} \frac{м}{с}, \quad (2.1.6)$$

где

V – объемный расход эмульсии, м³/с;

D – диаметр аппарата, м;

Нагрузка аппарата по эмульсии составляет 4719 т/сут, переводим в м³/с – 0,0643, т.к. у нас два параллельно работающих аппарата, поток делится на двое.

$$\omega_{гор} = \frac{0,0322 \cdot 8}{3,14 \cdot 3,4^2} = 0,007 \text{ м/с};$$

Определяем длину отстойной зоны аппарата исходя из отношений:

$$L = \tau \cdot \omega_{гор}, \quad (2.1.7)$$

где

τ – время осаждения капли, с;

$\omega_{гор}$ – горизонтальная скорость движения капли, м/с ;

Результаты расчета представлены в табл. 2.1.4.

Таблица 2.1.4 – Результаты расчета длины аппарата в зависимости от времени осаждения и горизонтальной скорости

Размеры капель (d),мм	Скорость осаждения (w _{ос}),мм	Время осаждения (τ), с	Длина аппарата (L), м
0,003	1,72422E-07	13187250,37	93503,29737
0,004	3,06529E-07	7417828,332	52595,60477
0,005	4,78951E-07	4747410,133	33661,18705
0,01	1,9158E-06	1186852,533	8415,296763
0,02	7,66322E-06	296713,1333	2103,824191
0,03	1,72422E-05	131872,5037	935,0329737
0,04	3,06529E-05	74178,28332	525,9560477
0,05	4,78951E-05	47474,10133	336,6118705
0,06	6,8969E-05	32968,12592	233,7582434
0,08	0,000122612	18544,57083	131,4890119
0,1	0,00019158	11868,52533	84,15296763
0,2	0,000766322	2967,131333	21,03824191
0,3	0,001724224	1318,725037	9,350329737
0,4	0,003065288	741,7828332	5,259560477

2.2. Расчет диаметра патрубков

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega \cdot 3600}}; \quad (2.2.1)$$

Где,

w – скорость (для жидкости принимаем 1,5 м/с, для пара – 20 м/с);

G – массовый расход соответствующего потока теплоносителя, кг/ч;

ρ – плотность при соответствующих условиях, кг/м³.

Расчитанные диаметры округляем до ближайшего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров [2, с. 547].

Расчет диаметра входного штуцера для нефтегазовой смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 196625}{3,14 \cdot 848,86 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,404 \text{ м};$$

Принимаем штуцер с учетом с условным проходом $d_1=500$ мм.

Таблица 2.2.1 – Основные размеры фланца с $D_y=500$ мм

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M20	16	$h, мм$	Масса, кг
500	530	640	600	570				

Расчет выходного штуцера для нефти:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 139722,3}{3,14 \cdot 848,86 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,341 \text{ м};$$

Принимаем штуцер с учетом с условным проходом $d_2=400$ мм.

ρ – плотность нефти при соответствующих условиях равна $848,86 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 2.2.2 – Основные размеры фланца с $D_y=400$ мм

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M20	16	$h, мм$	Масса, кг
400	426	495	465	570				

Расчет выходного штуцера для выделившегося газа:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 19317,5}{3,14 \cdot 5,46 \cdot 5 \cdot 3600}} = 0,5 \text{ м};$$

ρ – плотность газа при соответствующих условиях равно $5,46 \text{ кг/м}^3$.

Принимаем штуцер с учетом с условным проходом $d_3=500$ мм.

Таблица 2.2.3– Основные размеры фланца с $D_y=500$ мм

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M20	16	$h, мм$	Масса, кг
500	530	640	600	570				

Расчет штуцера для дренирования воды:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 19930}{3,14 \cdot 996,5 \cdot 0,5 \cdot 3600}} = 0,119 \text{ м};$$

ρ – плотность воды при соответствующих условиях равна $996,5 \text{ кг/м}^3$.

Принимаем штуцер с учетом с условным проходом $d_4=150$ мм.

Таблица 2.2.4– Основные размеры фланца с $D_y=150$ мм

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм					M216	8	h , мм	Масса, кг
150	159	260	225	202				

2.3. Механический расчет трехфазного сепаратора

Исходные данные:

$$D_{\text{вн}} = 3400 \text{ мм};$$

Рабочее давление аппарата, МПа:

$$P_{\text{раб}} = 1.3 \text{ МПа};$$

Степень заполнения аппарата:

$$v = 0.5;$$

Максимальная температура рабочей среды, °С:

$$T_{\text{max}} = 15 \text{ °С};$$

Срок эксплуатации аппарата, лет:

$$T = 20 \text{ лет};$$

Скорость коррозии сталей 09Г2С, мм/год:

$$П = 0.1;$$

Плотность рабочей среды;

$$\rho_{\text{н}} = 848.9 \text{ кг/м}^3;$$

Плотность воды при гидравлическом испытании, кг/м³;

$$\rho_{\text{в}} = 996.5 \text{ кг/м}^3;$$

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\phi = 1;$$

Допускаемое напряжение при 20 С, МПа:

$$\sigma_{20} = 196 \text{ МПа};$$

Допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа:

$$\sigma_t = 196 \text{ МПа};$$

Минимальное значение предела текучести при рабочей температуре 20С:

$$R_{20} = 300 ;$$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести:

$$n = 1.1;$$

Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения:

$$\eta = 0.9;$$

Ускорение свободного падения, м/с²:

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2$$

Длина обечайки аппарата, мм:

$$L = 21000 \text{ мм};$$

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

Для обечайки выбираем сталь 09Г2С, так как оборудование изготовленное из данной стали расположено на открытых площадках. В зимнее время температура достигает порядка до -50 °С. Данная сталь имеет огромный плюс - прокат выдерживает влияние температурных режимов от -70 до +425 °С [3].

Расчет допускаемого напряжения, МПа [4, стр.5]:

- Для рабочего состояния:

$$\sigma_{20} = \sigma_{20}\eta = 176.4 \text{ МПа};$$

- При гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{исп} = \frac{R_{20}}{n} = 272.727 \text{ МПа};$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа:

$$P_{\text{рабрасч}} = P_{\text{раб}} + \frac{\rho_{\text{н}} v g D_{\text{вн}}}{10^8}; \quad (2.3.1)$$

где

$P_{\text{раб}}$ - рабочее расчетное давление в аппарате;

$\rho_{\text{н}}$ - плотность нефти;

v - степень заполнения аппарата;

g - ускорение свободного падения;

$D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр аппарата;

$$P_{\text{рабрасч}} = P_{\text{раб}} + \frac{\rho_{\text{н}} v g D_{\text{вн}}}{10^8} = 1.44 \text{ МПа};$$

Давление при испытании на прочность рассчитывается по формуле, МПа [4, стр.4]:

$$P_{\text{исп}} = 1.25 P_{\text{раб}} \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}; \quad (2.3.2)$$

где

$P_{\text{раб}}$ - рабочее расчетное давление в аппарате, МПа;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20 °С, МПа;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа.

$$P_{\text{исп}} = 1.25 \cdot P_{\text{раб расч}} \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 1.8 \text{ МПа};$$

Расчет внутреннего избыточного рабочего давления и давления при испытании рассчитывается по формуле, МПа:

- При гидроиспытания, МПа:

$$P_{\text{испрас}} = P_{\text{исп}} + \frac{\rho_v \nu g D_{\text{вн}}}{10^8} = 1.96 \text{ МПа};$$

2.3.1.1. Расчет обечайки на прочность

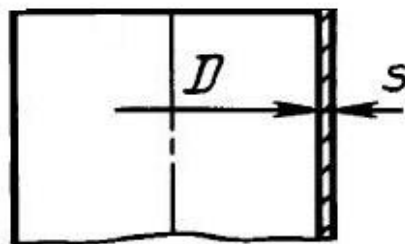


Рисунок 2.3.1. Расчетная схема обечайки аппарата [4].

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при рабочих условиях и при гидравлическом испытании определяется по формулам, мм [4]:

$$s_{\text{расч обечайки}} = \frac{P_{\text{раб расч}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{20}\phi - P_{\text{раб расч}}}; \quad (2.3.3)$$

где

$P_{\text{раб расч}}$, $P_{\text{испрас}}$ - давление рабочее расчетное и при гидроиспытании;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°С;

ϕ - коэффициент сварного шва.

$$s_{\text{расч обечайки}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{раб расч}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{20}\phi - P_{\text{раб расч}}}, \frac{P_{\text{испрас}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 13.9 \text{ мм};$$

Прибавка на коррозию:

$$c = TП = 2 \text{ мм};$$

$$S_{\text{обечайкидейств}} = S_{\text{расчобечайки}} + c = 15.94 \text{ мм};$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайки равной 20 мм.

$$S_{\text{обечайкидейств}} = 20 \text{ мм};$$

Проверка условия применения формул для обечаек при $D > 200$:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \frac{S_{\text{обечайкидейств}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1, \text{Print}["\text{Условия применения формул выполняются}"], \\ \frac{S_{\text{обечайкидейств}} - c}{D_{\text{вн}}} \geq 0.1, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

Расчет допускаемого давления.

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления по формуле:

$$P_{\text{допрабоб}} = \frac{2\sigma_t\phi(S_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (S_{\text{обечайкидейств}} - c)}; \quad (2.3.4)$$

где

$S_{\text{обечайкидейств}}$ – исполнительная толщина обечайки;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c - поправка на коррозию;

- При рабочих условиях:

$$P_{\text{дописпоб}} = \frac{2\sigma_{\text{исп}}\phi(S_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (S_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 2.87 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий.

- Под действием внутреннего давления в рабочих условиях.

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{допрабоб}} \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print} [\text{Условия прочности выполняются}], \\ P_{\text{допрабоб}} \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print} ["\text{Условия прочности не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности выполняется

- При условиях испытания:

$$P_{\text{дописпоб}} = \frac{2\sigma_{\text{исп}}\phi(S_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (S_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 2,87 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий.

$$If = \left[\begin{array}{l} P_{\text{дописпоб}} \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [Условия прочности выполняются]}, \\ P_{\text{дописпоб}} \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [\"Условия прочности не выполняется\"]} \end{array} \right]$$

Условие прочности выполняется

Проверка на прочность цилиндрической обечайки выполняется, следовательно, выбираем толщину равной 20 мм.

2.3.2. Расчет эллиптической крышки

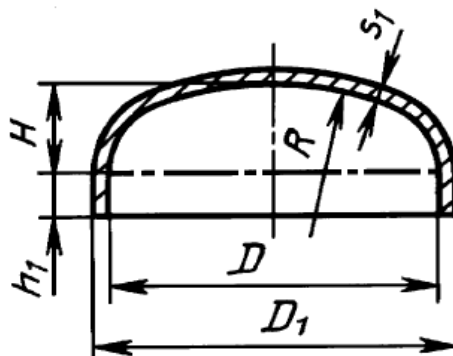


Рисунок 2.3.2. Крышка эллиптическая [5]

При гидравлических испытаниях крышки будут нагружены внутренним избыточным давлением, следовательно, проведем расчет толщины крышки при внутреннем избыточном давлении.

2.3.2.1. Расчет стенки крышки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении

Исполнительную толщину стенки крышки определяют по формулам, мм [5, стр. 14]:

$$S_{\text{расчэлкр}} = \frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{20} - P_{\text{рабрасч}}}; \quad (2.3.5)$$

где

$P_{\text{рабрасч}}$ – давление рабочее расчетное;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°C;

ϕ - коэффициент сварного шва;

$$S_{\text{расчэлкр}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{20} - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{\text{исп}} - P_{\text{испрас}}} \right] = 13.9497 \text{ мм};$$

Исполнительная толщина стенки крышки, мм:

$$S_{\text{эллипкрышки}} = S_{\text{расчэлкр}} + c = 15.94 \text{ мм};$$

Проверка условий применения формул для эллиптических крышек:

$$\text{If} \left[\begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{S_{\text{эллипкрышки}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1, \text{Print}[\text{Условия применения формул выполняются}], \\ 0.002 \geq \frac{S_{\text{эллипкрышки}} - c}{D_{\text{вн}}} \geq 0.1, \text{Print}[\text{Условие не выполняется}] \end{array} \right]$$

Условия применения формул выполняются

Принимаем толщину стенки крышки из стандартного ряда 20 мм [2, стр.441].

Расчет допускаемого давления определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{2\phi\sigma_{20}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}; \quad (2.3.6)$$

где

$S_{\text{эллипкрышки}}$ – исполнительная толщина эллиптической крышки;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°C;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c - поправка на коррозию;

- При рабочих условиях:

$$P_1 = \frac{2\phi\sigma_{20}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 1.44 \text{ МПа};$$

- При условиях испытания:

$$P_2 = \frac{2\phi\sigma_{\text{исп}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 2.23 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий прочности эллиптической крышки.

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_1 \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print} [\text{Условия прочности выполняются}], \\ P_1 \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print} ["\text{Условия прочности не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условия прочности выполняются

Исходя из выполненного условия принимаем толщину стенки эллиптической крышки 20 мм.

Толщина эллиптической крышки, мм:

$$S_{\text{эллипкрышки}} = 20 \text{ мм};$$

Длину отбортованной части крышки принимаем равной $h_1=100$ мм. Высоту выпуклой части крышки без учета цилиндрической части принимаем равной $h=800$ мм [8, стр.440].

2.3.3. Расчет штуцеров

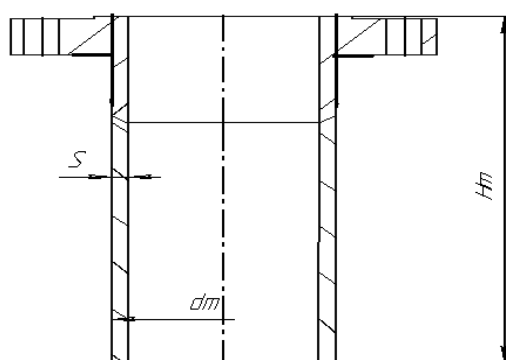


Рисунок. 2.3.3 Схема штуцера с плоским фланцем.

Таблица 2.3.1 - Таблица внутренних диаметров штуцеров

Обозначение	Наименование	Условный проход D_y , мм	Условное давление, P_y	
			МПа	кгс/см ²
А	Вход нефтегазовой смеси	500	1,6	16
Б	Выход газа	500	1,6	16
В	Выход нефти	400	1,6	16
Г	Выход воды	150	1,6	16
Д	Для предохранительного клапана	200	1,6	16
Е	Для пропарки	50	2,5	25
Ж1,2	Для дренажа	200	2,5	25
Р1,2	Для дифманометра	50	2,5	25
М	Для манометра	50	2,5	25
П	Воздушник	25	2,5	25
Т	Для термопреобразователя	50	2,5	25

И1,2	Для датчиков уровня	50	2,5	25
К	Для регулирования уровня	50	2,5	25
У1,2	Для сигнализации уровня	50	2,5	25
Л	Люк-лаз	500	2,5	25

Внутренние диаметры штуцеров, мм:

Для штуцера А, Б, Л:

$$d_1 = 500 \text{ мм}$$

Для штуцеров В:

$$d_2 = 400 \text{ мм}$$

Для штуцера Г, Ж_{1,2}:

$$d_4 = 150 \text{ мм}$$

Для штуцера Д:

$$d_5 = 200 \text{ мм}$$

Для штуцеров Е, И_{1,2}, К, У_{1,2}, Р_{1,2}, М, Т:

$$d_6 = 50 \text{ мм}$$

Для штуцеров П:

$$d_9 = 25 \text{ мм}$$

2.3.3.1. Расчет укрепления отверстия при внутреннем и внешнем давлениях

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, перехода или днища при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия рисунок 2.3.4 или кругового отверстия без штуцера, вычисляют по формуле, мм [5]:

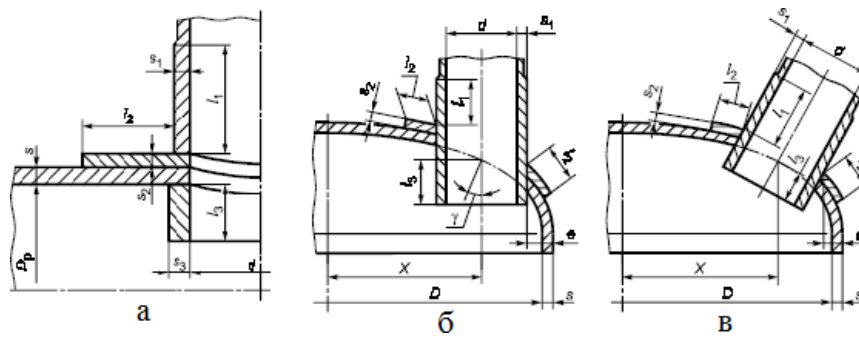


Рисунок 2.3.4. а - Схема соединения штуцера со стенкой сосуда; б, в - смещение штуцера на выпуклой крышке.

Расчетный диаметр штуцеров определяется по формуле:

$$d_{\text{рас}} = d + 2c; \quad (2.3.7)$$

где

d - внутренний диаметр штуцера, мм;

c - поправка на коррозию.

$$d_{\text{рас1}} = d_1 + 2c = 504 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас2}} = d_2 + 2c = 404 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас4}} = d_4 + 2c = 154 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас5}} = d_5 + 2c = 204 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас6}} = d_6 + 2c = 54 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас9}} = d_9 + 2c = 29 \text{ мм};$$

Расчет укрепления отверстий.

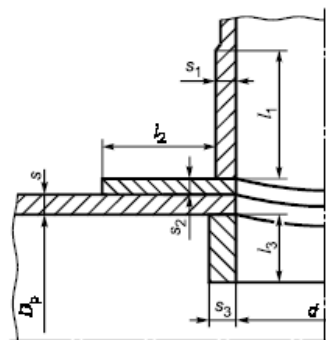


Рисунок 2.3.5. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда [6, стр.19].

Расчетные диаметры укрепляемых элементов определяются по формулам [5, стр.4]

- Расчетный внутренний диаметр для цилиндрической обечайки, мм:

- Для штуцеров Б, В, Г, Д, Е Ж_{1,2}, Л, И_{1,2}, Р_{1,2}:

$$D_{\text{расчобеч}} = D_{\text{вн}} = 3400;$$

- Для эллиптической крышки, мм:

Для штуцеров А, С, Т, У_{1,2}, К_{1,2}:

$$D_{\text{расчкрышки}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x}{D_{\text{вн}}}\right)^2}; \quad (2.3.8)$$

где

x - расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптической крышки;

$D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

Расстояния от центра укрепляемого отверстия до центра эллиптического днища;

$$x_1 = 1000 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки1}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x_1}{D_{\text{вн}}}\right)^2} \right] = 5851,5 \text{ мм};$$

$$x_2 = 470 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки2}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x_2}{D_{\text{вн}}}\right)^2} \right] = 6602,21 \text{ мм};$$

$$x_3 = 960 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки3}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x_3}{D_{\text{вн}}}\right)^2} \right] = 5931,34 \text{ мм};$$

$$x_4 = 800 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки4}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x_4}{D_{\text{вн}}}\right)^2} \right] = 6209,67 \text{ мм};$$

2.3.3.2. Расчет толщины стенок штуцеров

Расчет толщин стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляют по формуле, мм:

$$\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}; \quad (2.3.9)$$

где

$P_{\text{рабрасч}}$ – давление рабочее расчетное;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c - поправка на коррозию;

- Для штуцеров $Dy=500$ мм:

$$S_{\text{шт}500\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 1,86029 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=400$ мм:

$$S_{\text{шт}400\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_2 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_2 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 1,49118 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=150$ мм:

$$S_{\text{шт}150\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_4 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_4 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,568422 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=200$ мм:

$$S_{\text{шт}200\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_5 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_5 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,75297 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=50$ мм:

$$S_{\text{шт}50\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_6 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_6 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,1993 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=25$ мм:

$$S_{\text{шт}25\text{рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_9 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_9 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,10704 \text{ мм};$$

Принимаем толщину стенки штуцера в соответствии с АТК 24.218.06 - 90, мм [6].

$$S_{шт500} = 12 \text{ мм};$$

$$S_{шт400} = 12 \text{ мм};$$

$$S_{шт150} = 6 \text{ мм};$$

$$S_{шт200} = 8 \text{ мм};$$

$$S_{шт50} = 4 \text{ мм};$$

$$S_{шт25} = 3.5 \text{ мм};$$

Расчет диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, вычисляют по формуле [5].

$$d_0 = 0.4 \sqrt{D_{расчобеч}(S_{обечайкидейств} - c)}; \quad (2.3.10)$$

где

$D_{расчобеч}$ - расчетный диаметр цилиндрической обечайки, мм;

$S_{обечайкидейств}$ - исполнительная толщина обечайки, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

-Для цилиндрической обечайки, мм:

$$d_0 = 0.4 \sqrt{D_{расчобеч}(S_{обечайкидейств} - c)} = 98,95 \text{ мм};$$

- Для эллиптической крышки, мм:

$$d_{p1} = 0.4 \sqrt{D_{расчкрышки1}(S_{эллипкрышки} - c)} = 129,816 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 0.4 \sqrt{D_{расчкрышки1}(S_{эллипкрышки} - c)} = 137.892 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 0.4 \sqrt{D_{расчкрышки1}(S_{эллипкрышки} - c)} = 130,699 \text{ мм};$$

$$d_{p4} = 0.4 \sqrt{D_{расчкрышки1}(S_{эллипкрышки} - c)} = 133,731 \text{ мм};$$

2.3.3.3. Расчетные длины штуцеров

Расчет длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстий учитываемые при расчете, мм.

$$l_{1шт} = \text{Min} \left[l_1, 1.25\sqrt{(d_1 + 2c)(S_{шт} - c)} \right]; \quad (2.3.11)$$

где

d_1 - внутренний диаметр штуцера, мм;

$S_{шт}$ - исполнительная толщина штуцера, мм;

c - поправка на коррозию, мм;

l_1 - исполнительная длина вылета штуцера.

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_1 = 520 \text{ мм};$$

Исполнительная длина внутренней части для штуцеров, мм:

$$l_2 = 50 \text{ мм};$$

- Для штуцеров $Dy=500$ мм:

$$l_{1шт500расч} = \text{Min} \left[l_1, 1.25\sqrt{(d_1 + 2c)(S_{шт500} - c)} \right] = 88,7 \text{ мм};$$

$$l_{2шт500расч} = \text{Min} \left[l_2, 0.5\sqrt{(d_1 + 2c)(S_{шт500} - c)} \right] = 35,5 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм [2]:

$$l_{1шт500} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{1шт500расч}; l_1] \right] = 520 \text{ мм};$$

$$l_{2шт500} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{2шт500расч}; l_2] \right] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X &= l_{1шт500расч}(S_{шт500} - S_{шт500расч} - c) + l_{2шт500расч}(S_{шт500} - c - c) \\ &= 1006,3; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=500$ мм:

$$\text{If} = \begin{cases} X \geq 0.5(d_1 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X \leq 0.5(d_1 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{cases}$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров $Dy=400$ мм

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_3 = 480 \text{ мм};$$

$$l_{1шт400расч} = \text{Min} \left[l_3, 1.25\sqrt{(d_2 + 2c)(S_{шт400} - c)} \right] = 79,45 \text{ мм};$$

$$l_{2шт400расч} = \text{Min} \left[l_2, 0.5\sqrt{(d_2 + 2c)(S_{шт400} - c)} \right] = 31,78 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт400} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{1шт400расч}, l_3] \right] = 480 \text{ мм};$$

$$l_{2шт400} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{2шт400расч}, l_2] \right] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X1 &= l_{1шт400расч} (S_{шт400} - S_{шт400рас} - c) + l_{2шт400расч} (S_{шт400} - c - c) \\ &= 930,28; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров Ду=400 мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X1 \geq 0.5(d_2 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X1 \leq 0.5(d_2 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров Ду=150 мм

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_3 = 450 \text{ мм};$$

$$l_{1шт150расч} = \text{Min} \left[l_4, 1.25\sqrt{(d_4 + 2c)(S_{шт150} - c)} \right] = 31,02 \text{ мм};$$

$$l_{2шт150расч} = \text{Min} \left[l_2, 0.5\sqrt{(d_4 + 2c)(S_{шт150} - c)} \right] = 12,409 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт150} = \text{Max} [l_{1шт150расч}, l_4] = 450 \text{ мм};$$

$$l_{2шт150} = \text{Ceiling} [\text{Max} [l_{2шт150расч}, l_2]] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X2 &= l_{1шт150расч} (S_{шт150} - S_{шт150рас} - c) + l_{2шт150расч} (S_{шт150} - c - c) \\ &= 131,281; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров Ду=150 мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X2 \geq 0.5(d_4 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X2 \leq 0.5(d_4 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров Ду=200:

$$l_{1шт200расч} = \text{Min} \left[l_3, 1.25\sqrt{(d_5 + 2c)(S_{шт200} - c)} \right] = 43,73 \text{ мм};$$

$$l_{2шт200расч} = \text{Min} \left[l_2, 0.5\sqrt{(d_5 + 2c)(S_{шт200} - c)} \right] = 17,5 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт200} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{1шт200расч}, l_3] \right] = 480 \text{ мм};$$

$$l_{2шт200} = \text{Ceiling} \left[\text{Max} [l_{2шт200расч}, l_2] \right] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X3 &= l_{1шт200расч}(S_{шт200} - S_{шт200расч} - c) + l_{2шт200расч}(S_{шт200} - c - c) \\ &= 299,435; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=200$ мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X3 \geq 0.5(d_5 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X3 \leq 0.5(d_5 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

Таким образом укрепления отверстия не требуется для штуцеров с условным диаметром $Dy=50$, $Dy=25$, а для штуцера $Dy=500$, $Dy=400$, $Dy=150$, $Dy=200$ требуется укрепление отверстия.

В качестве укрепляемого элемента используем накладное кольцо. Исполнительная толщина накладного кольца (при условии, что толщина накладного кольца $s_{кольца}$ равна толщине стенки обечайки.

Ширина накладного кольца, мм:

$$s_{кольца} = s_{обечайкидейств} = 20 \text{ мм};$$

2.3.3.4. Расчет ширины зоны укрепление отверстий

Ширину зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах вычисляют по формуле, мм [5]:

$$L_{орасч} = \sqrt{D_{расч}(s_{обечайкидейств} - c)}; \quad (2.3.12)$$

где

$D_{расч}$ - расчетный внутренний диаметр укрепляемого элемента, мм;

$s_{обечайкидейств}$ - исполнительная толщина стенки обечайки или крышки, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

- Расчет ширины зоны укрепления отверстия в цилиндрической обечайке, мм:

$$L_{0\text{расчобечайки}} = \sqrt{D_{\text{расчобеч}}(s_{\text{обечайкидейств}} - c) = 247,386 \text{ мм};$$

Расчет ширины зоны укрепления отверстия в эллиптической крышке, мм:

$$L_{0\text{расчкрышки1}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c) = 324,54 \text{ мм};$$

$$L_{0\text{расчкрышки3}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c) = 344,732 \text{ мм};$$

$$L_{0\text{расчкрышки4}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c) = 326,748 \text{ мм};$$

- Расчетную ширину накладного кольца вычисляют по формуле, мм [5]:

$$L_{\text{кольца}} = \sqrt{D_{\text{расч}}(s_{\text{обечайкидейств}} + s_{\text{кольца}} - c); \quad (2.3.13)$$

где

$D_{\text{расч}}$ - расчетный внутренний диаметр укрепляемого элемента, мм;

$s_{\text{обечайкидейств}}$ - исполнительная толщина стенки обечайки или крышки, мм;

$s_{\text{кольца}}$ - исполнительная толщина накладного кольца, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

В случае укрепления накладным кольцом, ширина зоны укрепления принимается рассчитывается по формуле, мм:

$$L_{\text{кольца}} = \sqrt{D_{\text{расчобеч}}(s_{\text{обечайкидейств}} + s_{\text{кольца}} - c) = 359,44 \text{ мм};$$

$$L_{\text{расчкольца}} = \text{Ceiling}[L_{\text{кольца}}] = 360 \text{ мм};$$

Отношения допускаемых напряжений.

Исходя из того, что внешняя часть штуцера и накладное кольцо состоят из одного и того же материала, что и обечайка, принимаем:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_t = 196 \text{ МПа};$$

- Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_t} = 1;$$

- Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_t} = 1;$$

- Для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_t} = 1;$$

В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера либо накладным кольцом, торообразной вставкой, вварным кольцом.

Принимаем укрепление отверстий накладным кольцом для штуцеров А, Б, В, Г, Д, Ж_{1,2}, Л.

- Для штуцера Ду=500 мм:

$$A_{1_500} = l_{1шт500расч}(S_{шт500} - S_{шт500рас} - c)\chi_1 = 722,328;$$

$$A_{2_500} = L_{расчкольца}S_{кольца}\chi_2 = 7200;$$

$$A_{3_500} = l_{2шт500расч}(S_{шт500} - S_{шт500рас} - c)\chi_3 = 288,931;$$

$$A_{4_500} = L_{расчкольца}(s_{обечайкидейств} - s_{расчобечайки} - c) = 1458,11;$$

$$A_{5_500} = 0.5(d_{рас1} - d_{р4})s_{обечайкидейств} = 3702,69;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_500} + A_{2_500} + A_{3_500} + A_{4_500} \geq A_{5_500}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_500} + A_{2_500} + A_{3_500} + A_{4_500} \leq A_{5_500}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера Ду=400 мм:

$$A_{1_400} = l_{1шт400расч}(S_{шт400} - S_{шт400рас} - c)\chi_1 = 148,843;$$

$$A_{2_400} = L_{расчкольца}S_{кольца}\chi_2 = 7200;$$

$$A_{3_400} = l_{2шт400расч}(S_{шт400} - S_{шт400рас} - c)\chi_3 = 270,141;$$

$$A_{4_400} = L_{расчкольца}(s_{обечайкидейств} - s_{расчобечайки} - c) = 1458,11;$$

$$A_{5_400} = 0.5(d_{рас2} - d_0)s_{обечайкидейств} = 3050,45;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{400}} + A_{2_{400}} + A_{3_{400}} + A_{4_{400}} \geq A_{5_{400}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{400}} + A_{2_{400}} + A_{3_{400}} + A_{4_{400}} \leq A_{5_{400}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=150$ мм:

$$A_{1_{150}} = l_{1\text{шт}150\text{расч}}(S_{\text{шт}150} - S_{\text{шт}150\text{рас}} - c)\chi_1 = 106,62;$$

$$A_{2_{150}} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 7200;$$

$$A_{3_{150}} = l_{2\text{шт}150\text{расч}}(S_{\text{шт}150} - S_{\text{шт}150\text{рас}} - c)\chi_3 = 42,58;$$

$$A_{4_{150}} = L_{\text{расчкольца}}(s_{\text{обечайкидейств}} - s_{\text{расчобечайки}} - c) = 1458,11;$$

$$A_{5_{150}} = 0.5(d_{\text{рас1}} - d_0)s_{\text{обечайкидейств}} = 4050;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{150}} + A_{2_{150}} + A_{3_{150}} + A_{4_{150}} \geq A_{5_{150}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{150}} + A_{2_{150}} + A_{3_{150}} + A_{4_{150}} \leq A_{5_{150}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=200$ мм:

$$A_{1_{200}} = l_{1\text{шт}200\text{расч}}(S_{\text{шт}200} - S_{\text{шт}200\text{рас}} - c)\chi_1 = 229,46;$$

$$A_{2_{200}} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 7200;$$

$$A_{3_{200}} = l_{2\text{шт}200\text{расч}}(S_{\text{шт}200} - S_{\text{шт}200\text{рас}} - c)\chi_3 = 91,785;$$

$$A_{4_{200}} = L_{\text{расчкольца}}(s_{\text{обечайкидейств}} - s_{\text{расчобечайки}} - c) = 1458,11;$$

$$A_{5_{200}} = 0.5(d_{\text{рас2}} - d_0)s_{\text{обечайкидейств}} = 3050,45;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{200}} + A_{2_{200}} + A_{3_{200}} + A_{4_{200}} \geq A_{5_{200}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{200}} + A_{2_{200}} + A_{3_{200}} + A_{4_{200}} \leq A_{5_{200}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

2.3.3.5. Расчет допускаемого избыточного давления штуцеров

Допускаемое внутреннее избыточное давление для штуцеров рассчитывают по формула, МПа:

$$P_{1\text{штраб}} = \frac{2K(S_{\text{шт}} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт}} - c)V}; \quad (2.3.14)$$

где

K - коэффициент для цилиндрических и конических обечаек;

$S_{\text{шт}}$ - исполнительная толщина стенки штуцера, мм;

c - поправка на коррозию, мм;

ϕ - коэффициент прочности сварного шва;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа;

$D_{\text{расчобеч}}$ - внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм;

V - коэффициент понижения прочности;

- Для цилиндрических и конических обечаек $K=2$;

- Для штуцеров $Dy=500$:

$$W_{500} = \frac{A_{1_500} + A_{2_500} + A_{3_500}}{L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - c)} + 1 = 1.62; \quad (2.3.15)$$

Коэффициент понижения прочности:

$$V_{500} = \text{Min} \left[1; \frac{W_{500}}{1 + 0.5 \frac{d_{\text{рас1}} - d_0}{L_{\text{расчкольца}}} + K \frac{d_1 + 2c}{D_{\text{расчобеч}}} \frac{\phi}{\phi} \frac{l_{1\text{шт}500}}{L_{\text{расчкольца}}}} \right] 0,817; \quad (2.3.16)$$

- При рабочих условиях, МПа:

$$P_{1\text{штраб}} = \frac{2K(S_{\text{шт}500} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт}500} - c)V_{500}} V_{500} = 1,879 \text{ МПа};$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{рабрасч}} \leq P_{1\text{штраб}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ P_{\text{рабрасч}} \geq P_{1\text{штраб}}, \text{Print}["\text{Штуцер не выдерживает давление в аппарате}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- При условиях испытания, МПа:

$$P_{1\text{штисп}} = \frac{2K(S_{\text{шт}500} - c)\phi\sigma_{\text{исп}}}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт}500} - c)V_{500}} V_{500} = 2,615 \text{ МПа};$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{испрас}} \leq P_{1\text{штисп}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ P_{\text{испрас}} \geq P_{1\text{штисп}}, \text{Print}["\text{Штуцер не выдерживает давление в аппарате}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцеров $Dy=400$:

$$W_{400} = \frac{A_{1_400} + A_{2_400} + A_{3_400}}{L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - c)} + 1 = 2,37;$$

Коэффициент понижения прочности:

$$V_{400} = \text{Min} \left[\frac{W_{400}}{1 + 0,5 \frac{d_{\text{расч2}} - d_0}{L_{\text{расчкольца}}} + K \frac{d_2 + 2c}{D_{\text{расчобеч}}} \frac{\phi}{\phi} \frac{l_{\text{шт400}}}{L_{\text{расчкольца}}}} \right] = 1,63;$$

- При рабочих условиях, МПа:

$$P_{2\text{шттраб}} = \frac{2K(S_{\text{шт400}} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт400}} - c)V_{400}} V_{400} = 3,74 \text{ МПа};$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{рабрасч}} \leq P_{2\text{шттраб}}, \text{Print}[\text{"Условие выполнено"}], \\ P_{\text{рабрасч}} \geq P_{2\text{шттраб}}, \text{Print}[\text{"Штуцер не выдерживает давление в аппарате"}] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- При условиях испытания, МПа:

$$P_{2\text{штисп}} = \frac{2K(S_{\text{шт400}} - c)\phi\sigma_{\text{исп}}}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт400}} - c)V_{400}} V_{400} = 5,212 \text{ МПа};$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{испрас}} \leq P_{2\text{штисп}}, \text{Print}[\text{"Условие выполнено"}], \\ P_{\text{испрас}} \geq P_{2\text{штисп}}, \text{Print}[\text{"Штуцер не выдерживает давление в аппарате"}] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

2.3.4. Расчет фланцевого соединения

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С, 16ГС.

Материал шпилек - сталь 40Х.

Материал прокладки - паронит ПБМ.

Расчет производится в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007 [7].

Так как производство пожаро-взрывоопасное, выбираем фланцевое соединение типа "выступ - впадина" с плоским фланцем для обеспечения герметичности фланцевого соединения [7, стр.7].

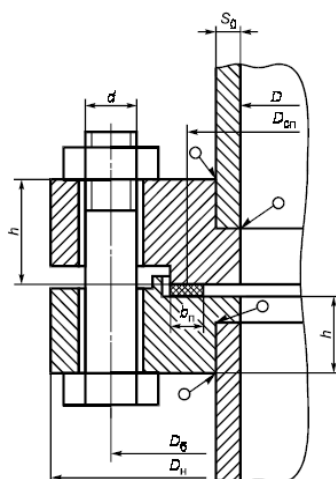


Рисунок 2.3.6. Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ - впадина

Конструктивные размеры фланца.

Толщину втулки принимаем равной исполнительной толщине штуцера, мм:

$$s_{вт} = 12 \text{ мм};$$

Длина конической втулки фланца, мм:

$$S_1 = 50 \text{ мм};$$

Толщина тарелки фланца, мм:

$$l_{втулки} = 55 \text{ мм};$$

Внутренний диаметр фланца, мм:

$$D_{флвн} = 524 \text{ мм};$$

Наружный диаметр фланца, мм:

$$D_{флн} = 640 \text{ мм};$$

Диаметр окружности расположения шпилек, мм:

$$D_{г} = 600 \text{ мм};$$

Количество шпилек:

$$n = 20;$$

Условие применимости [7, стр.9]:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \frac{D_{флн}}{D_{флвн}} \leq 5, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ \frac{D_{флн}}{D_{флвн}} \geq 5, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

Высота фланца, мм:

$$h_{\text{высфл}} = 25 \text{ мм};$$

Нормативный параметр [7, стр.30]

$$e_{\text{нп}} = 30;$$

Наружный диаметр прокладки рассчитывается по формуле, мм [7, стр.11]

$$D_{\text{нарпр}} = D_{\text{б}} - e_{\text{нп}} \text{ мм}; \quad (2.17)$$

где

$D_{\text{б}}$ - диаметр окружности расположения шпилек;

$e_{\text{нп}}$ - нормативный параметр;

Ширина прокладки, мм [7, стр.30] :

$$b_{\text{пр}} = 20 \text{ мм};$$

Эффективная ширина прокладки, мм:

$$b_{\text{прэф}} = \text{Ceiling}[b_{\text{пр}} \leq 15; (3.8\sqrt{b_{\text{пр}}})] = 17 \text{ мм};$$

Таблица 2.3.2 - Характеристика основных типов прокладок [7]

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент, m	Удельное давление обжатия прокладки, $q_{\text{обж}}$, МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэф-нт обжатия $K_{\text{обж}}$	Условный модуль сжатия прокладки $E_{\text{п}} \cdot 10^5$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из:					
Резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2	18	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} (1+b_{\text{п}} / 2h_{\text{п}})$
(Резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1	4	20	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} (1+b_{\text{п}} / 2h_{\text{п}})$
Паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2-3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02

Продолжение таблицы 2.3.2

Картон асбестового по ГОСТ 2850 при толщине 1-3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02
Фторопласта 4 по ТУ 6-05-810 при толщине не более 1-3 мм	2,5	10	40	1	0,02

Из таблицы 2.3.2. выбираем характеристики прокладки изготовленной из паронита по ГОСТ 481.

Прокладочный коэффициент:

$$m = 2.5;$$

Удельное давление обжатия прокладки, МПа:

$$q_{обж} = 20;$$

Допускаемое удельное давление, МПа:

$$q_d = 130 \text{ МПа};$$

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

$$R_{п} = \pi D_{српр} b_{прэф} \cdot m \cdot P_{раб} = 95465.14 \text{ Н}; \quad (2.3.18)$$

Средний диаметр прокладки, мм:

$$D_{српр} = D_{нарпр} - b_{пр} = 550 \text{ мм}; \quad (2.3.19)$$

Нагрузки, действующие на фланец.

- Равнодействующая нагрузка от давления, Н [7, стр.11]

$$Q_d = P_{раб} \frac{\pi D_{српр}^2}{4} = 308857.82 \text{ Н}; \quad (2.3.20)$$

Осевое сжимающие усилие, Н:

$$F = - \left(0.6 \left(\pi \frac{\left(\frac{D_{\text{флвн}}}{1000} \right)^2}{4} \right) 10^6 \right) = 129390.89 \text{ Н}; \quad (2.3.21)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, Н:

$$Q_{\text{FM}} = \text{Abs} \left[\text{Max} \left[F + \frac{4}{D_{\text{српр}}}; F - \frac{4}{D_{\text{српр}}} \right] \right] = 129391 \text{ Н}; \quad (2.3.22)$$

Коэффициент линейного расширения материала фланцев, [7, стр.29]

$$\alpha_{\text{фл1}} = 13.4 \cdot 10^{-6};$$

$$\alpha_{\text{фл2}} = \alpha_{\text{фл1}} = 13.4 \cdot 10^{-6};$$

Коэффициент линейного расширения материала шпилек:

$$\alpha_{\text{б}} = 11,3 \cdot 10^{-6};$$

$$t = 20;$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\text{фл}} = 0.96t;$$

$$t_{\text{фл1}} = t_{\text{фл}};$$

Расчетная температура шпилек:

$$N[t_{\text{б}} = 0.85t] = 17 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Допускаемое напряжение для стали 40X при $t=20^\circ\text{C}$, МПа:

$$\sigma = 230 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости для шпилек из стали 40X при рабочей температур, МПа:

$$E_{\text{б}} = 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Площадь поперечного сечения шпильки, мм^2 :

$$f_{\text{б}} = 225 \text{ мм}^2;$$

Суммарная площадь шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра, мм^2 :

$$A_{\text{б}} = n f_{\text{б}} = 4500 \text{ мм}^2; \quad (2.3.23)$$

Для шпилек диаметром $d_B=20$ мм, принимаем диаметр отверстия под шпильки равным $d_{отв}=22$ мм.

$$d_B = 20 \text{ мм};$$

Модуль упругости для стали 40Х при температуре испытания 20°C, МПа:

$$E_{620} = 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости материала фланца, МПа:

$$E_1 = 2.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E_2 = E_1 = 2.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости материала фланца при 20°C, МПа:

$$E_{L1} = 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

2.3.4.1. Расчет податливости прокладки

Высота стандартной прокладки, мм:

$$h_{п} = 3 \text{ мм};$$

Коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{обж} = 1;$$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа:

$$E_{п} = 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Податливость прокладки рассчитывают по формуле, мм/Н:

$$y_{п} = \frac{h_{п} K_{обж}}{E_{п} \pi D_{српр} b_{пр}}; \quad (2.3.24)$$

где

$b_{пр}$ - эффективная ширина прокладки;

$D_{српр}$ - средний диаметр прокладки;

$h_{п}$ - высота прокладки;

$K_{обж}$ - коэффициент обжатия прокладки;

$E_{п}$ - условный модуль сжатия прокладки.

$$y_{п} = \frac{h_{п} K_{обж}}{E_{п} \pi D_{српр} b_{пр}} = 4.34 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}; \quad (2.3.25)$$

2.3.4.2. Расчет податливости шпилек

Расстояние между опорными поверхностями гаек, мм:

$$L_{60} = 94,2 \text{ мм};$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости, мм:

$$L_6 = L_{60} + 0,56d_B = 105,4 \text{ мм}; \quad (2.3.26)$$

Податливость шпилек рассчитывают по формуле, мм/Н:

$$y_6 = \frac{L_6}{E_{620}f_6n}; \quad (2.3.27)$$

где

L_6 - эффективная длина шпильки;

E_{620} - модуль упругости для стали;

f_6 - площадь поперечного сечения шпильки;

n - количество шпилек;

$$y_6 = \frac{L_6}{E_{620}f_6n} = 1,07 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}; \quad (2.3.28)$$

2.3.4.3. Расчет параметров фланцев

Параметр длины втулки, мм:

$$N \left[L_{\text{длвт}} = \sqrt{s_{\text{вт}} D_{\text{флвн}}} \right] = 79,3 \text{ мм}; \quad (2.3.29)$$

Расчетный коэффициент β_v , зависящий от соотношения размеров втулки фланца определяют по рисунку 2.3.7 [7, стр.34] в зависимости от:

$$N \left[\beta = \frac{s_1}{s_{\text{вт}}} \right] = 4,16; \quad (2.3.30)$$

$$N \left[\frac{l_{\text{втулки}}}{L_{\text{длвт}}} \right] = 0,693; \quad (2.3.31)$$

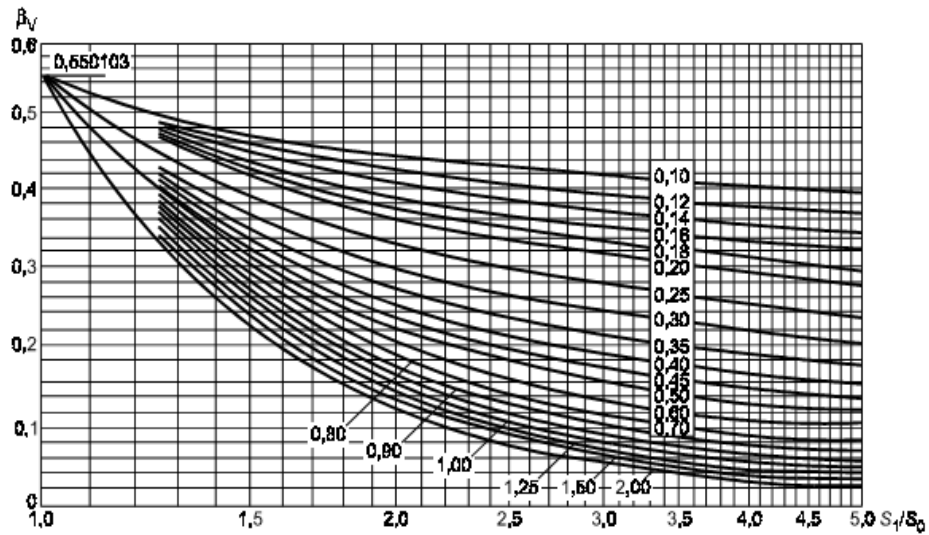


Рисунок 2.3.7. Определение коэффициента β_v .

Исходя из рисунка, коэффициент $\beta_v = 0.22$.

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру вычисляют по формуле:

$$N \left[K1 = \frac{D_{\text{флн}}}{D_{\text{флвн}}} \right] = 1,22; \quad (2.3.32)$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T = \frac{K1^2(1 + 8.55 \text{Log}[10, K1]) - 1}{(1.05 + 1.945K1^2)(K1 - 1)} = 1,82; \quad (2.3.33)$$

$$\beta_U = \frac{K1^2(1 + 8.55 \text{Log}[10, K1]) - 1}{1.36(K1^2 - 1)(K1 - 1)} = 10,8; \quad (2.3.34)$$

$$\beta_Y = \frac{1}{(K1 - 1)} \left(0.69 + 5.72 \frac{K1^2 \text{Log}[10, K1]}{(K1^2 - 1)} \right) = 9,92; \quad (2.3.35)$$

$$N \left[\beta_Z = \frac{K1^2 + 1}{K1^2 - 1} \right] = 5,067; \quad (2.3.36)$$

Расчетный коэффициент β_F , зависящий от соотношения размеров втулки фланца, определяем по рисунку 2.3.8 [7, стр.34]:

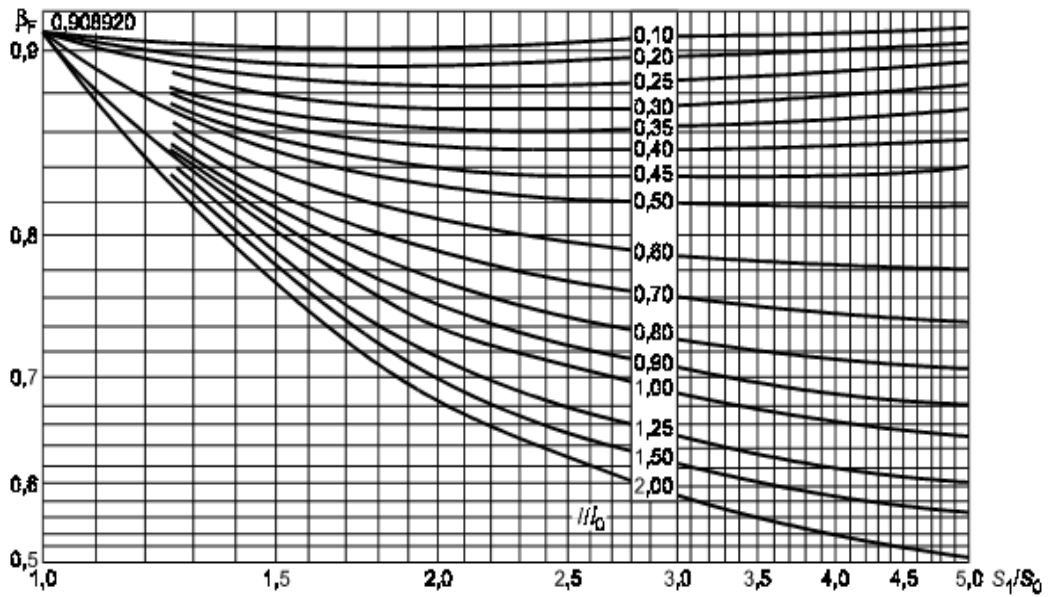


Рисунок 2.3.8. Определение коэффициента β_F

Исходя из рисунка, коэффициент $\beta_F=0,82$.

Поправочный коэффициент f для напряжений во втулке фланца определяется из рисунка 2.3.9:

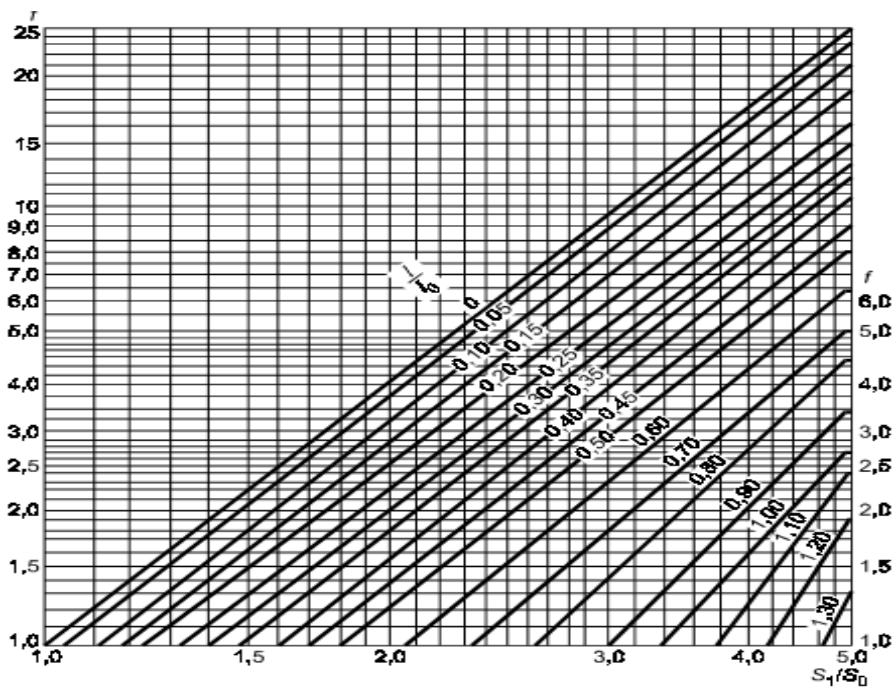


Рисунок 2.3.9. Поправочный коэффициент f для напряжений во втулке фланца.

Исходя из рисунка, поправочный коэффициент $f=2$.

Рассчитываем коэффициент λ по формуле:

$$\lambda = \frac{\beta_F h_{\text{толщфл}} + L_{\text{длвт}}}{\beta_T L_{\text{длвт}}} + \frac{\beta_v h_{\text{толщфл}}^3}{\beta_U L_{\text{длвт}} s_{\text{вт}}^2}; \quad (2.3.37)$$

где

β_v – коэффициент зависящий от размеров втулки фланца;

$h_{\text{толщфл}}$ – высота фланца;

$\beta_T, \beta_v, \beta_U$ – коэффициенты зависящие от размеров тарелки фланца;

$L_{\text{длвт}}$ – количество шпилек;

$s_{\text{вт}}$ – толщина втулки;

$$\lambda = \frac{\beta_F h_{\text{толщфл}} + L_{\text{длвт}}}{\beta_T L_{\text{длвт}}} + \frac{\beta_v h_{\text{толщфл}}^3}{\beta_U L_{\text{длвт}} s_{\text{вт}}^2} = 0,821;$$

2.3.4.5. Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланцев при затяжке рассчитывается по формуле:

$$y_\phi = \frac{0.91\beta_v}{E_{\sigma 20} \lambda L_{\text{длвт}} (s_{\text{вт}})^2}; \quad (2.3.38)$$

где

β_v – коэффициент зависящий от размеров втулки фланца;

$E_{\sigma 20}$ – модуль упругости для стали;

λ – коэффициент;

$L_{\text{длвт}}$ – количество шпилек;

$s_{\text{вт}}$ – толщина втулки;

$$y_\phi = \frac{0.91\beta_v}{E_{\sigma 20} \lambda L_{\text{длвт}} (s_{\text{вт}})^2} = 9.79 \cdot 10^{-11};$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi н} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_\sigma}{E_{\sigma 20} h_{\text{толщфл}}^3 D_{\text{флн}}}; \quad (2.3.39)$$

где

D_σ – диаметр окружности расположения шпилек;

$E_{\sigma 20}$ – модуль упругости для стали;

$h_{\text{толщфл}}$ – высота фланца;

$D_{\text{флн}}$ – наружный диаметр фланца;

$$y_{\text{фн}} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_{\text{б}}}{E_{\text{б20}} h_{\text{толщфл}}^3 D_{\text{флн}}} = 4.85 \cdot 10^{-11};$$

Угловую податливость плоской крышки вычисляют по формуле:

$$X_{\text{кр}} = 0.67 \frac{K_{\text{кр}}^2 (1 + 8.55[10, K_{\text{кр}}] - 1)}{(K_{\text{кр}} - 1)(K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857K_{\text{кр}}^2 + 1) \frac{h_{\text{кр}}^3}{\delta_{\text{кр}}})}; \quad (2.3.40)$$

где

$K_{\text{кр}}$ – отношение наружного диаметра плоской крышки к среднему диаметру прокладки;

$$N \left[K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{флн}}}{D_{\text{нарпр}}} \right] = 1,12; \quad (2.3.41)$$

$h_{\text{кр}}$ толщина крышки;

$$h_{\text{кр}} = 50 \text{ мм};$$

$\delta_{\text{кр}}$ – толщина фланцевой части;

$$\delta_{\text{кр}} = 39 \text{ мм};$$

$$X_{\text{кр}} = 0.67 \frac{K_{\text{кр}}^2 (1 + 8.55 \text{Log}[10, K_{\text{кр}}] - 1)}{(K_{\text{кр}} - 1)(K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857K_{\text{кр}}^2 + 1) \frac{h_{\text{кр}}^3}{\delta_{\text{кр}}})} = 0.00027624;$$

Угловая податливость:

$$y_{\text{кр}} = \frac{X_{\text{кр}}}{E_{\text{б20}} \delta_{\text{кр}}^2} = 8.33 \cdot 10^{-13}; \quad (2.3.42)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$G_F = \sqrt{\frac{\pi D_{\text{б}}}{n(2d_{\text{в}} + (\frac{6h_{\text{толщфл}}}{m + 0.5}))}} = 0,925; \quad (2.3.43)$$

Плечо действия усилий в шпильках, мм:

$$b = 0.5(D_{\text{б}} - D_{\text{српр}}) = 25 \text{ мм}; \quad (2.3.44)$$

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

$$e = 0.5(D_{\text{српр}} - D_{\text{флвн}} - s_{\text{вт}}) = 7; \quad (2.3.45)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения с крышкой:

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \frac{E_{\text{б20}}}{E_{\text{б}}} + (y_{\text{ф}} \frac{E_{\text{Л1}}}{E_1} + y_{\text{кр}} \frac{E_{\text{Л1}}}{E_2}) b^2} = 4,68 \cdot 10^6; \quad (2.3.46)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для соединения фланца с плоской крышкой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (ey_{\text{ф}} + y_{\text{кр}} b)b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + b^2(y_{\text{ф}} + y_{\text{кр}})} = 0,878; \quad (2.3.47)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + 2y_{\text{фн}} b(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{српр}}})}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} (\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{српр}}})^2 + 2y_{\text{фн}} b^2} = 0,93; \quad (2.3.48)$$

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

$$t_{\text{кр}} = t = 20^{\circ}\text{C};$$

$$Q_t = \gamma \left(\alpha_{\text{фл1}} \cdot h_{\text{толщфл}} (t_{\text{фл}} - 20) + \alpha_{\text{фл1}} \cdot h_{\text{кр}} (t_{\text{кр}} - 20) - \alpha_{\text{б}} (h_{\text{толщфл}} + h_{\text{кр}}) (t_{\text{б}} - 20) \right) = 11739,9 \text{ Н}; \quad (2.3.49)$$

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

$$P_{\text{б1}} = \text{Max} \left[\left\{ \alpha(Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4\alpha_{\text{М}}}{D_{\text{нарпр}}} \right\}, \left\{ \alpha(Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4\alpha_{\text{М}}}{D_{\text{нарпр}}} - Q_t \right\} \right] = 253193 \text{ Н}; \quad (2.3.50)$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н:

$$P_{\text{обж}} = 0.5D_{\text{нарпр}} b_{\text{прэф}} \cdot q_{\text{обж}} = 96900 \text{ Н}; \quad (2.3.51)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек, Н:

$$P_{62} = \text{Max}[P_{\text{обж}}, 0.4A_6\sigma] = 414000 \text{ Н}; \quad (2.3.52)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения, Н:

$$P_{6M} = \text{Max}[P_{61}, P_{62}] = 414000 \text{ Н}; \quad (2.3.53)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{6p} = P_{6M} + (1 - \alpha)(Q_d + F) + Q_t + \frac{4(1 - \alpha_M)}{D_{\text{нарпр}}} = 447479 \text{ Н}; \quad (2.3.54)$$

2.3.4.6. Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения на шпильках, МПа:

- при затяжке, МПа:

$$\sigma_{61} = \frac{P_{6M}}{A_6} = 92 \text{ МПа}; \quad (2.3.55)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке условиях:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \sigma_{61} \geq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ \sigma_{61} \leq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

- в рабочих условиях, МПа:

$$\sigma_{62} = \frac{P_{6p}}{A_6} = 99,43 \text{ МПа}; \quad (2.3.56)$$

Проверка условий прочности шпилек в рабочих условиях:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \sigma_{62} \geq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ \sigma_{62} \leq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q = \frac{\text{Max}[P_{6M}, P_{6p}]}{\pi D_{\text{нарпр}} b_{\text{пр}}} = 12,5 \text{ МПа}; \quad (2.3.57)$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} q \geq q_d, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ q \leq q_d, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

2.3.4.7. Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца при затяжке, Н·мм:

$$M_m = G_F P_{\text{бм}} b = 9,58 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad (2.3.58)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, Н·мм:

$$\begin{aligned} M_p &= G_F \text{Max}[P_{\text{бр}} b + (Q_d + Q_{\text{ФМ}})e, \text{Abs}[Q_d + Q_{\text{ФМ}}]e] \\ &= 1.32 \\ &\cdot 10^7; \end{aligned} \quad (2.3.59)$$

Проверка углов поворота фланцев.

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta = M_p y_{\text{ф}} \frac{E_{\text{б20}}}{E_{\text{б}}} = 0.00129206; \quad (2.3.60)$$

Допускаемый угол поворота приварного встык плоского фланца принимаем 0,005:

$$\theta_d = 0.005;$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \theta \geq \theta_d, \text{Print}["\text{Условие поворота фланца не выполняется}"], \\ \theta \leq \theta_d, \text{Print}["\text{Условие поворота фланца выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие поворота фланца выполняется

2.3.5. Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата [2]:

Вес обечайки:

Наружный диаметр цилиндрической обечайки, м:

$$N[d_{\text{н}} = (D_{\text{вн}} + 2s_{\text{обечайкидейств}})/1000] = 3,44 \text{ м}; \quad (2.3.61)$$

Внутренний диаметр аппарата, м:

$$N[d_{\text{вн}} = D_{\text{вн}}/1000] = 3,4 \text{ м}; \quad (2.3.62)$$

Плотность металла, кг/м³:

$$\rho_{\text{мет}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Длина цилиндрической обечайки аппарата, м :

$$l_{\text{длоб}} = L/1000 = 21 \text{ м}; \quad (2.3.63)$$

Расчет массы обечайки аппарата, кг:

$$m_{\text{цилл}} = 0.785(d_{\text{н}}^2 - d_{\text{вн}}^2)\rho_{\text{мет}}l_{\text{длоб}} = 35180,3 \text{ кг}; \quad (2.3.64)$$

Масса одной эллиптической крышки аппарата с отбортовкой выбирается в соответствии с ГОСТ 6533-78, кг [8]:

$$m_{\text{к}} = 2112 \text{ кг};$$

Принимаем, что масса вспомогательных устройств (штуцеров, измерительных приборов, люков и т.д.) составляет 30% от основной массы сепаратора, тогда:

Масса пустого аппарата, кг:

$$m_{\text{ап}} = 1.3(2m_{\text{к}} + m_{\text{цилл}}) = 51225,6 \text{ кг}; \quad (2.3.65)$$

Расчет массы воды при гидроиспытании, кг:

$$\rho_{\text{воды}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$N \left[m_{\text{воды}} = \pi \frac{d_{\text{вн}}^2}{4} l_{\text{длоб}} \rho_{\text{воды}} \right] = 190663 \text{ кг}; \quad (2.3.66)$$

Масса аппарата заполненного водой, кг:

$$m_{\text{мах}} = m_{\text{ап}} + m_{\text{воды}} = 241889 \text{ кг}; \quad (2.3.67)$$

Вес аппарата, Н:

$$G_{\text{ап}} = m_{\text{мах}}g = 2,37 \cdot 10^6 \text{ Н}; \quad (2.3.68)$$

Нагрузка от собственной массы на одну опору, Н:

$$F = G_{\text{ап}} = 2,37 \cdot 10^6 \text{ Н}; \quad (2.3.69)$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F_{\text{ап}} = F/10^6 \text{ МН}; \quad (2.3.70)$$

2.3.5.1. Расчет седлообразной опоры

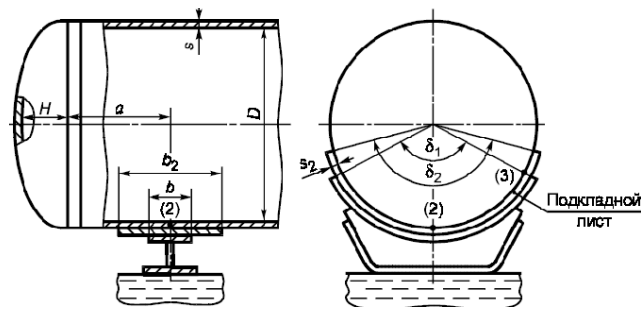


Рисунок 2.3.10. Расчетная схема седловых опор

Проверка применимости расчетных формул:

Угол охвата опорного листа:

$$\delta_1 = 80^\circ;$$

Угол охвата подкладного листа:

$$\delta_2 = 120^\circ;$$

Толщина подкладного листа, мм:

$$s_2 = 12 \text{ мм};$$

Высота крышки и отбортовки, м:

$$H_{кр} = 0.95 \text{ м};$$

$$D_{нар} = D_{вн} + 2s_{обечайкидейств} = 3440 \text{ мм}; \quad (2.3.71)$$

$$If = \left[\begin{array}{l} \delta_2 \geq \delta_1 + 20, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ s_2 \geq s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

2.3.5.2. Определение расчетных усилий

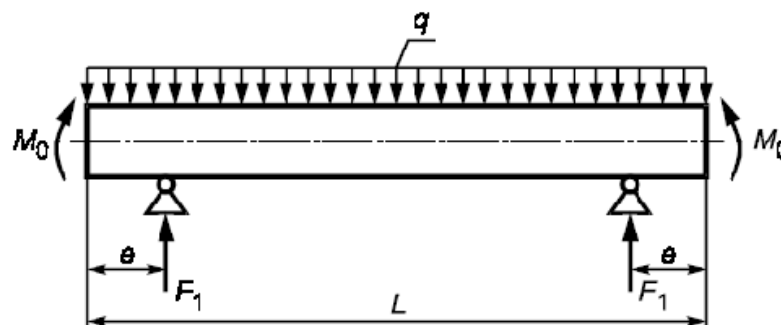


Рисунок 2.3.11. Расчетная схема определения усилий

$$q = \frac{G_{\text{ап}}}{l_{\text{длоб}} + (\text{Нкр}) \frac{4}{3}} = 106569 \text{ Н}; \quad (2.3.72)$$

$$M_0 = q \frac{D_{\text{нар}}^2 10^{-6}}{16} = 78818,2 \text{ Н}; \quad (2.3.73)$$

Нагрузка аппарата на одну опору, Н:

$$F_1 = \frac{G_{\text{ап}}}{2} = 1,18 \cdot 10^6 \quad (2.3.74)$$

Переводим нагрузку из Н в кН:

$$F_1/1000 = 1186,46 \text{ кН}; \quad (2.3.75)$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий.

Расстояние от края цилиндрической обечайки до центра опоры:

$$e = 0.4;$$

$$a = 1.8;$$

Момент над опорой, Н·м:

$$M_1 = \text{Abs} \left[M_0 - \frac{qe^2}{2} \right] = 70292,7 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.3.76)$$

Максимальный момент между опорами, Н·м:

$$M_{12} = M_0 + F_1 \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} + \frac{2}{3} (\text{Нкр}) \right)^2 = 3,796 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.3.77)$$

Поперечной усилие в сечении оболочки над опорой, Н·м:

$$Q_1 = \frac{l_{\text{длоб}} - 2a}{l_{\text{длоб}} + \frac{4}{3} (\text{Нкр})} F_1 = 927148 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.3.78)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} M_{12} \geq M_1, \text{Print}["\text{Условие выполняется}], \\ M_{12} \leq M_1, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

В соответствии с ОСТ 26-2091-93 [9] выбираем подвижную седлообразную опору типа 3 исполнения II для сосудов и аппаратов с диаметром от 2200 до 4000 мм с нагрузкой на одну опору от 900кН до 1400кН. Геометрические параметры приведены в таблице 2.3.3.

Таблица 2.3.3 - Основные параметры седлообразной опоры

Диаметр аппарата, D_{BH}	Допускаемая нагрузка на одну опору, кН	S_1	S_2	R	L	L_1	l	l_1	h	h_1	A	A_1	Масса, кг	Масса подкладного листа, кг
													Исполнение II	
3400	1400	25	25	1720	2990	3010	2895	1450	970	340	2390	2000	570	106

Так же принимаем размеры опорного листа согласно таблице 2.3.4.

Таблица 2.3.4 - Основные размеры опорного листа

Диаметр аппарата, D_{BH}	S	R	H	Масса, кг
3400	12	1640	450	169,2

3. Расчет электродегидратора

3.1. Технологический расчет электродегидратора

Приход эмульсии

$$G_{\text{ж}} := 185510 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Плотность нефти

$$\rho_{\text{н}} := 854.9 \text{ кг/ч}$$

Диаметр капель воды

$$d := 0.0003 \text{ м}$$

Ускорение свободного падения

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

Плотность воды

$$\rho_{\text{в}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Высота водяного слоя подушки

$$h_{\text{в}} := 1 \text{ м}$$

Динамическая вязкость

$$\mu := 4.241 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Объемный расход эмульсии

$$V_{\text{ж}} := \frac{G_{\text{ж}}}{\rho_{\text{н}}} = 216.996 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Примем к установке электродегидратора типа ЭГ-200 с характеристиками:

-внутренний объем аппарата:

$$V := 200 \text{ м}^3$$

-внутренний диаметр аппарата:

$$D := 3.4 \text{ м}$$

Определим длину отстойной зоны аппарата:

$$L := \frac{V}{0.785 \cdot D^2} = 22.04 \text{ м} \quad (3.1.1)$$

Скорость свободного осаждения капель воды:

$$\omega_0 := \frac{d^2 \cdot g \cdot (\rho_B - \rho_H)}{18 \cdot \mu} = 1.655 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.1.2)$$

$$Re := \frac{\omega_0 \cdot d \cdot \rho_H}{\mu} = 0.1 \quad (3.1.3)$$

Так как $Re < 2$, следовательно движение капель происходит в ламинарном режиме.

Примем скорость подъема капель в 2.5 раза меньше чем скорость осаждения:

$$\omega_{\text{ЭМ}} := \frac{\omega_0}{2.5} = 6.62 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.1.4)$$

Фактическая скорость осаждения капель воды:

$$\omega_{\text{ОС}} := \omega_0 - \omega_{\text{ЭМ}} = 9.93 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.1.5)$$

Время осаждения капель воды:

$$\tau_{\text{ОС}} := \frac{\frac{D}{2} - h_B}{\omega_{\text{ОС}}} = 704.914 \text{ с} \quad (3.1.6)$$

Время пребывания эмульсии в аппарате:

$$\tau := \frac{\left(\frac{D}{2} - h_B\right)}{\omega_{\text{ЭМ}}} = 1.057 \times 10^3 \text{ с} \quad (3.1.7)$$

Для эффективного расслоения должно выполняться условие $\tau < \tau_{\text{ОС}}$.

Находим максимальную производительность электродегидратора по эмульсии:

$$S_{\text{ЭЛ}} := D \cdot L = 74.934 \text{ м}^2 \quad (3.1.8)$$

$$V_{\text{ЭЛ}} := 3600 \cdot S_{\text{ЭЛ}} \cdot \omega_{\text{ЭМ}} = 178.589 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.1.9)$$

Необходимое количество аппаратов:

$$n := \frac{V_{\text{ж}}}{V_{\text{эл}}} = 1.215 \quad (3.1.10)$$

Принимаем два электродегидратора типа ЭГ-200

3.2. Механический расчет электродегидратора

Исходные данные:

$$D_{\text{вн}} = 3400 \text{ мм};$$

Рабочее давление аппарата, МПа:

$$P_{\text{раб}} = 0,8 \text{ МПа};$$

Степень заполнения аппарата:

$$v = 0.9;$$

Максимальная температура рабочей среды, °С:

$$T_{\text{max}} = 40 \text{ °С};$$

Срок эксплуатации аппарата, лет:

$$T = 15 \text{ лет};$$

Скорость коррозии сталей 09Г2С, мм/год:

$$П = 0.2;$$

Плотность рабочей среды;

$$\rho_{\text{н}} = 854.9 \text{ кг/м}^3;$$

Плотность воды при гидравлическом испытании, кг/м³;

$$\rho_{\text{в}} = 998 \text{ кг/м}^3;$$

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\phi = 1;$$

Допускаемое напряжение при 20 С, МПа:

$$\sigma_{20} = 196 \text{ МПа};$$

Допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа:

$$\sigma_t = 191,25 \text{ МПа};$$

Минимальное значение предела текучести при рабочей температуре 20С:

$$R_{20} = 300 ;$$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести:

$$n = 1.1;$$

Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения:

$$\eta = 0.9;$$

Ускорение свободного падения, м/с²:

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2$$

Длина обечайки аппарата, мм:

$$L = 22000 \text{ мм};$$

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

Для обечайки выбираем сталь 09Г2С, так как оборудование изготовленное из данной стали расположено на открытых площадках. В зимнее время температура достигает порядка до -50 °С. Данная сталь имеет огромный плюс - прокат выдерживает влияние температурных режимов от -70 до +425 °С [3].

Расчет допускаемого напряжения, МПа [4, стр.5]:

- Для рабочего состояния:

$$\sigma_{20} = \sigma_{20}\eta = 172,12 \text{ МПа};$$

- При гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{исп} = \frac{R_{20}}{n} = 272.727 \text{ МПа};$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа:

$$P_{\text{рабрасч}} = P_{\text{раб}} + \frac{\rho_{\text{н}}vgD_{\text{вн}}}{10^8}; \quad (3.2.1)$$

где

$P_{\text{раб}}$ - рабочее расчетное давление в аппарате;

$\rho_{\text{н}}$ - плотность нефти;

v - степень заполнения аппарата;

g - ускорение свободного падения;

$D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр аппарата;

$$P_{\text{рабрасч}} = P_{\text{раб}} + \frac{\rho_{\text{н}}vgD_{\text{вн}}}{10^9} = 0.82 \text{ МПа};$$

Давление при испытании на прочность рассчитывается по формуле, МПа [4, стр.4]:

$$P_{\text{исп}} = 1.25 P_{\text{раб}} \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}; \quad (3.2.2)$$

где

$P_{\text{раб}}$ - рабочее расчетное давление в аппарате, МПа;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20 С, МПа;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа.

$$P_{\text{исп}} = 1.25 \cdot P_{\text{раб расч}} \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 1,03 \text{ МПа};$$

Расчет внутреннего избыточного рабочего давления и давления при испытании рассчитывается по формуле, МПа:

- При гидроиспытания, МПа:

$$P_{\text{испрас}} = P_{\text{исп}} + \frac{\rho_v \nu g D_{\text{вн}}}{10^8} = 1,33 \text{ МПа};$$

3.2.1.1. Расчет обечайки на прочность

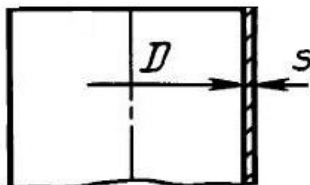


Рисунок 3.3.1. Расчетная схема обечайки аппарата [4].

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при рабочих условиях и при гидравлическом испытании определяется по формулам, мм [4]:

$$S_{\text{расчобечайки}} = \frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{20}\phi - P_{\text{рабрасч}}}; \quad (3.2.3)$$

где

$P_{\text{рабрасч}}$, $P_{\text{испрасч}}$ - давление рабочее расчетное и при гидроиспытании;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°C;

ϕ - коэффициент сварного шва.

$$s_{\text{расчобечайки}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{20}\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}} D_{\text{вн}}}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 13.9 \text{ мм};$$

Прибавка на коррозию:

$$c = TP = 3 \text{ мм};$$

$$s_{\text{обечайкидейств}} = s_{\text{расчобечайки}} + c = 11,32 \text{ мм};$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайки равной 16 мм.

$$s_{\text{обечайкидейств}} = 16 \text{ мм};$$

Проверка условия применения формул для обечаек при $D > 200$:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \frac{s_{\text{обечайкидейств}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1, \text{Print}["\text{Условия применения формул выполняются}"], \\ \frac{s_{\text{обечайкидейств}} - c}{D_{\text{вн}}} \geq 0.1, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие применения формул выполняется

Расчет допускаемого давления.

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления по формуле:

$$P_{\text{допроб}} = \frac{2\sigma_t\phi(s_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (s_{\text{обечайкидейств}} - c)}; \quad (3.2.4)$$

где

$s_{\text{обечайкидейств}}$ – исполнительная толщина обечайки;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c - поправка на коррозию;

- При рабочих условиях:

$$P_{\text{дописпоб}} = \frac{2\sigma_t\phi(s_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (s_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 1,31 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий.

- Под действием внутреннего давления в рабочих условиях.

$$If = \left[\begin{array}{l} P_{\text{допроб}} \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [Условия прочности выполняются]}, \\ P_{\text{допроб}} \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [\"Условия прочности не выполняется\"]} \end{array} \right]$$

Условие прочности выполняется

- При условиях испытания:

$$P_{\text{дописпоб}} = \frac{2\sigma_{\text{исп}}\phi(s_{\text{обечайкидейств}} - c)}{D_{\text{вн}} + (s_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 2,07 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий.

$$If = \left[\begin{array}{l} P_{\text{дописпоб}} \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [Условия прочности выполняются]}, \\ P_{\text{дописпоб}} \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [\"Условия прочности не выполняется\"]} \end{array} \right]$$

Условие прочности выполняется

Проверка на прочность цилиндрической обечайки выполняется, следовательно, выбираем толщину равной 16 мм.

3.2.2. Расчет эллиптической крышки

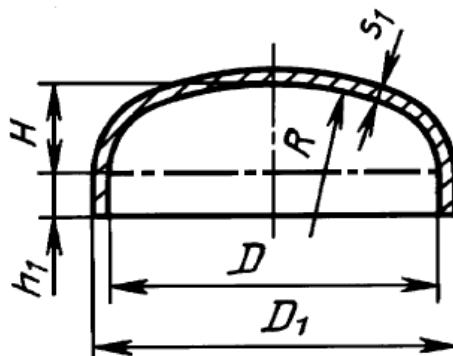


Рисунок 3.3.2. Крышка эллиптическая [5]

При гидравлических испытаниях крышки будут нагружены внутренним избыточным давлением, следовательно, проведем расчет толщины крышки при внутреннем избыточном давлении.

3.2.2.1. Расчет стенки крышки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении

Исполнительную толщину стенки крышки определяют по формулам, мм [5, стр. 14]:

$$S_{\text{расчэлкр}} = \frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{20} - P_{\text{рабрасч}}}; \quad (3.2.5)$$

где

$P_{\text{рабрасч}}$ – давление рабочее расчетное;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°C;

ϕ - коэффициент сварного шва;

$$S_{\text{расчэлкр}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{20} - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}} D_{\text{вн}}}{2\phi\sigma_{\text{исп}} - P_{\text{испрас}}} \right] = 8,32 \text{ мм};$$

Исполнительная толщина стенки крышки, мм:

$$S_{\text{эллипкрышки}} = S_{\text{расчэлкр}} + c = 11,32 \text{ мм};$$

Проверка условий применения формул для эллиптических крышек:

$$\text{If} \left[\begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{S_{\text{эллипкрышки}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1, \text{Print[Условия применения формул выполняются]}, \\ 0.002 \geq \frac{S_{\text{эллипкрышки}} - c}{D_{\text{вн}}} \geq 0.1, \text{Print[Условие не выполняется]} \end{array} \right]$$

Условия применения формул выполняются

Принимаем толщину стенки крышки из стандартного ряда 16 мм [2, стр.441].

Расчет допускаемого давления определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{2\phi\sigma_{20}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}; \quad (3.2.6)$$

где

$S_{\text{эллипкрышки}}$ – исполнительная толщина эллиптической крышки;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_{20} - допускаемое напряжение при 20°C;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c- поправка на коррозию;

- При рабочих условиях:

$$P_1 = \frac{2\phi\sigma_{20}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 0,84 \text{ МПа};$$

- При условиях испытания:

$$P_2 = \frac{2\phi\sigma_{\text{исп}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 1,33 \text{ МПа};$$

Проверка выполнения условий прочности эллиптической крышки.

$$If = \left[\begin{array}{l} P_1 \geq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print [Условия прочности выполняются]}, \\ P_1 \leq P_{\text{рабрасч}}, \text{Print ["Условия прочности не выполняется"]} \end{array} \right]$$

Условия прочности выполняются

Исходя из выполненного условия принимаем толщину стенки эллиптической крышки 16 мм.

Толщина эллиптической крышки, мм:

$$S_{\text{эллипкрышки}} = 16 \text{ мм};$$

Длину отбортованной части крышки принимаем равной $h_1=100$ мм. Высоту выпуклой части крышки без учета цилиндрической части принимаем равной $h=800$ мм [8, стр.440].

3.3.3. Расчет штуцеров

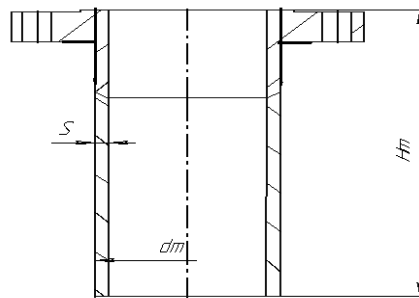


Рисунок. 3.3.3 Схема штуцера с плоским фланцем.

Таблица 3.3.1 - Таблица внутренних диаметров штуцеров

Обозначение	Наименование	Условный проход D_y , мм	Условное давление, P_y	
			МПа	кгс/см ²
А	Ввод нефти	300	1,6	16
Б1,2	Вывод нефти	250	1,6	16

Продолжение таблицы 3.3.1

В	Вывод соленой воды	200	1,6	16
Г1,2	Ввод высокого напряжения	150	1,6	16
Д1-3	Для выгрузки шлама	200	1,6	16
Е	Для предохранительного клапана	200	1,6	16
Ж	Для дренажа	300	1,6	16
И	Для вывода газа	50	1,6	16
К	Для продувки воздухом	50	1,6	16
Т	Для термомпары	50	1,6	16
Н1-3	Для отбора проб	50	1,6	16

Внутренние диаметры штуцеров, мм:

Для штуцера А, Ж:

$$d_1 = 300 \text{ мм}$$

Для штуцеров Б_{1,2}:

$$d_2 = 250 \text{ мм}$$

Для штуцера Г_{1,2}:

$$d_3 = 150 \text{ мм}$$

Для штуцера В, Д₁₋₃, Е:

$$d_4 = 200 \text{ мм}$$

Для штуцеров П_{1,2}, Н₁₋₄, У, М, Т, К:

$$d_5 = 50 \text{ мм}$$

Для штуцеров Л₁₋₂:

$$d_6 = 600 \text{ мм}$$

Для штуцеров С₁₋₂:

$$d_7 = 800 \text{ мм}$$

3.3.3.1. Расчет укрепления отверстия при внутреннем и внешнем давлениях

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, перехода или днища при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия рисунок 2.3.4 или кругового отверстия без штуцера, вычисляют по формуле, мм [5]:

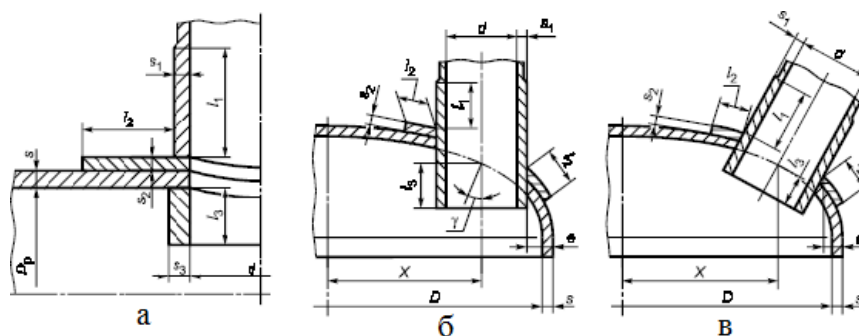


Рисунок 3.3.4. а - Схема соединения штуцера со стенкой сосуда; б, в - смещение штуцера на выпуклой крышке.

Расчетный диаметр штуцеров определяется по формуле:

$$d_{\text{рас}} = d + 2c; \quad (3.2.7)$$

где

d - внутренний диаметр штуцера, мм;

c - поправка на коррозию.

$$d_{\text{рас1}} = d_1 + 2c = 306 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас2}} = d_2 + 2c = 256 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас3}} = d_3 + 2c = 156 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас4}} = d_4 + 2c = 206 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас5}} = d_5 + 2c = 56 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас6}} = d_6 + 2c = 606 \text{ мм};$$

$$d_{\text{рас7}} = d_7 + 2c = 806 \text{ мм};$$

Расчет укрепления отверстий.

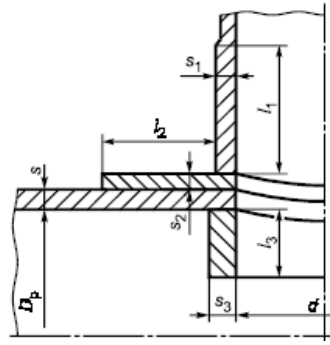


Рисунок 3.3.5. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда [6, стр.19].

Расчетные диаметры укрепляемых элементов определяются по формулам [5, стр.4]

- Расчетный внутренний диаметр для цилиндрической обечайки, мм:

- Для штуцеров А, Б_{1,2}, В, Г_{1,2}, Д₁₋₃, Е Ж, И, У, К, Т, М

$$D_{\text{расчобеч}} = D_{\text{вн}} = 3400;$$

- Для эллиптической крышки, мм:

Для штуцеров С_{1,2}, Н₁₋₃:

$$D_{\text{расчкрышки}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x}{D_{\text{вн}}}\right)^2}; \quad (3.2.8)$$

где

x - расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптической крышки;

$D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

Расстояния от центра укрепляемого отверстия до центра эллиптического днища;

$$x_1 = 200 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки1}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3\left(\frac{x_1}{D_{\text{вн}}}\right)^2} \right] = 6764,61 \text{ мм};$$

$$x_2 = 500 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки2}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_2}{D_{\text{вн}}} \right)^2} \right] = 6575,71 \text{ мм};$$

$$x_3 = 800 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки3}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_3}{D_{\text{вн}}} \right)^2} \right] = 6209,67 \text{ мм};$$

$$x_4 = 1100 \text{ мм};$$

$$N \left[D_{\text{расчкрышки4}} = 2D_{\text{вн}} \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_4}{D_{\text{вн}}} \right)^2} \right] = 5632,05 \text{ мм};$$

3.3.3.2. Расчет толщины стенок штуцеров

Расчет толщин стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляются по формуле, мм:

$$\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}; \quad (3.2.9)$$

где

$P_{\text{рабрасч}}$ – давление рабочее расчетное;

$D_{\text{вн}}$ - исполнительный внутренний диаметр цилиндрической обечайки;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре;

ϕ - коэффициент сварного шва;

c - поправка на коррозию;

- Для штуцеров $D_y=300$ мм:

$$S_{\text{шт500рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_1 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,748 \text{ мм};$$

Для штуцеров $D_y=250$ мм:

$$S_{\text{шт400рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_2 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_2 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,626 \text{ мм};$$

Для штуцеров $D_y=150$ мм:

$$S_{\text{шт150рас}} = \text{Max} \left[\frac{P_{\text{рабрасч}}(d_4 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{\text{рабрасч}}}, \frac{P_{\text{испрас}}(d_4 + 2c)}{2\sigma_{\text{исп}}\phi - P_{\text{испрас}}} \right] = 0,381 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=200$ мм:

$$S_{шт200рас} = \text{Max} \left[\frac{P_{рабрасч}(d_5 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{рабрасч}}, \frac{P_{испрас}(d_5 + 2c)}{2\sigma_{исп}\phi - P_{испрас}} \right] = 0,504 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=50$ мм:

$$S_{шт50рас} = \text{Max} \left[\frac{P_{рабрасч}(d_6 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{рабрасч}}, \frac{P_{испрас}(d_6 + 2c)}{2\sigma_{исп}\phi - P_{испрас}} \right] = 0,137 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=600$ мм:

$$S_{шт25рас} = \text{Max} \left[\frac{P_{рабрасч}(d_9 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{рабрасч}}, \frac{P_{испрас}(d_9 + 2c)}{2\sigma_{исп}\phi - P_{испрас}} \right] = 1,483 \text{ мм};$$

Для штуцеров $Dy=800$ мм:

$$S_{шт25рас} = \text{Max} \left[\frac{P_{рабрасч}(d_9 + 2c)}{2\sigma_t\phi - P_{рабрасч}}, \frac{P_{испрас}(d_9 + 2c)}{2\sigma_{исп}\phi - P_{испрас}} \right] = 1,972 \text{ мм};$$

Принимаем толщину стенки штуцера в соответствии с АТК 24.218.06 - 90, мм [6].

$$S_{шт300} = 10 \text{ мм};$$

$$S_{шт250} = 10 \text{ мм};$$

$$S_{шт150} = 6 \text{ мм};$$

$$S_{шт200} = 8 \text{ мм};$$

$$S_{шт50} = 4 \text{ мм};$$

$$S_{шт600} = 12 \text{ мм};$$

$$S_{шт800} = 12 \text{ мм};$$

Расчет диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, вычисляют по формуле [5].

$$d_0 = 0.4 \sqrt{D_{расчобеч}(S_{обечайкидейств} - c)}; \quad (3.2.10)$$

где

$D_{расчобеч}$ - расчетный диаметр цилиндрической обечайки, мм;

$S_{обечайкидейств}$ - исполнительная толщина обечайки, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

-Для цилиндрической обечайки, мм:

$$d_0 = 0.4 \sqrt{D_{\text{расчобеч}}(S_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 84,095 \text{ мм};$$

- Для эллиптической крышки, мм:

$$d_{p1} = 0.4 \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 118,619 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 0.4 \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 116,951 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 0.4 \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 113,649 \text{ мм};$$

$$d_{p4} = 0.4 \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 108,234 \text{ мм};$$

3.3.3.3. Расчетные длины штуцеров

Расчет длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстий учитываемые при расчете, мм.

$$l_{\text{шт}} = \text{Min} [l_1, 1.25 \sqrt{(d + 2c)(S_{\text{шт}} - c)}]; \quad (3.2.11)$$

где

d - внутренний диаметр штуцера, мм;

$S_{\text{шт}}$ - исполнительная толщина штуцера, мм;

c - поправка на коррозию, мм;

l_1 - исполнительная длина вылета штуцера.

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_1 = 300 \text{ мм};$$

Исполнительная длина внутренней части для штуцеров, мм:

$$l_2 = 50 \text{ мм};$$

- Для штуцеров $Dy=300$ мм:

$$l_{\text{шт300расч}} = \text{Min}[l_1, 1.25 \sqrt{(d_1 + 2c)(S_{\text{шт300}} - c)}] = 57.85 \text{ мм};$$

$$l_{2шт300расч} = \text{Min}[l_2, 0.5\sqrt{(d_1 + 2c)(S_{шт300} - c)}] = 23.14 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм [2]:

$$l_{1шт300} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт300расч}; l_1]] = 300 \text{ мм};$$

$$l_{2шт500} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт300расч}; l_2]] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X &= l_{1шт300расч}(S_{шт300} - S_{шт300расч} - c) + l_{2шт300расч}(S_{шт300} - c - c) \\ &= 454,204; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=300$ мм:

$$\text{If} = \begin{cases} X \geq 0.5(d_1 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X \leq 0.5(d_1 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{cases}$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров $Dy=250$ мм

$$l_{1шт250расч} = \text{Min}[l_1, 1.25\sqrt{(d_2 + 2c)(S_{шт250} - c)}] = 52,915 \text{ мм};$$

$$l_{2шт250расч} = \text{Min}[l_2, 0.5\sqrt{(d_2 + 2c)(S_{шт250} - c)}] = 21,166 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт250} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт250расч}, l_1]] = 300 \text{ мм};$$

$$l_{2шт250} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт250расч}, l_2]] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X1 &= l_{1шт250расч}(S_{шт250} - S_{шт250расч} - c) + l_{2шт250расч}(S_{шт250} - c - c) \\ &= 421,917; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=250$ мм:

$$\text{If} = \begin{cases} X1 \geq 0.5(d_2 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X1 \leq 0.5(d_2 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{cases}$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров $Dy=150$ мм

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_{1шт150расч} = \text{Min}[l_1, 1.25\sqrt{(d_3 + 2c)(S_{шт150} - c)}] = 27,0416 \text{ мм};$$

$$l_{2шт150расч} = \text{Min}[l_2, 0.5\sqrt{(d_3 + 2c)(S_{шт150} - c)}] = 10,816 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт150} = \text{Max}[l_{1шт150расч}, l_1] = 300 \text{ мм};$$

$$l_{2шт150} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт150расч}, l_2]] = 50 \text{ мм};$$

$$X2 = l_{1шт150расч}(S_{шт150} - S_{шт150расч} - c) + l_{2шт150расч}(S_{шт150} - c - c) = 70,8;$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров Ду=150 мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X2 \geq 0.5(d_3 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X2 \leq 0.5(d_3 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров Ду=200:

$$l_{1шт200расч} = \text{Min} \left[l_1, 1.25\sqrt{(d_4 + 2c)(S_{шт200} - c)} \right] = 40,117 \text{ мм};$$

$$l_{2шт200расч} = \text{Min} [l_2, 0.5\sqrt{(d_4 + 2c)(S_{шт200} - c)}] = 16,046 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт200} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт200расч}, l_1]] = 300 \text{ мм};$$

$$l_{2шт200} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт200расч}, l_2]] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X3 &= l_{1шт200расч}(S_{шт200} - S_{шт200расч} - c) + l_{2шт200расч}(S_{шт200} - c - c) \\ &= 212,453; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров Ду=200 мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X3 \geq 0.5(d_4 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X3 \leq 0.5(d_4 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров Ду=50:

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_{1_600} = 350 \text{ мм};$$

Исполнительная длина внутренней части для штуцеров, мм:

$$l_{2_600} = 50 \text{ мм};$$

$$l_{1шт50расч} = \text{Min} [l_{1_50}, 1.25\sqrt{(d_5 + 2c)(S_{шт50} - c)}] = 9,35 \text{ мм};$$

$$l_{2шт50расч} = \text{Min} [l_{2_50}, 0.5\sqrt{(d_5 + 2c)(S_{шт50} - c)}] = 3,74 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт50} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт50расч}, l_{1_50}]] = 350 \text{ мм};$$

$$l_{2шт50} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт50расч}, l_{2_50}]] = 50 \text{ мм};$$

$$X4 = l_{1шт50расч}(S_{шт50} - S_{шт50расч} - c) + l_{2шт50расч}(S_{шт50} - c - c) = 0,588;$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=50$ мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X4 \geq 0.5(d_5 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X4 \leq 0.5(d_5 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий не требуется

- Для штуцеров $Dy=600$:

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_{1_600} = 400 \text{ мм};$$

Исполнительная длина внутренней части для штуцеров, мм:

$$l_{2_600} = 60 \text{ мм};$$

$$l_{1шт600расч} = \text{Min}[l_{1_600}, 1.25\sqrt{(d_6 + 2c)(S_{шт600} - c)}] = 92,314 \text{ мм};$$

$$l_{2шт600расч} = \text{Min}[l_{2_600}, 0.5\sqrt{(d_6 + 2c)(S_{шт600} - c)}] = 36,925 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт600} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт600расч}, l_{1_600}]] = 400 \text{ мм};$$

$$l_{2шт600} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт600расч}, l_{2_600}]] = 60 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X5 &= l_{1шт600расч}(S_{шт600} - S_{шт600расч} - c) + l_{2шт600расч}(S_{шт600} - c - c) \\ &= 915,469; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=600$ мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X5 \geq 0.5(d_6 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X5 \leq 0.5(d_6 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

- Для штуцеров $Dy=800$:

Исполнительная длина внешней части для штуцеров, мм:

$$l_{1_800} = 400 \text{ мм};$$

Исполнительная длина внутренней части для штуцеров, мм:

$$l_{2_800} = 50 \text{ мм};$$

$$l_{1шт800расч} = \text{Min}[l_{1_800}, 1.25\sqrt{(d_7 + 2c)(S_{шт800} - c)}] = 106,463 \text{ мм};$$

$$l_{2шт800расч} = \text{Min}[l_{2800}, 0.5\sqrt{(d_7 + 2c)(S_{шт800} - c)}] = 42,585 \text{ мм};$$

Принимаем вылет штуцеров, мм:

$$l_{1шт800} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{1шт800расч}, l_{1800}]] = 400 \text{ мм};$$

$$l_{2шт800} = \text{Ceiling}[\text{Max}[l_{2шт800расч}, l_{2800}]] = 50 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} X6 &= l_{1шт800расч}(S_{шт800} - S_{шт800рас} - c) + l_{2шт800расч}(S_{шт800} - c - c) \\ &= 1003,67; \end{aligned}$$

Условие укрепления отверстия для штуцеров $Dy=800$ мм:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} X6 \geq 0.5(d_7 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий не требуется}"], \\ X6 \leq 0.5(d_7 - d_0)s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Укрепления отверстий требуется}"] \end{array} \right]$$

Укрепление отверстий требуется

Таким образом укрепления отверстия не требуется для штуцеров с условным диаметром $Dy=50$, а для штуцера $Dy=300$, $Dy=250$, $Dy=150$, $Dy=200$, $Dy=600$, $Dy=800$ требуется укрепление отверстия.

В качестве укрепляемого элемента используем накладное кольцо. Исполнительная толщина накладного кольца (при условии, что толщина накладного кольца $s_{кольца}$ равна половине толщины стенки обечайки.

Ширина накладного кольца, мм:

$$s_{кольца} = s_{обечайкидейств} \cdot 0,5 = 8 \text{ мм};$$

3.3.3.4. Расчет ширины зоны укрепление отверстий

Ширину зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах вычисляют по формуле, мм [5]:

$$L_{орасч} = \sqrt{D_{расч}(s_{обечайкидейств} - c)}; \quad (3.2.12)$$

где

$D_{расч}$ - расчетный внутренний диаметр укрепляемого элемента, мм;

$s_{обечайкидейств}$ - исполнительная толщина стенки обечайки или крышки, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

- Расчет ширины зоны укрепления отверстия в цилиндрической обечайке, мм:

$$L_{\text{орасчобечайки}} = \sqrt{D_{\text{расчобеч}}(s_{\text{обечайкидейств}} - c)} = 210,238 \text{ мм};$$

Расчет ширины зоны укрепления отверстия в эллиптической крышке, мм:

$$L_{\text{орасчкрышки1}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 296,54 \text{ мм};$$

$$L_{\text{орасчкрышки2}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 292,37 \text{ мм};$$

$$L_{\text{орасчкрышки3}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 284,12 \text{ мм};$$

$$L_{\text{орасчкрышки4}} = \sqrt{D_{\text{расчкрышки1}}(S_{\text{эллипкрышки}} - c)} = 270,58 \text{ мм};$$

- Расчетную ширину накладного кольца вычисляют по формуле, мм [5]:

$$L_{\text{кольца}} = \sqrt{D_{\text{расч}}(s_{\text{обечайкидейств}} + s_{\text{кольца}} - c);} \quad (3.2.13)$$

где

$D_{\text{расч}}$ - расчетный внутренний диаметр укрепляемого элемента, мм;

$s_{\text{обечайкидейств}}$ - исполнительная толщина стенки обечайки или крышки, мм;

$s_{\text{кольца}}$ - исполнительная толщина накладного кольца, мм;

c - поправка на коррозию, мм.

В случае укрепления накладным кольцом, ширина зоны укрепления принимается рассчитывается по формуле, мм:

$$L_{\text{кольца}} = \sqrt{D_{\text{расчобеч}}(s_{\text{обечайкидейств}} + s_{\text{кольца}} - c)} = 267,208 \text{ мм};$$

$$L_{\text{расчкольца}} = \text{Ceiling}[L_{\text{кольца}}] = 268 \text{ мм};$$

Отношения допускаемых напряжений.

Исходя из того, что внешняя часть штуцера и накладное кольцо состоят из одного и того же материала, что и обечайка, принимаем:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_t = 172,125 \text{ МПа};$$

- Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_t} = 1;$$

- Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_t} = 1;$$

- Для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_t} = 1;$$

В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера либо накладным кольцом, торообразной вставкой, вварным кольцом.

Принимаем укрепление отверстий накладным кольцом для штуцеров с условным проходом $Dy=300$, $Dy=250$, $Dy=150$, $Dy=200$, $Dy=600$, $Dy=800$.

- Для штуцера $Dy=300$ мм:

$$A_{1_300} = l_{1шт300расч}(S_{шт300} - S_{шт300рас} - c)\chi_1 = 67,616;$$

$$A_{2_300} = L_{расчкольца}S_{кольца}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_300} = l_{2шт300расч}(S_{шт300} - S_{шт300рас} - c)\chi_3 = 577,065;$$

$$A_{4_300} = L_{расчкольца}(S_{обечайкидейств} - S_{расчобечайки} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_300} = 0.5(d_{рас1} - d_0)s_{обечайкидейств} = 1775,24;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_300} + A_{2_300} + A_{3_300} + A_{4_300} \geq A_{5_300}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_300} + A_{2_300} + A_{3_300} + A_{4_300} \leq A_{5_300}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=250$ мм:

$$A_{1_250} = l_{1шт250расч}(S_{шт250} - S_{шт250рас} - c)\chi_1 = 337,253;$$

$$A_{2_250} = L_{расчкольца}S_{кольца}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_250} = l_{2шт250расч}(S_{шт250} - S_{шт250рас} - c)\chi_3 = 134,901;$$

$$A_{4_250} = L_{расчкольца}(S_{обечайкидейств} - S_{расчобечайки} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_250} = 0.5(d_{рас2} - d_0)s_{обечайкидейств} = 1375,24;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{250}} + A_{2_{250}} + A_{3_{250}} + A_{4_{250}} \geq A_{5_{250}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{250}} + A_{2_{250}} + A_{3_{250}} + A_{4_{250}} \leq A_{5_{250}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=150$ мм:

$$A_{1_{150}} = l_{1\text{шт}150\text{расч}}(S_{\text{шт}150} - S_{\text{шт}150\text{рас}} - c)\chi_1 = 70,8;$$

$$A_{2_{150}} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_{150}} = l_{2\text{шт}150\text{расч}}(S_{\text{шт}150} - S_{\text{шт}150\text{рас}} - c)\chi_3 = 28,32;$$

$$A_{4_{150}} = L_{\text{расчкольца}}(s_{\text{обечайкидейств}} - s_{\text{расчобечайки}} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_{150}} = 0.5(d_{\text{рас}3} - d_0)s_{\text{обечайкидейств}} = 575,24;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{150}} + A_{2_{150}} + A_{3_{150}} + A_{4_{150}} \geq A_{5_{150}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{150}} + A_{2_{150}} + A_{3_{150}} + A_{4_{150}} \leq A_{5_{150}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=200$ мм:

$$A_{1_{200}} = l_{1\text{шт}200\text{расч}}(S_{\text{шт}200} - S_{\text{шт}200\text{рас}} - c)\chi_1 = 180,36;$$

$$A_{2_{200}} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_{200}} = l_{2\text{шт}200\text{расч}}(S_{\text{шт}200} - S_{\text{шт}200\text{рас}} - c)\chi_3 = 72,144;$$

$$A_{4_{200}} = L_{\text{расчкольца}}(s_{\text{обечайкидейств}} - s_{\text{расчобечайки}} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_{200}} = 0.5(d_{\text{рас}4} - d_0)s_{\text{обечайкидейств}} = 975,24;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_{200}} + A_{2_{200}} + A_{3_{200}} + A_{4_{200}} \geq A_{5_{200}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_{200}} + A_{2_{200}} + A_{3_{200}} + A_{4_{200}} \leq A_{5_{200}}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=600$ мм:

$$A_{1_{600}} = l_{1\text{шт}600\text{расч}}(S_{\text{шт}600} - S_{\text{шт}600\text{рас}} - c)\chi_1 = 693,915;$$

$$A_{2_{600}} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_600} = l_{2\text{шт}600\text{расч}}(S_{\text{шт}600} - S_{\text{шт}600\text{рас}} - c)\chi_3 = 277,566;$$

$$A_{4_600} = L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - S_{\text{расчобечайки}} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_600} = 0.5(d_{\text{рас}6} - d_0)s_{\text{обечайкидейств}} = 4175,24;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_600} + A_{2_600} + A_{3_600} + A_{4_600} \geq A_{5_600}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_600} + A_{2_600} + A_{3_600} + A_{4_600} \leq A_{5_600}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=800$ мм:

$$A_{1_800} = l_{1\text{шт}800\text{расч}}(S_{\text{шт}800} - S_{\text{шт}800\text{рас}} - c)\chi_1 = 748,161;$$

$$A_{2_800} = L_{\text{расчкольца}}S_{\text{кольца}}\chi_2 = 2144;$$

$$A_{3_800} = l_{2\text{шт}800\text{расч}}(S_{\text{шт}800} - S_{\text{шт}800\text{рас}} - c)\chi_3 = 299,265;$$

$$A_{4_800} = L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - S_{\text{расчобечайки}} - c) = 1253,97;$$

$$A_{5_800} = 0.5(d_{\text{рас}7} - d_{\text{р}3})s_{\text{обечайкидейств}} = 5538,81;$$

Условие укрепления:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} A_{1_800} + A_{2_800} + A_{3_800} + A_{4_800} \geq A_{5_800}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ A_{1_800} + A_{2_800} + A_{3_800} + A_{4_800} \leq A_{5_800}, \text{Print}["\text{Требуется увеличить толщину} \\ \text{накладного кольца}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

3.3.3.5. Расчет допускаемого избыточного давления штуцеров

Допускаемое внутреннее избыточное давление для штуцеров рассчитывают по формула, МПа:

$$P_{1\text{штраб}} = \frac{2K(S_{\text{шт}} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт}} - c)V} V; \quad (3.2.14)$$

где

K - коэффициент для цилиндрических и конических обечаек;

$S_{\text{шт}}$ - исполнительная толщина стенки штуцера, мм;

c - поправка на коррозию, мм;

ϕ - коэффициент прочности сварного шва;

σ_t - допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа;

$D_{\text{расчобеч}}$ - внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм;

V - коэффициент понижения прочности;

- Для цилиндрических и конических обечаек $K=2$:

- Для штуцеров $Dy=300$:

$$W_{300} = \frac{A_{1_300} + A_{2_300} + A_{3_300}}{L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - c)} + 1 = 1,98; \quad (3.2.15)$$

Коэффициент понижения прочности:

$$V_{300} = \text{Min} \left[1; \frac{W_{300}}{1 + 0.5 \frac{d_{\text{расч1}} - d_0}{L_{\text{расчкольца}}} + K \frac{d_1 + 2c}{D_{\text{расчобеч}}} \frac{\phi}{\phi} \frac{l_{1\text{штуц300}}}{L_{\text{расчкольца}}}} \right] = 1,367; \quad (3.2.16)$$

- При рабочих условиях, МПа:

$$P_{1\text{штураб}} = \frac{2K(S_{\text{штуц300}} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{штуц300}} - c)V_{300}} V_{300} = 1,933 \text{ МПа};$$

Условие:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{рабрасч}} \leq P_{1\text{штураб}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ P_{\text{рабрасч}} \geq P_{1\text{штураб}}, \text{Print}["\text{Штуцер не выдерживает давление в аппарате}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- При условиях испытания, МПа:

$$P_{1\text{штуисп}} = \frac{2K(S_{\text{штуц300}} - c)\phi\sigma_{\text{исп}}}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{штуц300}} - c)V_{300}} V_{300} = 3,063 \text{ МПа};$$

Условие:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{испрас}} \leq P_{1\text{штуисп}}, \text{Print}["\text{Условие выполнено}"], \\ P_{\text{испрас}} \geq P_{1\text{штуисп}}, \text{Print}["\text{Штуцер не выдерживает давление в аппарате}"] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- Для штуцера $Dy=800$:

$$W_{800} = \frac{A_{1_800} + A_{2_800} + A_{3_800}}{L_{\text{расчкольца}}(S_{\text{обечайкидейств}} - c)} + 1 = 2,84;$$

Коэффициент понижения прочности:

$$V_{800} = \text{Min}\left[\frac{W_{800}}{1 + 0.5 \frac{d_{\text{рас7}} - d_{\text{рз}}}{L_{\text{расчкольца}}} + K \frac{d_7 + 2c}{D_{\text{расчобеч}}} \frac{\phi}{\phi} \frac{l_{1\text{шт800}}}{L_{\text{расчкольца}}}\right] = 0,946;$$

- При рабочих условиях, МПа:

$$P_{2\text{шттраб}} = \frac{2K(S_{\text{шт800}} - c)\phi\sigma_t}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт800}} - c)V_{800}} V_{800} = 1,72 \text{ МПа};$$

Условие:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{рабрасч}} \leq P_{2\text{шттраб}}, \text{Print}[\text{"Условие выполнено"}], \\ P_{\text{рабрасч}} \geq P_{2\text{шттраб}}, \text{Print}[\text{"Штуцер не выдерживает давление в аппарате"}] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

- При условиях испытания, МПа:

$$P_{2\text{штисп}} = \frac{2K(S_{\text{шт800}} - c)\phi\sigma_{\text{исп}}}{D_{\text{расчобеч}} + (S_{\text{шт800}} - c)V_{800}} V_{800} = 2,726 \text{ МПа};$$

Условие:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} P_{\text{испрас}} \leq P_{2\text{штисп}}, \text{Print}[\text{"Условие выполнено"}], \\ P_{\text{испрас}} \geq P_{2\text{штисп}}, \text{Print}[\text{"Штуцер не выдерживает давление в аппарате"}] \end{array} \right]$$

Условие выполнено

3.3.4. Расчет фланцевого соединения

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С, 16ГС.

Материал шпилек - сталь 40Х.

Материал прокладки - паронит ПБМ.

Расчет производится в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007 [7].

Так как производство пожаро-взрывоопасное, выбираем фланцевое соединение типа "выступ - впадина" с плоским фланцем для обеспечения герметичности фланцевого соединения [7, стр.7].

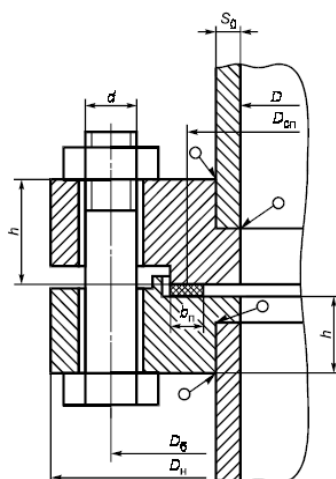


Рисунок 3.3.6. Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ - впадина

Конструктивные размеры фланца.

Внутренний диаметр, мм

$$d_7 = 800 \text{ мм};$$

Толщину втулки принимаем равной исполнительной толщине штуцера, мм:

$$S_{шт800} = s_{вт} = 12 \text{ мм};$$

Длина конической втулки фланца, мм:

$$S_1 = 23 \text{ мм};$$

Длина конической втулки фланца, мм:

$$l_{втулки} = 30 \text{ мм};$$

Толщина тарелки фланца, мм:

$$h_{толщфл} = 35 \text{ мм};$$

Внутренний диаметр фланца, мм:

$$D_{флвн} = 824 \text{ мм};$$

Наружный диаметр фланца, мм:

$$D_{флн} = 945 \text{ мм};$$

Диаметр окружности расположения шпилек, мм:

$$D_6 = 905 \text{ мм};$$

Количество шпилек:

$$n = 40;$$

Условие применимости [7, стр.9]:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \frac{D_{\text{флн}}}{D_{\text{флвн}}} \leq 5, \text{Print}["\text{Условие выполняется}], \\ \frac{D_{\text{флн}}}{D_{\text{флвн}}} \geq 5, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

Высота фланца, мм:

$$h_{\text{высфл}} = 35 \text{ мм};$$

Нормативный параметр [7, стр.30]

$$e_{\text{нп}} = 30;$$

Наружный диаметр прокладки рассчитывается по формуле, мм

[7, стр.11]

$$D_{\text{нарпр}} = D_{\text{б}} - e_{\text{нп}} ; \quad (3.2.17)$$

где

$D_{\text{б}}$ - диаметр окружности расположения шпилек;

$e_{\text{нп}}$ - нормативный параметр;

$$D_{\text{нарпр}} = D_{\text{б}} - e_{\text{нп}} = 875 \text{ мм};$$

Ширина прокладки, мм [7, стр.30] :

$$b_{\text{пр}} = 20 \text{ мм};$$

Эффективная ширина прокладки, мм:

$$b_{\text{прэф}} = \text{Ceiling}[b_{\text{пр}} \leq 15; (3.8\sqrt{b_{\text{пр}}})] = 17 \text{ мм};$$

Таблица 3.3.2 - Характеристика основных типов прокладок [7]

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент, m	Удельное давление обжатия прокладки, $q_{\text{обж}}$, МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэф-нт обжатия $K_{\text{обж}}$	Условный модуль сжатия прокладки $E_{\text{п}} \cdot 10^5$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из:					

Продолжение таблицы 3.3.2

Резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2	18	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} (1+b_{\Pi} / 2h_{\Pi})$
(Резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1	4	20	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} (1+b_{\Pi} / 2h_{\Pi})$
Паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2-3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02
Картон асбестового по ГОСТ 2850 при толщине 1-3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02
Фторопласта 4 по ТУ 6-05-810 при толщине не более 1-3 мм	2,5	10	40	1	0,02

Из таблицы 3.3.2. выбираем характеристики прокладки изготовленной из паронита по ГОСТ 481.

Прокладочный коэффициент:

$$m = 2.5;$$

Удельное давление обжатия прокладки, МПа:

$$q_{обж} = 20;$$

Допускаемое удельное давление, МПа:

$$q_{д} = 130 \text{ МПа};$$

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

$$R_{\Pi} = \pi D_{срп} b_{прэф} \cdot m \cdot P_{раб} = 91326,1 \text{ Н}; \quad (3.2.18)$$

Средний диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{српр}} = D_{\text{нарпр}} - b_{\text{пр}} = 855 \text{ мм}; \quad (3.2.19)$$

Нагрузки, действующие на фланец.

- Равнодействующая нагрузка от давления, Н [7, стр.11]

$$Q_{\text{д}} = P_{\text{раб}} \frac{\pi D_{\text{српр}}^2}{4} = 459317 \text{ Н}; \quad (3.2.20)$$

Осевое сжимающие усилие, Н:

$$F = - \left(0.6 \left(\pi \frac{\left(\frac{D_{\text{флвн}}}{1000} \right)^2}{4} \right) 10^6 \right) = -319960 \text{ Н}; \quad (3.2.21)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, Н:

$$Q_{\text{FM}} = \text{Abs} \left[\text{Max} \left[F + \frac{4}{D_{\text{српр}}}; F - \frac{4}{D_{\text{српр}}} \right] \right] = 319960 \text{ Н}; \quad (3.2.22)$$

Коэффициент линейного расширения материала фланцев, [7, стр.29]

$$\alpha_{\text{фл1}} = 13.4 \cdot 10^{-6};$$

$$\alpha_{\text{фл2}} = \alpha_{\text{фл1}} = 13.4 \cdot 10^{-6};$$

Коэффициент линейного расширения материала шпилек:

$$\alpha_{\text{б}} = 11,3 \cdot 10^{-6};$$

$$t = 20;$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\text{фл}} = 0.96t = 19,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{фл1}} = t_{\text{фл}} = 19,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

Расчетная температура шпилек:

$$N[t_{\text{б}} = 0.85t] = 17 \text{ }^\circ\text{C};$$

Допускаемое напряжение для стали 40Х при $t=20^\circ\text{C}$, МПа:

$$\sigma = 230 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости для шпилек из стали 40X при рабочей температур, МПа:

$$E_6 = 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Площадь поперечного сечения шпильки, мм²:

$$f_6 = 245 \text{ мм}^2;$$

Суммарная площадь шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра, мм²:

$$A_6 = n f_6 = 9800 \text{ мм}^2; \quad (3.2.23)$$

Для шпилек диаметром $d_B=20$ мм, принимаем диаметр отверстия под шпильки равным $d_{отв}=22$ мм.

$$d_B = 20 \text{ мм};$$

Модуль упругости для стали 40X при температуре испытания 20°C, МПа:

$$E_{620} = 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости материала фланца, МПа:

$$E_1 = 2.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E_2 = E_1 = 2.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Модуль продольной упругости материала фланца при 20°C, МПа:

$$E_{L1} = 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

3.3.4.1. Расчет податливости прокладки

Высота стандартной прокладки, мм:

$$h_{\Pi} = 3 \text{ мм};$$

Коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{обж} = 1;$$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа:

$$E_{\Pi} = 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Податливость прокладки рассчитывают по формуле, мм/Н:

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi} K_{обж}}{E_{\Pi} \pi D_{српр} b_{пр}}; \quad (3.2.24)$$

где

$b_{пр}$ - эффективная ширина прокладки;

$D_{српр}$ - средний диаметр прокладки;

$h_{п}$ - высота прокладки;

$K_{обж}$ - коэффициент обжатия прокладки;

$E_{п}$ - условный модуль сжатия прокладки.

$$y_{п} = \frac{h_{п} K_{обж}}{E_{п} \pi D_{српр} b_{пр}} = 2,79 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}; \quad (3.2.25)$$

3.3.4.2. Расчет податливости шпилек

Расстояние между опорными поверхностями гаек, мм:

$$L_{60} = 79 \text{ мм};$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости, мм:

$$L_{6} = L_{60} + 0.56d_{в} = 90,2 \text{ мм}; \quad (3.2.26)$$

Податливость шпилек рассчитывают по формуле, мм/Н:

$$y_{6} = \frac{L_{6}}{E_{620} f_{6} n}; \quad (3.2.27)$$

где

L_{6} - эффективная длина шпильки;

E_{620} - модуль упругости для стали;

f_{6} - площадь поперечного сечения шпильки;

n - количество шпилек;

$$y_{6} = \frac{L_{6}}{E_{620} f_{6} n} = 4,22 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}; \quad (3.2.28)$$

3.3.4.3. Расчет параметров фланцев

Параметр длины втулки, мм:

$$N \left[L_{\text{ДЛВТ}} = \sqrt{S_{\text{ВТ}} D_{\text{ФЛВН}}} \right] = 99,44 \text{ мм}; \quad (3.2.29)$$

Расчетный коэффициент β_v , зависящий от соотношения размеров втулки фланца определяют по рисунку 3.3.7 [7, стр.34] в зависимости от:

$$N \left[\beta = \frac{S_1}{S_{\text{ВТ}}} \right] = 1,916; \quad (3.2.30)$$

$$N \left[\frac{l_{\text{ВТУЛКИ}}}{L_{\text{ДЛВТ}}} \right] = 0,301; \quad (3.2.31)$$

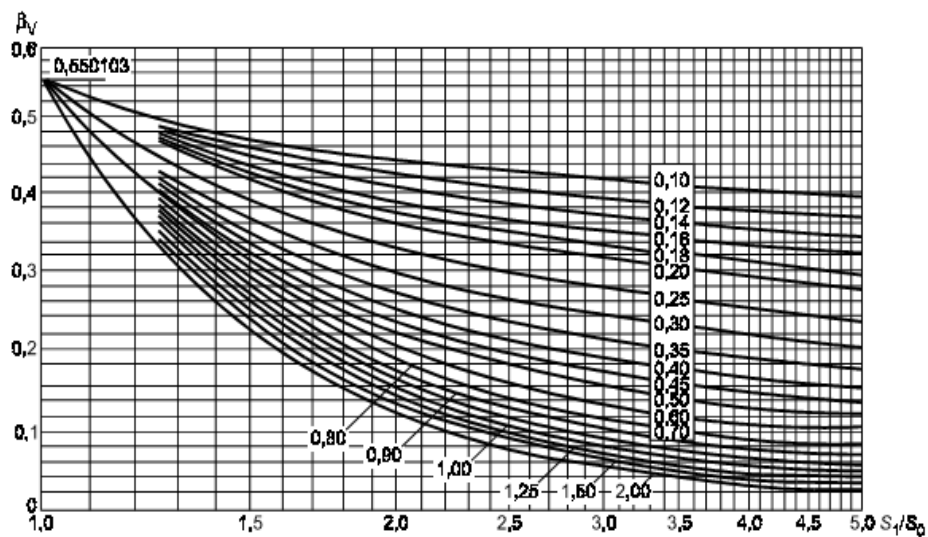


Рисунок 3.3.7. Определение коэффициента β_v .

Исходя из рисунка, коэффициент $\beta_v = 0,19$.

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру вычисляют по формуле:

$$N \left[K1 = \frac{D_{\text{ФЛН}}}{D_{\text{ФЛВН}}} \right] = 1,146; \quad (3.2.32)$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T = \frac{K1^2(1 + 8.55 \text{Log}[10, K1]) - 1}{(1.05 + 1.945K1^2)(K1 - 1)} = 1,857; \quad (3.2.33)$$

$$\beta_U = \frac{K1^2(1 + 8.55 \text{Log}[10, K1]) - 1}{1.36(K1^2 - 1)(K1 - 1)} = 15,63; \quad (3.2.34)$$

$$\beta_{\gamma} = \frac{1}{(K1 - 1)} \left(0.69 + 5.72 \frac{K1^2 \text{Log}[10, K1]}{(K1^2 - 1)} \right) = 14,36; \quad (3.2.35)$$

$$N \left[\beta_z = \frac{K1^2 + 1}{K1^2 - 1} \right] = 7,34; \quad (3.2.36)$$

Расчетный коэффициент β_F , зависящий от соотношения размеров втулки фланца, определяем по рисунку 3.3.8 [7, стр.34]:

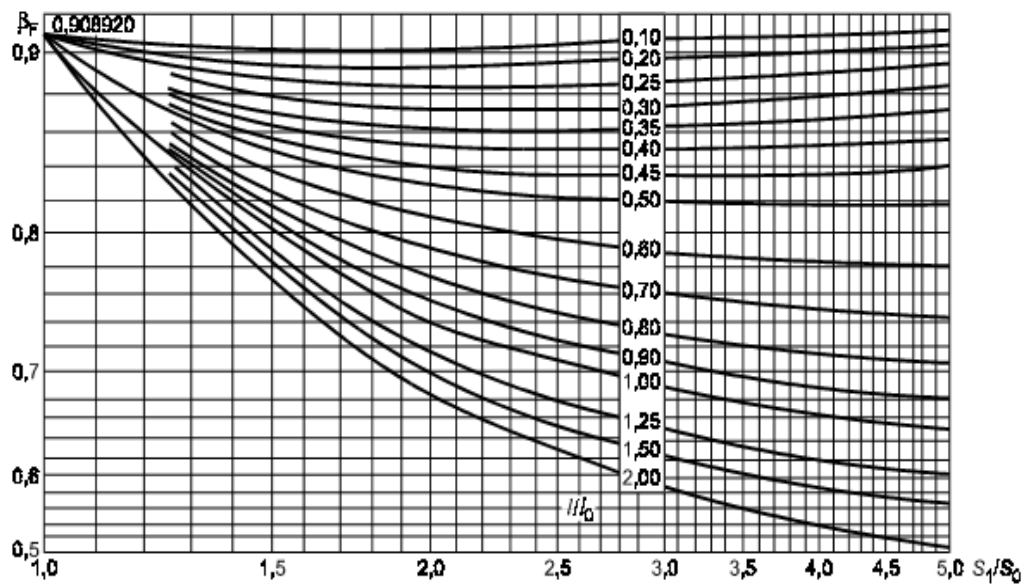


Рисунок 3.3.8. Определение коэффициента β_F

Исходя из рисунка, коэффициент $\beta_F=0,88$.

Поправочный коэффициент f для напряжений во втулке фланца определяется из рисунка 3.3.9:

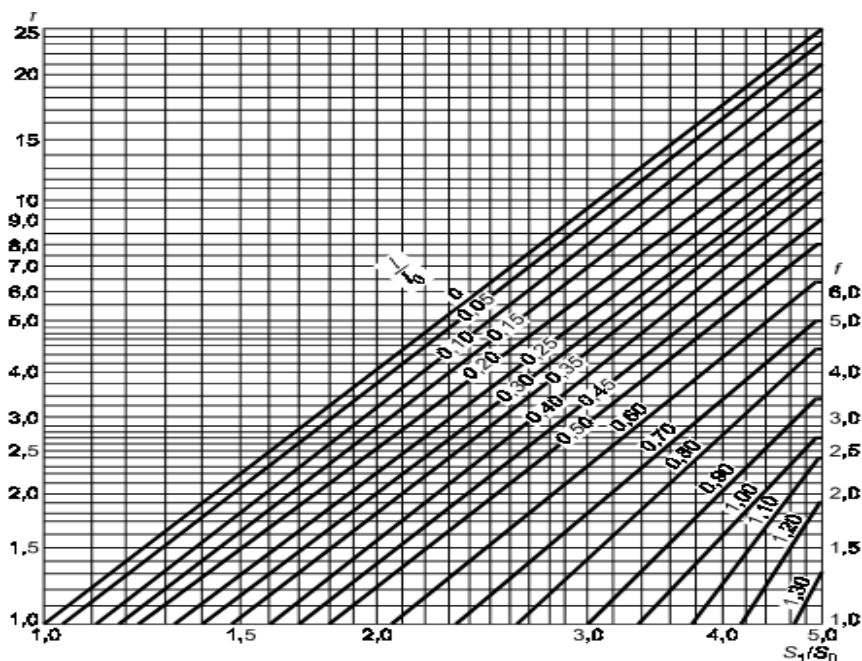


Рисунок 3.3.9. Поправочный коэффициент f для напряжений во втулке фланца.

Исходя из рисунка, поправочный коэффициент $f = 2$.

Рассчитываем коэффициент λ по формуле:

$$\lambda = \frac{\beta_F h_{\text{толщфл}} + L_{\text{длвт}}}{\beta_T L_{\text{длвт}}} + \frac{\beta_v h_{\text{толщфл}}^3}{\beta_U L_{\text{длвт}} S_{\text{вт}}^2}; \quad (3.2.37)$$

где

β_v – коэффициент зависящий от размеров втулки фланца;

$h_{\text{толщфл}}$ – высота фланца;

$\beta_T, \beta_v, \beta_U$ – коэффициенты зависящие от размеров тарелки фланца;

$L_{\text{длвт}}$ – количество шпилек;

$S_{\text{вт}}$ – толщина втулки;

$$\lambda = \frac{\beta_F h_{\text{толщфл}} + L_{\text{длвт}}}{\beta_T L_{\text{длвт}}} + \frac{\beta_v h_{\text{толщфл}}^3}{\beta_U L_{\text{длвт}} S_{\text{вт}}^2} = 0,735;$$

3.3.4.5. Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланцев при затяжке рассчитывается по формуле:

$$y_{\phi} = \frac{0.91\beta_v}{E_{\sigma 20}\lambda L_{\text{длвт}}(s_{\text{вт}})^2}; \quad (3.2.38)$$

где

β_v – коэффициент зависящий от размеров втулки фланца;

$E_{\sigma 20}$ - модуль упругости для стали;

λ - коэффициент;

$L_{\text{длвт}}$ - количество шпилек;

$s_{\text{вт}}$ - толщина втулки;

$$y_{\phi} = \frac{0.91\beta_v}{E_{\sigma 20}\lambda L_{\text{длвт}}(s_{\text{вт}})^2} = 7,53 \cdot 10^{-11};$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\text{фн}} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_6}{E_{\sigma 20} h_{\text{толщфл}}^3 D_{\text{флн}}}; \quad (3.2.39)$$

где

D_6 – диаметр окружности расположения шпилек;

$E_{\sigma 20}$ - модуль упругости для стали;

$h_{\text{толщфл}}$ – высота фланца;

$D_{\text{флн}}$ - наружный диаметр фланца;

$$y_{\text{фн}} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_6}{E_{\sigma 20} h_{\text{толщфл}}^3 D_{\text{флн}}} = 4.96 \cdot 10^{-11};$$

Угловую податливость плоской крышки вычисляют по формуле:

$$X_{\text{кр}} = 0.67 \frac{K_{\text{кр}}^2 (1 + 8.55[10, K_{\text{кр}}] - 1)}{(K_{\text{кр}} - 1)(K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857K_{\text{кр}}^2 + 1) \frac{h_{\text{кр}}^3}{\delta_{\text{кр}}})}; \quad (3.2.40)$$

где

$K_{\text{кр}}$ – отношение наружного диаметра плоской крышки к среднему диаметру прокладки;

$$N \left[K_{кр} = \frac{D_{флн}}{D_{нарпр}} \right] = 1,08; \quad (3.2.41)$$

$h_{кр}$ толщина крышки;

$$h_{кр} = 50 \text{ мм};$$

$\delta_{кр}$ – толщина фланцевой части;

$$\delta_{кр} = 39 \text{ мм};$$

$$X_{кр} = 0.67 \frac{K_{кр}^2 (1 + 8.55 \text{Log}[10, K_{кр}] - 1)}{(K_{кр} - 1)(K_{кр}^2 - 1 + (1.857 K_{кр}^2 + 1) \frac{h_{кр}^3}{\delta_{кр}})} = 0.000275;$$

Угловая податливость:

$$y_{кр} = \frac{X_{кр}}{E_{б20} \delta_{кр}^2} = 8,29 \cdot 10^{-13}; \quad (3.2.42)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$G_F = \sqrt{\frac{\pi D_б}{n(2d_b + (\frac{6h_{толщфл}}{m + 0.5}))}} = 0,803; \quad (3.2.43)$$

Плечо действия усилий в шпильках, мм:

$$b = 0.5(D_б - D_{српр}) = 25 \text{ мм}; \quad (3.2.44)$$

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

$$e = 0.5(D_{српр} - D_{флвн} - s_{вт}) = 9,5; \quad (3.2.45)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения с крышкой:

$$\gamma = \frac{1}{y_{п} + y_б \frac{E_{б20}}{E_б} + (y_{ф} \frac{E_{L1}}{E_1} + y_{кр} \frac{E_{L1}}{E_2}) b^2} = 8,44 \cdot 10^6; \quad (3.2.46)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для соединения фланца с плоской крышкой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{п} - (e y_{ф} + y_{кр} b) b}{y_{п} + y_б + b^2 (y_{ф} + y_{кр})} = 0,919; \quad (3.2.47)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M = \frac{y_{\delta} + 2y_{\text{фн}}b(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{српр}}})}{y_{\text{п}} + y_{\delta}(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{српр}}})^2 + 2y_{\text{фн}}b^2} = 0,93; \quad (3.2.48)$$

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

$$t_{\text{кр}} = t = 20^{\circ}\text{C};$$

$$Q_t = \gamma \left(\alpha_{\text{фл1}} \cdot h_{\text{толщфл}}(t_{\text{фл}} - 20) + \alpha_{\text{фл1}} \cdot h_{\text{кр}}(t_{\text{кр}} - 20) - \alpha_{\delta}(h_{\text{толщфл}} + h_{\text{кр}})(t_{\delta} - 20) \right) = 21163,5 \text{ H}; \quad (3.2.49)$$

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

$$P_{\delta 1} = \text{Max} \left[\left\{ \alpha(Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4\alpha_M}{D_{\text{нарпр}}} \right\}, \left\{ \alpha(Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4\alpha_M}{D_{\text{нарпр}}} - Q_t \right\} \right] = 219411 \text{ H}; \quad (3.2.50)$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н:

$$P_{\text{обж}} = 0.5D_{\text{нарпр}}b_{\text{прэф}} \cdot q_{\text{обж}} = 148750 \text{ H}; \quad (3.2.51)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек, Н:

$$P_{\delta 2} = \text{Max}[P_{\text{обж}}, 0.4A_{\delta}\sigma] = 901600 \text{ H}; \quad (3.2.52)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения, Н:

$$P_{\delta \text{м}} = \text{Max}[P_{\delta 1}, P_{\delta 2}] = 901600 \text{ H}; \quad (3.2.53)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{\delta \text{р}} = P_{\delta \text{м}} + (1 - \alpha)(Q_d + F) + Q_t + \frac{4(1 - \alpha_M)}{D_{\text{нарпр}}} = 934035 \text{ H}; \quad (3.2.54)$$

3.3.4.6. Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения на шпильках, МПа:

- при затяжке, МПа:

$$\sigma_{61} = \frac{P_{6M}}{A_6} = 92 \text{ МПа}; \quad (3.2.55)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке условиях:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \sigma_{61} \geq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ \sigma_{61} \leq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

- в рабочих условиях, МПа:

$$\sigma_{62} = \frac{P_{6P}}{A_6} = 95,3 \text{ МПа}; \quad (3.2.56)$$

Проверка условий прочности шпилек в рабочих условиях:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \sigma_{62} \geq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ \sigma_{62} \leq \sigma, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q = \frac{\text{Max}[P_{6M}, P_{6P}]}{\pi D_{\text{нарпр}} b_{\text{пр}}} = 16,98 \text{ МПа}; \quad (3.2.57)$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} q \geq q_d, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке не выполняется}"], \\ q \leq q_d, \text{Print}["\text{Условие прочности при затяжке выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие прочности при затяжке выполняется

3.3.4.7. Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца при затяжке, Н·мм:

$$M_m = G_F P_{6M} b = 1,81 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad (3.2.58)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, Н·мм:

$$\begin{aligned}
 M_p &= G_F \text{Max}[P_{\text{бп}} b + (Q_d + Q_{\text{FM}}) e, \text{Abs}[Q_d + Q_{\text{FM}}] e] \\
 &= 2,47 \\
 &\cdot 10^7; \qquad \qquad \qquad (3.2.59)
 \end{aligned}$$

Проверка углов поворота фланцев.

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta = M_p y_{\text{ф}} \frac{E_{\text{б20}}}{E_{\text{б}}} = 0.00186; \qquad (3.2.60)$$

Допускаемый угол поворота приварного встык плоского фланца принимаем 0,005:

$$\theta_d = 0.005;$$

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} \theta \geq \theta_d, \text{Print}["\text{Условие поворота фланца не выполняется}"], \\ \theta \leq \theta_d, \text{Print}["\text{Условие поворота фланца выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие поворота фланца выполняется

3.3.5. Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата [2]:

Вес обечайки:

Наружный диаметр цилиндрической обечайки, м:

$$N[d_n = (D_{\text{вн}} + 2s_{\text{обечайкидейств}})/1000] = 3,432 \text{ м}; \qquad (3.2.61)$$

Внутренний диаметр аппарата, м:

$$N[d_{\text{вн}} = D_{\text{вн}}/1000] = 3,4 \text{ м}; \qquad (3.2.62)$$

Плотность металла, кг/м³:

$$\rho_{\text{мет}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Длина цилиндрической обечайки аппарата, м :

$$l_{\text{длоб}} = L/1000 = 22 \text{ м}; \qquad (3.2.63)$$

Расчет массы обечайки аппарата, кг:

$$m_{\text{цилл}} = 0.785(d_n^2 - d_{\text{вн}}^2)\rho_{\text{мет}}l_{\text{длоб}} = 29450 \text{ кг}; \qquad (3.2.64)$$

Масса одной эллиптической крышки аппарата с отбортовкой выбирается в соответствии с ГОСТ 6533-78, кг [8]:

$$m_k = 2112 \text{ кг};$$

Принимаем, что масса вспомогательных устройств (штуцеров, измерительных приборов, люков и т.д.) составляет 30% от основной массы сепаратора, тогда:

Масса пустого аппарата, кг:

$$m_{\text{ап}} = 1.3(2m_k + m_{\text{цилл}}) = 43776,2 \text{ кг}; \quad (3.2.65)$$

Расчет массы воды при гидроиспытании, кг:

$$\rho_{\text{воды}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$N \left[m_{\text{воды}} = \pi \frac{d_{\text{вн}}^2}{4} l_{\text{длоб}} \rho_{\text{воды}} \right] = 199742 \text{ кг}; \quad (3.2.66)$$

Масса аппарата заполненного водой, кг:

$$m_{\text{мах}} = m_{\text{ап}} + m_{\text{воды}} = 243519 \text{ кг}; \quad (3.2.67)$$

Вес аппарата, Н:

$$G_{\text{ап}} = m_{\text{мах}} g = 2,388 \cdot 10^6 \text{ Н}; \quad (3.2.68)$$

Нагрузка от собственной массы на одну опору, Н:

$$F = G_{\text{ап}} = 2,388 \cdot 10^6 \text{ Н}; \quad (3.2.69)$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F_{\text{ап}} = F/10^6 = 2,388 \text{ МН}; \quad (3.2.70)$$

3.3.5.1. Расчет седлообразной опоры

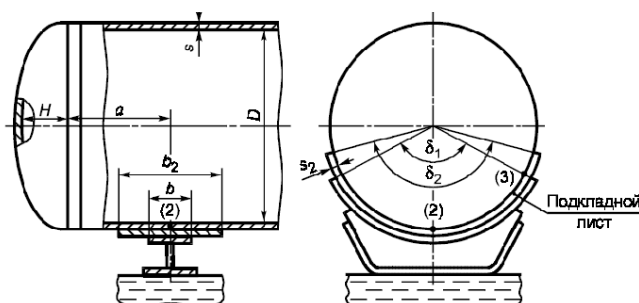


Рисунок 3.3.10. Расчетная схема седловых опор

Проверка применимости расчетных формул:

Угол охвата опорного листа:

$$\delta_1 = 80^\circ;$$

Угол охвата подкладного листа:

$$\delta_2 = 120^\circ;$$

Толщина подкладного листа, мм:

$$s_2 = 12 \text{ мм};$$

Высота крышки и отбортовки, м:

$$H_{кр} = 0.95 \text{ м};$$

$$D_{нар} = D_{вн} + 2s_{обечайкидейств} = 3432 \text{ мм}; \quad (3.2.71)$$

$$If = \left[\begin{array}{l} \delta_2 \geq \delta_1 + 20, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ s_2 \geq s_{обечайкидейств}, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

3.3.5.2. Определение расчетных усилий

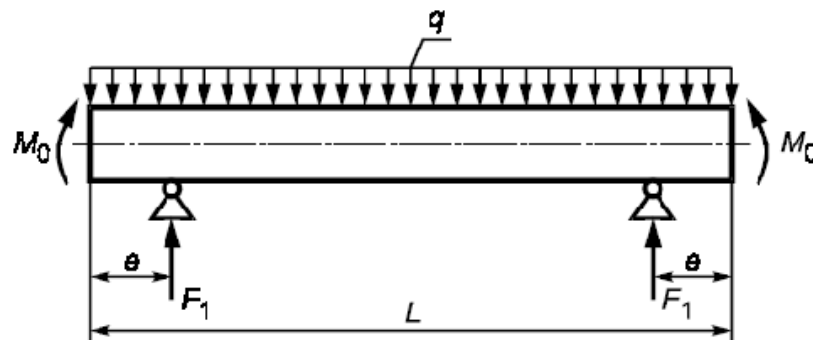


Рисунок 3.3.11. Расчетная схема определения усилий

$$q = \frac{G_{ап}}{l_{длоб} + (H_{кр}) \frac{4}{3}} = 102676 \text{ Н}; \quad (3.2.72)$$

$$M_0 = q \frac{D_{нар}^2 10^{-6}}{16} = 75586 \text{ Н}; \quad (3.2.73)$$

Нагрузка аппарата на одну опору, Н:

$$F_1 = \frac{G_{ап}}{2} = 1,194 \cdot 10^6 \quad (3.2.74)$$

Переводим нагрузку из Н в кН:

$$F_1/1000 = 1194,46 \text{ кН}; \quad (3.2.75)$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий.

Расстояние от края цилиндрической обечайки до центра опоры:

$$e = 0.4;$$

$$a = 1.8;$$

Момент над опорой, Н·м:

$$M_1 = \text{Abs} \left[M_0 - \frac{qe^2}{2} \right] = 67372 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.2.76)$$

Максимальный момент между опорами, Н·м:

$$M_{12} = M_0 + F_1 \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l_{\text{длоб}}}{2} + \frac{2}{3} (\text{Нкр}) \right)^2$$

$$= 4,116 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.2.77)$$

Поперечной усилие в сечении оболочки над опорой, Н· м:

$$Q_1 = \frac{l_{\text{длоб}} - 2a}{l_{\text{длоб}} + \frac{4}{3} (\text{Нкр})} F_1 = 944615 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.2.78)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами:

$$\text{If} = \left[\begin{array}{l} M_{12} \geq M_1, \text{Print}["\text{Условие выполняется}"], \\ M_{12} \leq M_1, \text{Print}["\text{Условие не выполняется}"] \end{array} \right]$$

Условие выполняется

В соответствии с ОСТ 26-2091-93 [9] выбираем подвижную седлообразную опору типа 3 исполнения II для сосудов и аппаратов с диаметром от 2200 до 4000 мм с нагрузкой на одну опору от 900кН до 1400кН.

Геометрические параметры приведены в таблице 3.3.3.

Таблица 3.3.3 - Основные параметры седлообразной опоры

Диаметр аппарата, D_{BH}	Допускаемая нагрузка на одну опору, кН	S_1	S_2	R	L	L_1	I	l_1	h	h_1	A	A_1	Масса, кг	Масса подкладного листа, кг
	Исполнение II												Исполнение II	
3400	1400	25	25	1720	2990	3010	2895	1450	970	340	2390	2000	570	106

Так же принимаем размеры опорного листа согласно таблице 3.3.4.

Таблица 3.3.4 - Основные размеры опорного листа

Диаметр аппарата, D_{BH}	S	R	H	Масса, кг
3400	12	1640	450	169,2

4. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе

Каждый год в России добывают и перерабатывают миллионы тонн нефти. Важным этапом в этой технологической цепочке является качественная подготовка нефти.

При добыче нефти из скважин извлекается сложная нефтяная смесь, состоящая из попутного нефтяного газа, пластовой воды и механических примесей (песка, бурового раствора и т.п.). В данном виде транспортировка нефти по магистральным трубопроводам экономически не целесообразно, поэтому после скважин нефть по трубопроводу направляется на установку подготовки нефти (УПН).

Благодаря быстрому развитию нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности происходит усовершенствование техники и технологии промыслового сбора, подготовки и транспортировки нефти. Среди таких усовершенствований выделяется методы математического моделирования. В настоящее время применение моделирующих систем является неотъемлемой частью развития процессов нефтеподготовки

Математическое моделирование процессов подготовки нефти является важным этапом для решения задачи анализа работы действующих установок подготовки нефти и определения оптимальных технологических режимов. Для улучшения работы действующих промышленных установок необходимо применять специализированные моделирующие системы, адаптированные к условиям данного промышленного процесса.

Актуальность данной работы обусловлена качественной подготовкой товарной нефти для последующей стадии переработки.

Цель работы: исследовать влияние технологических параметров работы трехфазного сепаратора (ТФС) на качество подготовки нефти и построить математическую модель трехфазного сепаратора.

При выполнении данной работы были поставлены следующие задачи:

- Провести обзор современной литературы по подготовке нефти;
- Изучить физико-химическую сущность процесса сепарации;
- Исследовать влияние технологических параметров на качество подготовки нефти.

4.1. Построение математической модели

При использовании математических моделей процессов первичной подготовки нефти увеличивается возможность для решения задачи повышения эффективности работы действующей установки подготовки нефти (УПН).

Для данного подхода необходимо указать иерархическую схему (рис.1) построения модели технологии промышленной подготовки нефти до уровня основополагающих процессов с последующим интегрированием их в модель аппаратов [10].

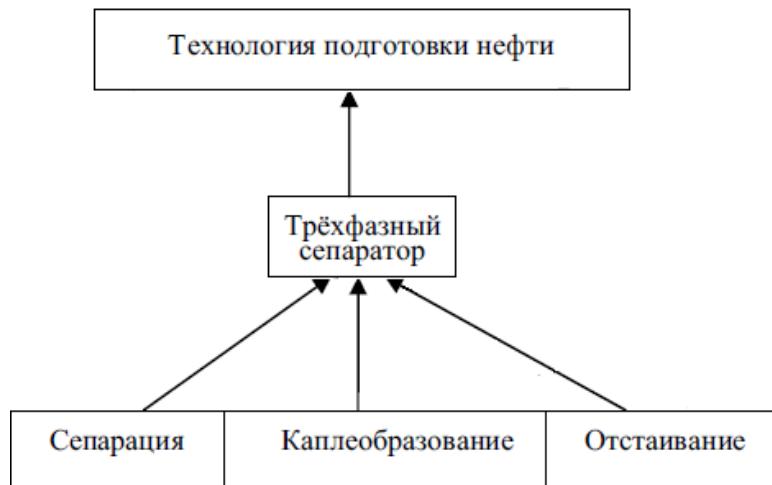


Рисунок 4.1.1. Иерархическая структура моделирования процесса сепарации.

На основе данной структуры была сформирована математическая модель ТФС, как одного из основных аппаратов технологической схемы, которая включает в себя математические модели процессов сепарации, отстаивания и каплеобразования [11].

Основной задачей ТФС является разделение водонефтяной эмульсии на три фазы: выделение газа и отстаивания водонефтяной эмульсии, где капли воды из-за разности плотностей жидких фаз и под действием сил тяжести оседают, образуя водяную подушку.

Процесс отстаивания в данной работе описывается при использовании математической модели на основе уравнения Стокса [12].

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{g \cdot d_{\text{кап}}^2 \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}})}{18 \cdot \mu_{\text{н}}}; \quad (4.1.1)$$

Где, g – скорость свободного падения, м/с;

$d_{\text{кап}}^2$ – диаметр капли воды, м;

$\rho_{\text{в}}, \rho_{\text{н}}$ – плотность воды и нефти, кг/м³;

$\mu_{\text{н}}$ – вязкость нефти, Па · с;

На основании данной математической модели была получена зависимость скорости осаждения капель воды от их диаметра в стесненных условиях при различной температуре (рис. 2).

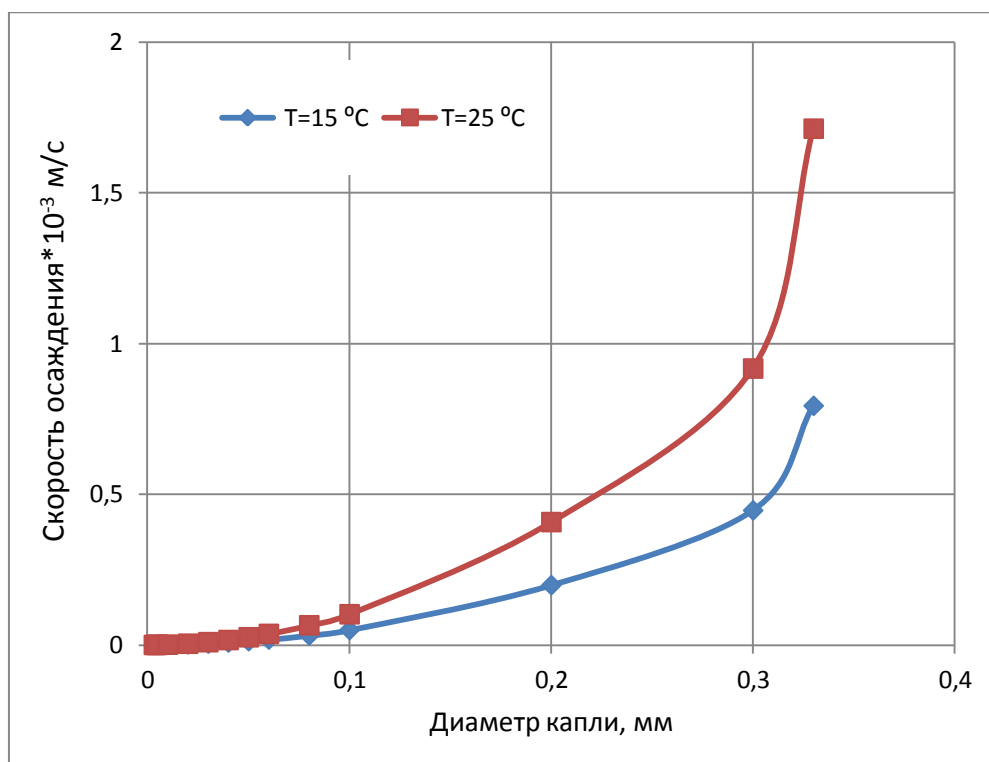


Рисунок 4.1.2. Зависимость скорости осаждения от диаметра капель при различной температуре среды

Из графика видно, что при увеличении диаметра капель воды и при повышении температуры, скорость осаждения частиц увеличивается в 8–17 раз. При этом увеличение температуры с 15 до 25 °С повышает скорость осаждения капель воды в два раза. Это объясняется тем, что при повышении температуры уменьшается поверхностное натяжение на границе раздела фаз нефть–вода, тем самым уменьшая прочность оболочек капель воды.

В процессе каплеобразования в эмульсии формируются капли жидкости определенного размера. Для нахождения максимального размера капель используется методика Тронова В.П. [11]:

$$d_{\max} = 43,3 \frac{\sigma^{1,5} + 0,7 \cdot \mu_{\text{в}} \cdot u^{0,7} \cdot \sigma^{0,8}}{u^{2,4} \cdot Re^{0,1} \cdot \mu_{\text{в}} \nu_{\text{см}}^{0,1} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}}^{0,5}}, \quad (4.1.2)$$

где d_{\max} – максимальный диаметр капли, м;

σ – поверхностное натяжение нефти, Н/м;

$\mu_{\text{в}}$ – вязкость воды, Па·с;

ν – кинематическая вязкость эмульсии, м²/с;

u – линейная скорость потока, м/с.

На основании данной методики были рассчитаны максимальные диаметры капель при температурах 15 и 25°С, а так же при изменении расхода эмульсии. Результаты расчета представлены в табл. 4.1.1.

Таблица 4.1.1 – Результаты расчета максимального диаметра капель при разной температуре и различном расходе

Расход нефти, кг/с	При Т=15°С	При Т=25°С
	Максимальный диаметр капли, м	
24,6	0,331	0,418
34,6	0,320	0,404
44,6	0,312	0,394
54,6	0,306	0,386
74,6	0,296	0,374

Основным показателем качества нефти является обводненность нефти на выходе из сепаратора. В качестве исходных данных использовалась информация о расходе потока, параметров работы аппарата и характеристики нефти. Нагрузка на аппарат составляет 54,6 кг/с при обводненности нефти 25 % мас.

На основе математической модели определена остаточная обводненность эмульсии после процесса отстаивания в ТФС в области ламинарного режима:

$$\frac{18 \cdot \omega_{oc} \cdot \mu_n \cdot (1 - B)^2}{d_{max}^2 \cdot (\rho_v - \rho_n) \cdot g \cdot ((1 - B)^2 - (1 - \frac{B}{B_0})^2)} = (1 - B)^{4.7}, \quad (4.1.3)$$

где ω_{oc} – скорость осаждения капель, м/с;

B, B_0 – обводненность нефти на выходе и на входе, %.

Определение конечной обводненности осуществлялось методом последовательных приближений, при этом должно выполняться условие, что, если, разность левой и правой части меньше заданной погрешности, следовательно, расчет конечной обводненности считается законченным [11].

Результаты проведенного исследования при температуре 15 и 25°C представлены на рис. 4.1.3.

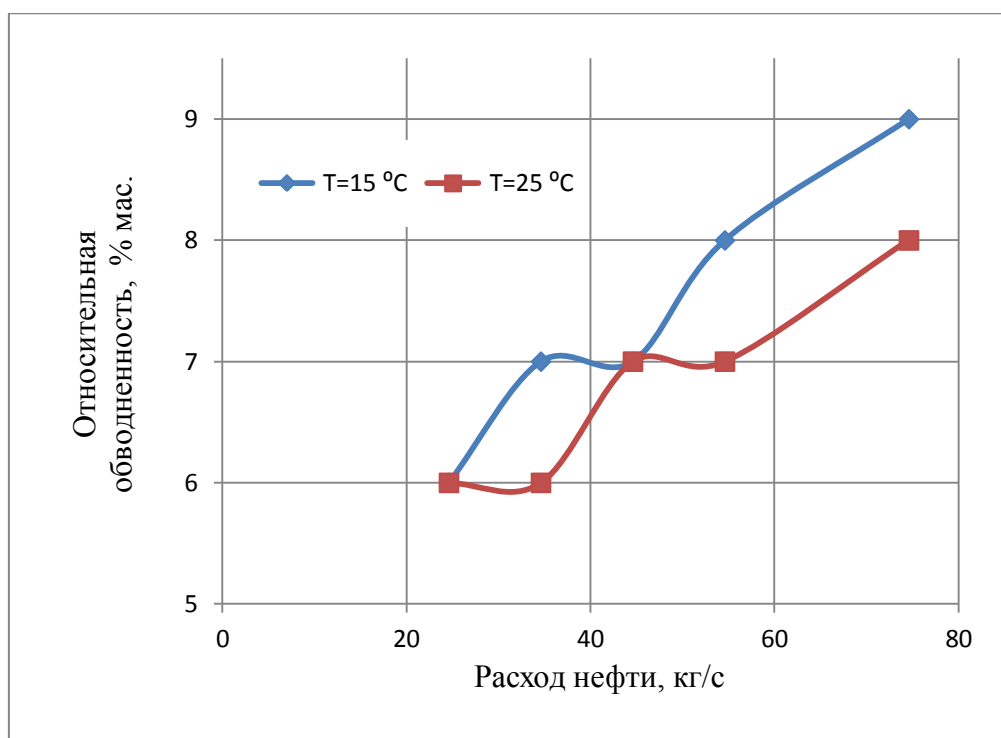


Рисунок 4.1.3 – Зависимость остаточной обводненности от расхода водонефтяной эмульсии

Из графика можно видеть, что при увеличении расхода нефти на входе в ТФС в три раза обводненность возрастает с 6 до 9 % мас., но с повышением температуры в аппарате, наблюдается снижение обводненности водонефтяной эмульсии. Это объясняется тем, что при увеличении температуры уменьшается вязкость среды, тем самым возрастает подвижность частиц воды в дисперсной фазе, что увеличивает частоту столкновения частиц между собой, что приводит к ускорению коалесценции капель жидкости.

Заключение по проделанной работе.

Делая выводы по выполненной работе можно отметить, что повышение нагрузки на аппарат более чем регламентировано производителем, может привести к сбою в технологическом процессе. Чтобы не допустить данной проблемы, необходимо определить количество параллельно работающих аппаратов.

Использование математической модели процесса первичной подготовки нефти повышает эффективность работы действующей УПН.

5. Расчет средства защиты трехфазного сепаратора от превышения давления в среде Wolfram Mathematica

Развитие химической промышленности сопровождается увеличением масштабов производства, мощности установок и аппаратов и усложнением технологических процессов и режимов управления производством. Вследствие усложнения и увеличения производства, защита производственного оборудования становится на первом месте.

В химической, нефтехимической промышленности, а так же на объектах подготовки и переработки нефти используется оборудование работающее под избыточным давлением. В соответствии с [13] сосуды работающие под давлением должны быть оснащены предохранительными устройствами от превышения давления выше разрешенного.

При эксплуатации технологического оборудования не редко возникают ситуации когда давление внутри сосуда превышает разрешенного значения. Чтобы избежать разрыв сосуда и увеличить срок эксплуатации необходимо устанавливать предохранительные устройства, работающие по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды .

Актуальность данной темы выражена необходимостью обеспечения безопасности при эксплуатации сосудов работающих под давлением. Применение предохранительных клапанов является обязательным условием в промышленности.

Целью курсового проекта является расчет и подбор средств защиты от превышения давления для трехфазного сепаратора.

Задачей курсового проекта является разработка пошаговой методики расчета и подбора предохранительного клапана в среде Wolfram Mathematica.

5.1. Характеристика современного состояние проблемы

В настоящее время в мире все больше внимания уделяется вопросам обеспечения на высоком уровне защиты окружающей среды, безопасности жизнедеятельности и охране труда.

Одним из видов аварий на промышленных объектах являются взрывы технологического оборудования в результате превышения давления внутренней среды.

Не редки случаи, когда давление превышает допустимое значение, что может привести как к разгерметизации оборудования, так и к его полному разрушению.

Одним из возможных путей снижения подобного риска на промышленных объектах является применение предохранительных устройств. На их основе разрабатываются мероприятия по предупреждению возникновения аварий и предотвращению опасных последствий.

В Американском нефтяном институте (American Petroleum Institute – API), разработана система технического регулирования в области систем аварийного сброса, который является международным стандартом и распространяется на устройства сброса давления, применяемого в системах нефтепереработки, химических производств и в других подобных системах, рассчитанных на максимально допустимое рабочее давление[14].

Крупные российские потребители нефтегазового оборудования все чаще требуют от своих поставщиков, чтобы поставляемое оборудование соответствовало нормам стандартов API. Все чаще фирмы, не имеющие сертификата API, не допускаются к международным или даже российским тендерам. Эти требования налагаются и на предохранительные устройства.

В России существует нормативно – технический документ ГОСТ 12.2.085 – 2002 [15], который также используют при проектировании предохранительных устройств. Но поскольку он имеет ряд недостатков (не обеспечивает в необходимой мере безопасное ведение опасных

технологических производств, ошибки допускаются как на стадии проектирования, так и сооружения объектов и их эксплуатации [16] многие фирмы отдают предпочтение международным стандартам.

5.2. Защита от превышения давления

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, представляет собой серьезную опасность при эксплуатации из-за возможности разрушения под действием давления рабочей среды. Поэтому во всех случаях, когда в аппарате может быть превышено предельно допустимое давление, аппарат должен быть надежно защищен от разгерметизации с помощью различных предохранительных устройств (ПУ), работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды.

Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные рабочим процессом случаи:

- а) приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе из него;
- б) обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;
- в) взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного повышения давления могут являться:

- а) ошибки обслуживающего персонала;
- б) отказ запорно-регулирующей арматуры;
- в) нарушение функционирования системы автоматического управления;
- г) внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и др.;
- д) замерзание охлаждающей воды;
- е) выход из-под контроля химических реакций;

ж) интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т. п.[17]

5.3. Разработка методики расчета для предохранительного клапана в среде Wolfram Mathematica

В данной программе была разработана программа расчета и подбора и подобран предохранительный клапан для защиты от превышения давления такого аппарата, как трехфазный сепаратор.

Исходные данные для расчета:

Рабочее давление среды, МПа.

$$P_p = 1.3$$

$$1.3$$

Давление сброса, МПа.

$$P_2 = 0$$

$$0$$

Молярная масса нефтяного попутного газа, кг/кмоль.

$$M = 23.07$$

$$23.07$$

Температура в системе, К.

$$T = 15 + 273$$

$$288$$

Количество вещества, подаваемого в аппарат, кг/ч.

$$m_k = 1092$$

$$1092$$

Коэффициент сжимаемости попутного нефтяного газа:

$$z = 1$$

$$1$$

Объемные доли компонентов газовой смеси, %.

Метан

$$y_1 = 0.74$$

0.74

Этан

$$y_2 = 0.052$$

0.052

Пропан

$$y_3 = 0.083$$

0.083

И-бутан

$$y_4 = 0.018$$

0.018

Н-Бутан

$$y_5 = 0.035$$

0.035

И-пентан

$$y_6 = 0.0069$$

0.0069

Пентан

$$y_7 = 0.0082$$

0.0082

Гексан

$$y_8 = 0.005$$

0.005

Диоксид углерода

$$y_9 = 0.022$$

0.022

Азот

$$y_{10} = 0.024$$

0.024

Критические температуры компонентов, К.

Метан

$$T_{кр1} = 190.5$$

190.5

Этан

$$T_{кр2} = 305.3$$

305.3

Пропан

$$T_{кр3} = 369.8$$

369.8

И-Бутан

$$T_{кр4} = 407.9$$

407.9

Н-Бутан

$$T_{кр5} = 425$$

425

И-Пентан

$$T_{кр6} = 469.78$$

469.78

Пентан

$$T_{кр7} = 470.4$$

470.4

Гексан

$$T_{кр8} = 508$$

508

Диоксид углерода

$$T_{кр9} = 304.4$$

304.4

Азот

$$T_{кр10} = 126$$

126

Критическое давление компонентов, МПа.

Метан

$$P_{кр1} = 6.64$$

6.64

Этан

$$P_{кр2} = 4.86$$

4.86

Пропан

$$P_{кр3} = 4.27$$

4.27

И-Бутан

$$P_{кр4} = 3.79$$

3.79

Н-Бутан

$$P_{кр5} = 3.89$$

3.89

И-Пентан

$$P_{кр6} = 3.37$$

3.37

Пентан

$$P_{кр7} = 3.33$$

3.33

Гексан

$$P_{кр8} = 2.99$$

2.99

Диоксид углерода

$$P_{кр9} = 7.53$$

7.53

Азот

$$P_{кр10} = 3.35$$

3.35

Решение:

Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 12.2.085 - 2002 [18].

Максимально допустимое давление в аппарате при срабатывании ПУ, согласно Правилам Ростехнадзора, составляет:

$$P_1 = P_p + 0.05$$

1.35

Показатель изоэнтропы при нормальных условиях для многокомпонентных газов:

$$K_n = 1.3$$

1.3

Определяем критические характеристики нефтяного попутного газа по правилу аддитивности:

Для температуры, К:

$$T_{кр} = y_1 T_{кр1} + y_2 T_{кр2} + \dots + y_i T_{кр_i} ;$$

Для давления, МПа:

$$P_{кр} = y_1 P_{кр1} + y_2 P_{кр2} + \dots + y_i P_{кр_i} ;$$

Рассчитаем критическую температуру нефтяного газа, К.

$$T_{кр} = y_1 T_{кр1} + y_2 T_{кр2} + y_3 T_{кр4} + y_4 T_{кр4} + y_5 T_{кр5} + y_6 T_{кр6} + y_7 T_{кр7} + y_8 T_{кр8} + y_9 T_{кр9} + y_{10} T_{кр10}$$

232.278

Рассчитаем критическое давление нефтяного газа, МПа.

$$P_{кр} = y_1 P_{кр1} + y_2 P_{кр2} + y_3 P_{кр4} + y_4 P_{кр4} + y_5 P_{кр5} + y_6 P_{кр6} + y_7 P_{кр7} + y_8 P_{кр8} + y_9 P_{кр9} + y_{10} P_{кр10}$$

5.99683

Температура нефтяного попутного газа при давлении P1:

$$T1 = T \left(\frac{(P1 + 0.1)}{(Pr + 0.1)} \right)^{\frac{(Kn - 1)}{Kn}}$$

68.8352

Определяем приведенные параметры:

Приведенное давление, МПа:

$$\pi1 = \frac{(P1 + 0.1)}{P_{кр}}$$

0.241794

Приведенная температура, К:

$$\tau1 = \frac{T1}{T_{кр}}$$

0.296348

$$\frac{\pi1}{\tau1}$$

0.815914

$$\text{if} \left[\frac{\pi1}{\tau1} \leq 0.5, k_1 = Kn, k_2 = Kn, k = Kn \right]; k$$

1.3

Определяем критическое отношение давлений по формуле:

$$(\beta^*)_a = \left(\frac{2}{(k + 1)} \right)^{\frac{k}{(k-1)}}$$

0.545728

При истечении среды из отверстия с острыми кромками, каковыми являются ПУ, максимальный расход устанавливается при меньшем отношении давлений. Для предохранительных клапанов установлено, что:

$$(\beta^*)_{\text{квк}} = 0.57 (\beta^*)_a$$

0.311065

Критическое истечение с постоянным максимальным расходом происходит при отношении давлений за и перед ПУ:

$$\beta^* = \frac{P_2 + 0.1}{P_1 + 0.1}$$

0.0689655

Определяем коэффициент докритического расхода $(B_2)_a$, учитывающий соотношение давлений за и перед ПУ. При максимальном критическом расходе среды $\beta^* \leq (\beta^*)_{кр}$, коэффициент $(B_2)=1$ [17, стр.50].

$$B_2 = 1$$

1

Определяем коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах при $\beta_a \leq (\beta^*)_a$:

$$B_3 = 1.59 \sqrt{\frac{k}{k+1}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

0.750203

Определяем коэффициент $(B_1)_{(z=1)}$, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при температуре и коэффициенте сжимаемости $(z)=1$.

$$B_1 = 5.46 B_3 \sqrt[3]{\frac{M}{T_1}}$$

2.84523

Определим коэффициент $(B_1)_a$, учитывающий физико-химические свойства газов и паров:

$$(B_1)_a = \frac{B_1}{\sqrt{z}}$$

2.84523

При $m = mk=1092$ кг/ч находим произведение $(\alpha_1 F)_R$, мм²:

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{mk}{10 (B_1)_a B_2 (P_1 + 0.1)}$$

26.469

В качестве ПУ выбираем пружинный полноподъемный предохранительный клапан $\alpha_1 = 0,6$ по таблице П22[17, стр.177].

[Hyperlink\["Таблица П22, Приложение 1, Inc.",
"http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/
17/Table_22.pdf"\]](http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/17/Table_22.pdf)

Таблица П22, Приложение 1, Inc.

Площадь узкого сечения седла, мм²:

$$\alpha_1 = 0.6$$

$$0.6$$

$$(F_c)_R = \frac{(\alpha_1 F)_R}{\alpha_1}$$

$$44.115$$

Диаметр узкого сечения седла, мм:

$$(d_c)_R = \sqrt{\frac{(F_c)_R}{0.785}}$$

$$7.4965$$

Исходя из полученных данных $(d_c)_R=10,781$ мм и $P_p = 0,56$ МПа, выбираем предохранительный пружинный полноподъемный клапан типа СППК4-16 на условное давление 1,6 МПа. Исполнение 17нж13ст, характеристика среды А - агрессивная, диаметром седла $d_c=40$ мм из приложения по таблице П5 [17,стр. 165].

[Hyperlink\["Таблица П5, Приложение 1, Inc.",
"http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/
17/Table_5.pdf"\]](http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/17/Table_5.pdf)

Таблица П5, Приложение 1, Inc.

Выполним проверку выбранного клапана с $d_c=30$ мм, $\alpha_1=0.6$ по формуле Росгортехнадзора.

При $k_s=1,3$ и $\beta^*=0.140845$ определяем коэффициент В по таблице П11 [17, стр.170].

[Hyperlink\["Таблица П11, Приложение 1, Inc.",
"http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/
17/Table_11.pdf"\]](http://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/17/Table_11.pdf)

Таблица П11, Приложение 1, Inc.

$$d_c = 40$$

$$40$$

k

1.3

β^*

0.0689655

v = 0.506

0.506

Определяем площадь седла, мм².

$$\rho = \frac{M}{22.4}$$

1.02991

$$F_{\text{пр}} = \frac{mk}{5.03 \alpha_1 v \sqrt{(P1 + P2) \rho}}$$

606.438

Определяем расчетный диаметр ПК, мм.

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{F_{\text{пр}}}{0.785}}$$

27.7945

```
If[dc ≥ dпр, Print ["Условие выполнено"], dc ≤ dпр,  
Print ["Условие не выполняется"]]
```

Условие выполнено

Вывод.

Произведен расчет и подбор предохранительного пружинного полноподъемного фланцевого клапана типа СППК4-16.

Выполнена проверка выбранного клапана по формуле Росгортехнадзора.

Расчетный диаметр ПК составил $d_{\text{пр1}}=33,9007$ мм, что удовлетворяет условию $d_c \geq d_{\text{пр}}$.

Исполнение 17нж13ст, характеристика среды А - агрессивная. Клапан работает при максимальной температуре $(t_p)_{\text{max}} = 600$ °С с условным давлением $P_y = 1,6$ МПа.

Заключение по проделанной работе

В данной работе была разработана методика расчета и подбора предохранительного клапана для защиты от превышения давления трехфазного сепаратора в среде Wolfram Mathematica.

Произведен расчет и подбор предохранительного пружинного полноподъемного фланцевого клапана типа СППК4 – 16 с диаметром 40 мм на условное давление 1,6 МПа. Исполнение 17нж13ст, характеристика среды А – агрессивная, клапан работает при максимальной температуре $t=600^{\circ}\text{C}$.

Выполнена проверка выбранного клапана по формуле Ростехнадзора.

6. Социальная ответственность

6.1. Характеристика объекта исследования

Пункт подготовки и сбора нефти (УПН «Пионерный») входит в состав цеха подготовки и перекачки нефти №4 (ЦППН-4) и предназначен для окончательного разгазирования и обезвоживания нефти.

Подготовка нефти осуществляется в аппаратах, работающих под избыточным давлением на установке подготовки нефти (УПН).

Газожидкостная смесь после узлов учета нефти (УУН) поступает в трехфазные сепараторы (ТФС). Перед входом в сепараторы предусмотрена подача деэмульгатора.

Добавление деэмульгатора в сырую нефть дает возможность разрушить слои природных стабилизаторов нефтяной эмульсии, входящих в состав защитных оболочек глобул воды и способствует их переводу с границы раздела фаз в объем.

После предварительного обезвоживания, нефть поступает в печи (ПТБ) для подогрева нефти.

Горячая нефть после ПТБ поступает в сепараторы концевой ступени сепарации, где происходит полное разгазирование. Далее нефть поступает в электродигидраторы (ЭГ), в котором формируется высокое напряжение за счет которого происходит коалесценция (укрупнение) частиц, а так же обессоливание нефти.

После обезвоживания и обессоливания, нефть перекачивается насосами внутренней перекачки (НВП) в резервуарный парк.

Аппараты находятся на открытых площадках. Наблюдение за процессом ведется операторами при помощи центрального пульта управления (ЦПУ), а так же с периодическим обходом оборудования.

6.2. Производственная безопасность

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при вакуумной перегонке мазута по ГОСТ 12.0.003-74

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 – 74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Насосная внутренней и магистральной перекачки перекачки нефти;	1.Повышенный уровень шума; 2.Недостаточность освещения рабочей зоны;	1.Процесс ведется под избыточным давлением; 2.Электрическое напряжение.	Параметры безопасности труда устанавливаются ГОСТ 12.0.001 – 82 Параметры определения шумовых характеристик устанавливаются ГОСТ 12.1.003 – 83 Параметры электрического напряжения устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ.
2.Площадка электродигидраторов (ЭГ);	1.Климатические условия; 2. Загазованность рабочей зоны;	1. Электрическое напряжение; 2. Процесс ведется под избыточным давлением.	Параметры электрического напряжения устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 10 – 115 – 96.
3. Площадка печей (ПТБ)	1. Загазованность рабочей зоны	1. Опасность термических ожогов. 2. Опасность взрыва и пожара.	Опасность термических ожогов устанавливаются по РД 153-34.0-03.702-99. Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76 СБТ ПДК устанавливаются ГН 2.2.5.1313. – 03.
4. Резервуарный парк (РВС)	1. Климатические условия; 2. Загазованность рабочей зоны;	1.Обслуживание оборудования на высоте; 2. Отравление при повышении ПДК.	Правила работы на высоте устанавливаются ПОТ РМ 012-2000. ПДК устанавливаются ГН 2.2.5.1313. – 03.

6.2.1. Загазованность рабочей зоны

В соответствии с ГОСТ 31378 – 2009 [19] нефть и нефтепродукты представляет собой темную, горючую жидкость со специфическим запахом. Цвет и запах нефти обуславливается присутствием азотсодержащими, серосодержащими и кислородсодержащими компонентами.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека.

Нефть относится, по степени воздействия на организм человека, относится к 3-му классу опасности в соответствии ГОСТ 12.1.007 - 76 [20].

6.2.2. Воздействие на организм человека

Нефть и нефтепродукты при перекачке и отборе проб относится к 3-му классу опасности, ПДК аэрозоля нефти в воздухе рабочей зоны не более 10 мг/м^3 [21].

При хранении и лабораторных испытаниях, нефть относится к 4-му классу опасности с ПДК по алифатическим предельным углеводородам $C_1 - C_{10}$ не более 300 мг/м^3 [21].

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека, а также азотсодержащие, серосодержащие и кислородсодержащими компоненты.

Контакт с нефтью вызывает сухость кожи, пигментацию или стойкую эритему, приводит к образованию угрей, бородавок на открытых частях тела.

Острые отравления парами нефти вызывают повышение возбудимости центральной нервной системы, снижение кровяного давления и обоняния [19].

6.2.3. Предлагаемые средства защиты

При работе с нефтью и нефтепродуктами применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011, ГОСТ 12.4.103, ГОСТ 12.4.111, ГОСТ 12.4.112.

Для индивидуальной защиты в местах с концентрацией паров нефти, превышающей ПДК, применяют противогазы марки БКФ, шланговые противогазы марки ПШ-1 или аналогичные в соответствии с ГОСТ 12.4.034.

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068.

Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80.

Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства [22].

6.2.4. Недостаточное производственное освещение

Для нормализации визуальной обстановки в рабочих помещениях представляют собой осветительные проемы, фонари, прожекторы, защитные устройства.[23]

Таблица 6.2 – Нормы освещенности рабочих мест по ГОСТ Р 55710 - 2013

Наименование помещений, зрительной работы и вида деятельности	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	R , не более	R_a , не менее	K_p , %, не более
Производственные процессы с дистанционным управлением	50	0,4	-	20	-
Процессы с частичным применением ручного труда.	150		28	40	
Постоянная ручная работа на производственных установках.	300	0,6	22	80	20

6.2.5. Повышенный уровень шума на производстве

Основным источником шума является насосная внутренней перекачки (НВП), насосная магистральная перекачки (НМП), площадка печей трубчатых блочных (ПТБ). Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октановых полосах 78 дБА со среднегеометрическими частотами 500 Гц. А нормирующий уровень 80 дБА. Следовательно уровень шума соответствует ГОСТ 12.1.003 – 83 [24].

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие:

- размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;
- расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малошумных помещений;
- применение индивидуальных средств защиты от шума и вибрации, проведение санитарно-профилактических мероприятий для рабочих, занятых на вибро-акустически активном оборудовании [25].

6.2.6. Электробезопасность

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным

средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п. Ч

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий [26]:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция токопроводимых частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. Использование средств защиты и приспособлений.

6.2.7. Пожарная безопасность

Площадка печей ПТБ относится к взрывопожароопасным объектам. Это связано с тем, что в качестве топлива для печей ПТБ используется попутный нефтяной газ.

Причины возникновения пожаровзрывоопасной ситуации :

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре, разветвленная сеть технологических трубопроводов с многочисленной запорно-пусковой и регулирующей арматурой и контрольно-измерительными приборами;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов [27].

Таблица 6.3 – Доля каждой причины в общем числе аварий.

Причины аварийной ситуации	Доля от общего числа аварий, %
Пожары, вспышки, загорания	58,5
Аварийная загазованность	17,9
Взрывы и хлопки	15,1
Прочие	8,5

В свою очередь, пожары, взрывы и аварийная загазованность могут быть следствием возникновения следующих аварийных ситуаций:

- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;
- Несоблюдение правил останова технологической установки [27].

6.2.8. Пожарно-профилактические мероприятия

На основании анализа пожарной опасности технологического процесса, с учетом режимов работы технологического оборудования проведем пожарно-профилактические мероприятия [28].

Таблица 6.4 – Пожара-профилактические мероприятия[29]

Наименование технического оборудования	Пожара-профилактические мероприятия
<u>Сепараторы:</u> - защита аппаратов от перепада давления; - контроль температуры; - контроль уровня внутри аппарата;	Устанавливаются предохранительные клапана (ПК); Контроль температуры среды в аппарате. Предусмотрен контроль уровня внутри аппарата.
<u>Резервуары вертикальные стальные (РВС):</u> - оборудованы аварийным сливом; - контроль уровня нефтепродуктов;	Оборудуются сигнализацией по верхнему и нижнему пределу.
<u>Печи ПТБ:</u> - контроль температуры нефти на входе и выходе; - контроль давления топливного газа; - контроль давления воздуха на горелки; - контроль температуры дымовых газов на выходе из печи; - контроль пламени на горелках печи;	Установка приборов КИПиА; Требуется контроль температуры по максимальному и минимальному пределу; Требуется контроль давления по максимальному и минимальному пределу;

6.2.9. Термическая опасность. Повышенная температуры поверхностей

Источником термической опасности в соответствии с РД 153-34.0-03.702-99 могут являться:

- Соединительные магистрали передачи жидкостей, нагретых до высокой температуры;
- Нагретые поверхности узлов электрооборудования и гидрооборудования;
- Опасность выплеска жидкости под высоким давлением;

После контакта с данным видом термической опасности, вызывает у человека покраснение кожи, возникновение волдырей, повреждение слоя эпидермиса. Так же получение степени ожога (1,2,3,4) [30].

Для защиты рабочих от термической опасности в соответствии с ГОСТ Р 53010-2008, изолируют трубные обвязки, установленные рядом с рабочим местом оператора.

6.3. Экологическая безопасность

Подготовка нефти это многостадийный процесс, который включает в себя обезвоживание и обессоливание нефти.

Подготовка нефти не является безотходным процессом. При подготовке нефти так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки нефти включает в себя проблемы загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.

6.3.1. Защита жилой зоны

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

- промышленный объект по переработке нефти относится к первому классу опасности - 1000 м.

Так же в таблице 6.5 представлены рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти [31].

Таблица 6.5 - Рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03

Элементы застройки	Расстояние в м при диаметре труб, мм			
	До 300	300-600	600-1000	1000-1400
Города и поселки	75	100	150	200
Отдельные малоэтажные жилища	50	50	75	100
Гидротехнические сооружения	300	300	300	300
Водозаборы	3000	3000	3000	3000

6.3.2. Воздействие объекта на атмосферу

Основные источники загрязнения при подготовки нефти это выбросы вредных веществ в атмосферу с факела. При сжигании попутного нефтяного газа на факелах высокого и низкого давления в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ [32]:

- Диоксид азота;
- Углерод черный (сажа);
- Оксид углерода;
- Метан;
- Бензапирен.

Таблица 6.6 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.6.1338 – 03

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м ³		Класс опасности
		Максимально разовое	Средне суточное	
Безол	C ₆ H ₆	0,3	0,1	2
Хлор	Cl ₂	0,1	0,03	2
Оксид углерода	CO	5	3	4

Свинец	Pb	0,001	0,0003	1
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,1	3
Диоксины	C ₁₂ H ₁₄ C ₁₄ O ₂	-	0,5 мг/м ³	1
Оксид азота	NO ₂	0,085	0,04	2

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных расширителей на факельном газопроводе с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;
- Перед подачей газа на факела, использовать очистку газа от токсичных на абсорбционных установках [29].

6.3.3. Воздействие объекта на гидросферу

Загрязненные стоки на установке подготовки нефти (УПН) перегонки а образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при отгрузке нефти.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- Обвалование площадок, где возможен разлив продукта;
- Дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведением их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе;

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.[33]

6.3.4. Воздействие объекта на литосферу

На предприятии только в процессе глубокого обессоливания и обезвоживания нефти выделяется около 26-30т. твердых солей и механических примесей, содержащих в своем составе до 35% смеси углеводородов и 35-60% воды.

Таким образом, нефтеперерабатывающее предприятие "вырабатывают" более 100 т в сутки твердых, нефтесодержащих и пожароопасных отходов [34].

Таблица 6.7– Утилизация твердых отходов [29]

Наименование отхода	Место складирования, транспортировка	Периодичность образования	Место захоронения, утилизация
Нефтешлам	Специально оборудованная площадка с контейнерами для сбора отходов.	Постоянно. Чистка и вывоз шлама с установки в период ремонта и чистки оборудования.	Вывоз на специально отведенное место для захоронения.
Люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак	В закрытой таре отдельно(тара завода – изготовителя)	Периодически.	Отходы передают на пункт приема ртутьсодержащих отходов в п.Пионерном ООО «ТКС», с передачей ООО «ТРАНССИБ» на обезвреживание
Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа (Грунт, загрязненный нефтепродуктами)	Места накопления отсутствуют	Периодически	Накопление не осуществляется. Сразу после образования вывозится для обезвреживания на шламонакопитель ВГНМ ООО «ССЭ»
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) *	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м3, 3 шт.)	1 неделя	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО ВГНМ

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Данное производство по подготовке нефти является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также химическое заражение окружающей среды. В состав предприятия по подготовки нефти входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, сепараторы, электродигидраторы), так и линейные (различные трубопроводы). Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары как следствие взрывов.[35]

В таблице 6.8 приведены возможные аварийные ситуации и способы устранения.

Таблица 6.8 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения [29]

Возможные производственные аварийные ситуации	Причины возникновения производственных аварийных ситуация	Действия персонала по предупреждению и устранению производственных аварийных ситуаций
Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода	Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрыво-пожароопасных веществ	1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи; 2. Включение звуковой аварийной сигнализации.
		3. Перекрыть подачу теплоносителей. Прекратить подачу сырья.
		4. Сброс давления на факел.
		5. Остановка остального оборудования.
Протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах	Разгерметизация запорно-регулирующей арматуры или аппаратов	1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Ликвидация протечек с остановкой оборудования (если не возможно устранить по другому)

		3. Ликвидировать протечки без остановки оборудования.
Сбой системы электроснабжения	Неполадки в системе электроснабжения	1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей.
		3. Подать пар на паровую завесу печей.
		4. Проконтролировать отключение всего насосно-компрессорного оборудования.
Увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде	1. Низкий уровень раздела фаз	1. Поднять уровень раздела фаз в соответствии с НТР; 2. Проверить работу регуляторов уровня LCV-402 в аппарате.
Повышенная вибрация насоса	1. Неправильная центровка электродвигателя с насосом	1.1. Отцентрировать насос
Давление на приеме насоса ниже нормы	1. Нарушение режима сепарации; 2. Засорен фильтр входного трубопровода; 3. Неисправность или неполное открытие задвижки;	1. Отрегулировать режим сепарации; 2. Очистить сетку; 3. Открыть задвижку, отремонтировать задвижку;

6.4.1. Первичные средства пожаротушения

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломы, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития[29].

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. На тяжелых и физических работах с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.
2. Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.
3. При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников. [36]

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870.

В соответствии с п. 1 данного постановления работникам, занятым на перечисленных видах работ, установлены следующие компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 ТК РФ;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск - не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда - не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.[36]

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1. Расчёт производственной мощности

Производственная мощность действующей установки – это максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования.

Производительность оборудования равна 6130 т/сутки.

$$M = П \cdot T_{эфф} \cdot K_{об},$$

где П – производительность оборудования в единицу времени;

$T_{эфф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

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

Эффективный фонд времени оборудования:

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

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

$T_{ППР}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{ТО}$ – время технологических остановок.

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

где $T_{кал}$ – календарный фонд времени;

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

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

В таблице 7.1 представлен баланс рабочего времени оборудования.

Таблица 7.1 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней	Количество часов
Календарный фонд времени	365	8760
Режимные потери рабочего времени		
• выходные	-	
• праздники	-	

Номинальный фонд рабочего времени	365 (8 640)	8760
Простой оборудования в ремонтах	14	336
Эффективное время работы	346	346

Производственная мощность равна:

$$M = 6130 \cdot 346 \cdot 1 = 2120935 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эфф}} / T_{\text{ном}} = 346 / 360 = 0,96.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пл}} / Q_{\text{max}} = 3780 / 4720 = 0,8,$$

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

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}} = 0,96 \cdot 0,8 = 0,77.$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M = 0,77 \cdot 2120935 = 1633120 \text{ т/год,}$$

где $K_{\text{им}}$ – коэффициент использования мощности.

Вывод: установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 77%.

7.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

7.2.1 Расчет численности персонала

В таблице 7.2 представлен расчет численности персонала работающего на установке подготовки нефти.

Таблица 7.2 – Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Профессия	Категория	Тарифный разряд	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник установки	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки		Высшее	1	1
Мастер установки		Высшее	1	2
Технолог		Высшее	1	2
Итого				6
Оператор ТУ	Производственный рабочий	5	1	2
Оператор ООУ		4	1	12
Товарный оператор		4	1	2
Итого				16
Слесарь РТУ	Ремонтно-обслуживающий персонал	4	1	8
Электрик установки		4	1	2
Слесарь КИПиА		4	1	3
Итого				13
ИТОГО				35

Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника представлен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни:		
	• выходные	180	
	• праздничные	-	
3.	Номинальный фонд рабочего времени	185	2220

4.	<p>Планируемые невыходы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение гос. обязанностей 	28 7 - 14 2	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	134	1608

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности, таблица 7.4.

Таблица 7.4 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	8 – 20	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А
2	20 – 8	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б
Отдых		В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
		Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г
Номер смены	Часы работы	Дни месяца														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	8-20	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
4	20-8	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г
Отдых		А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А
		Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б

7.2.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала

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

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + Д_{н.вр.} + Д_{пр.дни} + Д_{бриг},$$

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

$Пр$ – оплата премий, тыс. руб.;

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

$Д_{\text{пр.дни}}$ – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб.;

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

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эфф.раб}},$$

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

$T_{\text{ст}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий равен 20–70 % от тарифного фонда заработной платы. Принимаем 30%.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 30 %.

Доплата за работу в ночное время составляет 20%.

Дополнительная зарплата ($Z_{\text{доп}}$):

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}},$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для г. Стрежевого – 1,5. Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$).

В таблице 5 представлен расчет основной заработной платы персонала.

Таблица 7.5 – Таблица заработной платы персонала

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тарифная ставка, руб./час	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.					Дополнительный фонд з/п, тыс. руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб.	Общий фонд з/п с учетом районного коэф., тыс. руб.
				Тарифн. фонд	Премия	Доплата за ночн. время	Доплата за работу в празд.	Основной фонд з/п			
ИТР	6	5	113,00	1090,22	327,07	218,04	327,07	1962,40	196,24	2158,64	3237,97
Оператор ТУ	2	5	89,50	287,83	86,35	57,57	86,35	518,10	51,81	569,91	854,86
Оператор ООУ	12	4	81,10	1564,91	469,47	312,98	469,47	2816,83	281,68	3098,51	4647,77
Оператор товарный	2	4	80,00	257,28	77,18	51,46	77,18	463,10	46,31	509,41	764,12
Слесарь РТУ	8	4	78,50	1009,82	302,95	201,96	302,95	1817,68	181,77	1999,45	2999,18
Электрик установки	2	4	79,00	254,06	76,22	50,81	76,22	457,32	45,73	503,05	754,57
Слесарь КИПиА	3	4	79,00	381,10	114,33	76,22	114,33	685,97	68,60	754,57	1131,86
Итого:	35			4845,23	1453,57	969,05	1453,57	8721,41	872,14	9593,55	14390,32

7.2.3 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Расход деэмульгатора составляет 100 г/ тонну нефти.

Таблица 7.6 – Расчет годовой потребности в материалах

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.	
			На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год
Деэмульгатор	т	45000	0,0001	163,312	0,0045	7349,04
Горючие материалы	л	35	50	81656000	1,75	2857960

Таблица 7.7 – Расчет потребности в энергии

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.	
			На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год
Электроэнергия	кВт*час	2,26	0,6	979872	0,001356	2214,51

Таблица 7.8 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания:			
1.1. Насосные внутренней и внешней перекачки	2000	5	100
1.2. Операторные	1000	5	50
1.3. Административное здание	1000	5	50
Итого:	4000		200
2. Оборудование:			
2.1. Колонна	2000	10	200
2.2. Сепараторы	3000	10	150
2.3. Трубчатая печь ПТБ	3000	10	150
2.4. Электродигедратор	3000	10	150
2.5. РВС	4000	10	200
2.6. Насос ы	2500	10	250
Итого:	17500		1100
Итого общее:			1300

Таблица 7.9 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q=1633120 т/год).

№	Наименование статьи расходов	Единицы измерения	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.		Примечания
				На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год	
1	Сырье и основные материалы							V
	Деэмульгатор	т	45000	0,0001	163,312	0,0045	7349,04	
	Горючие материалы	л	35	50	81656000	1,75	2857960,00	
2	Энергия на технологические нужды							
	Электроэнергия	кВт*час	2,26	0,6	979872	0,00	2214,51	
	Итого условно-переменных издержек						2867523,55	
3	З/П основных произв. рабочих					0,00384	6266,75	C
4	Отчисления на СН (30%)					0,00115	1880,03	C
5	РСЭО							C
	Амортизационные отчисления оборудования					0,01072	17500,00	
	З/П вспомогательных рабочих					0,00299	4885,60	
	Отчисления на СН					0,00090	1465,68	
	Текущий ремонт оборудования					0,11727	191520,00	
	ИТОГО						215371,28	

Продолжение таблицы 7.9

6	Цеховые расходы							С
	Амортизационные отчисления на здания и сооружения					0,01225	20000,00	
	З/П ИТР, МОП, служащих					0,00198	3237,97	
	Отчисления на СН					0,00059	971,39	
	Охрана труда и ТБ					0,00132	2158,55	
	ИТОГО						26367,90	
7	Общезаводские расходы					0,00676	11044,70	С
8	Расходы на освоение и подготовку производства					0,00145	2373,92	С
9	Внепроизводственные расходы					0,24922	407007,66	V

7.3 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100),$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%. Принимаем 25%

Себестоимость единицы готовой продукции равно 2,166 тыс. руб.

$$Ц = 2,166 \cdot (1 + 25/100) = 2,7078 \text{ тыс. руб.}$$

Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($V_{ГП}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{ГП} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}}.$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд.}_{\text{пост}}}{Ц_{1 ГП} - \text{Изд.}_{\text{пер} 1 ГП}}, \text{ Т,}$$

где $Ц_{1 ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд.}_{1 ГП}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр} = \frac{263304,5786}{2,7078 - 2,005} = 374648,58 \text{ т.}$$

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 7.1.

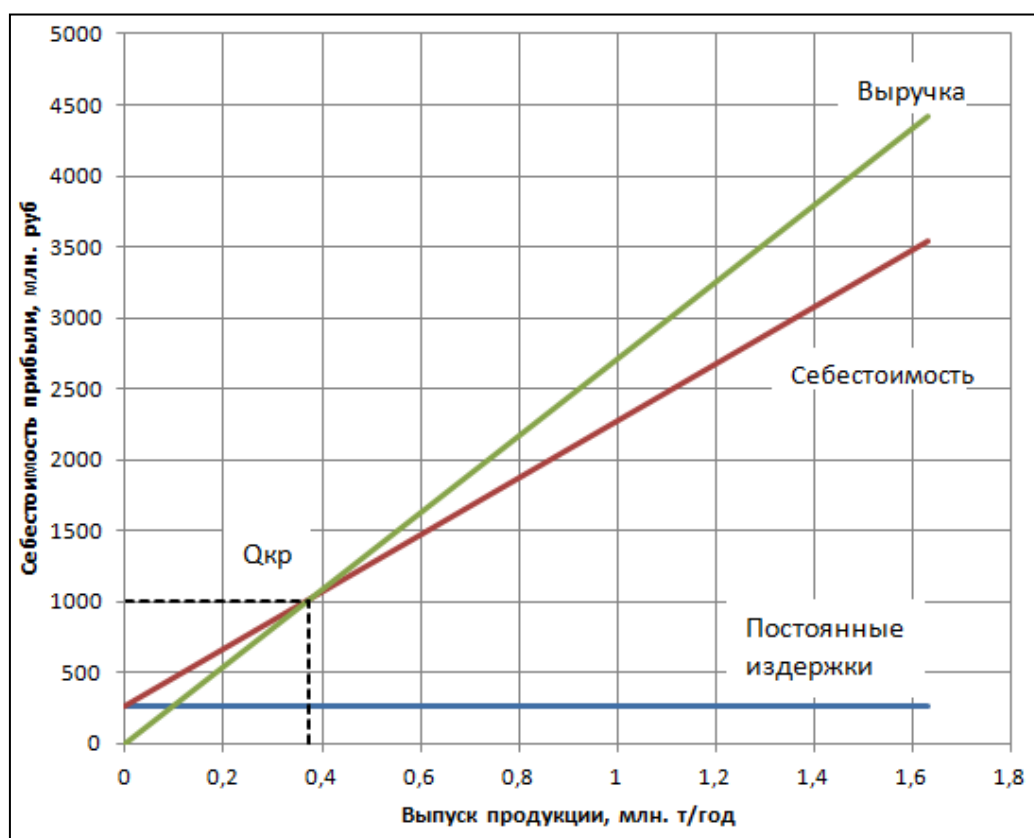


Рисунок 7.1 – График безубыточности

7.5. Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства до 2 014 888 т/год

Поскольку установка работает лишь на 77% от максимальной нагрузки, увеличим годовое производства до 95% от мощности.

Таблица 7.10 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.	
			На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год
Деэмульгатор	т	45000	0,0001	201,4888312	0,0045	9066,997403
Горючие материалы	л	35	50	100744415,6	1,75	3526054,545

Таблица 7.11 – Расчет потребности в энергии

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.	
			На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год
Электроэнергия	кВт*час	2,26	0,6	1208932,987	0,001356	2732,188551

Таблица 7.12 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства Q = 2 014 888 т/год

№	Наименование статьи расходов	Единицы измерения	Цена за ед. изм. руб.	Расход		Затраты тыс.руб.		Примечания
				На 1 т.	На N год	На 1 т.	На N год	
1	Сырье и основные материалы							V
	Деэмульгатор	т	45000	0,0001	201,48	0,0045	9066,99	
	Горючие материалы	л	35	50	100744415,6	1,75	3526054,54	
2	Энергия на технологические нужды							
	Электроэнергия	кВт*час	2,26	0,6	1208932,987	0,001356	2732,18	
	Итого условно-переменных издержек						3537853,73	
3	З/П основных произв. рабочих					0,0031102	6266,75	C
4	Отчисления на СН (30%)					0,0009331	1880,025	C
5	РСЭО							C
	Амортизационные отчисления оборудования					0,0086853	17500	
	З/П вспомогательных рабочих					0,0024248	4885,60	
	Отчисления на СН					0,0007274	1465,7	
	Текущий ремонт оборудования					0,0950524	191520	
	ИТОГО						214665,6	

Продолжение таблицы 7.12

6	Цеховые расходы							С
	Амортизационные отчисления на здания и сооружения					0,0099261	20000	
	З/П ИТР, МОП, служащих					0,001607	3237,9	
	Отчисления на СН					0,0004821	971,4	
	Охрана труда и ТБ					0,0010713	2158,54	
	ИТОГО						26367,9	
7	Общезаводские расходы					0,0054815	11044,7	С
8	Расходы на освоение и подготовку производства					0,0011782	2373,91	С
9	Внепроизводственные расходы					0,2452496	494150,58	V

7.5.1. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = 2,13 \cdot (1 + 25/100) = 2,66 \text{ тыс. руб.}$$

Для дальнейших расчетов примем цену 1 т нефти 2,7078 тыс. руб.

Анализ безубыточности по действующему производству

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{263304,5786}{2,7078 - 2,0001} = 372543,46 \text{ т}$$

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 7.2.

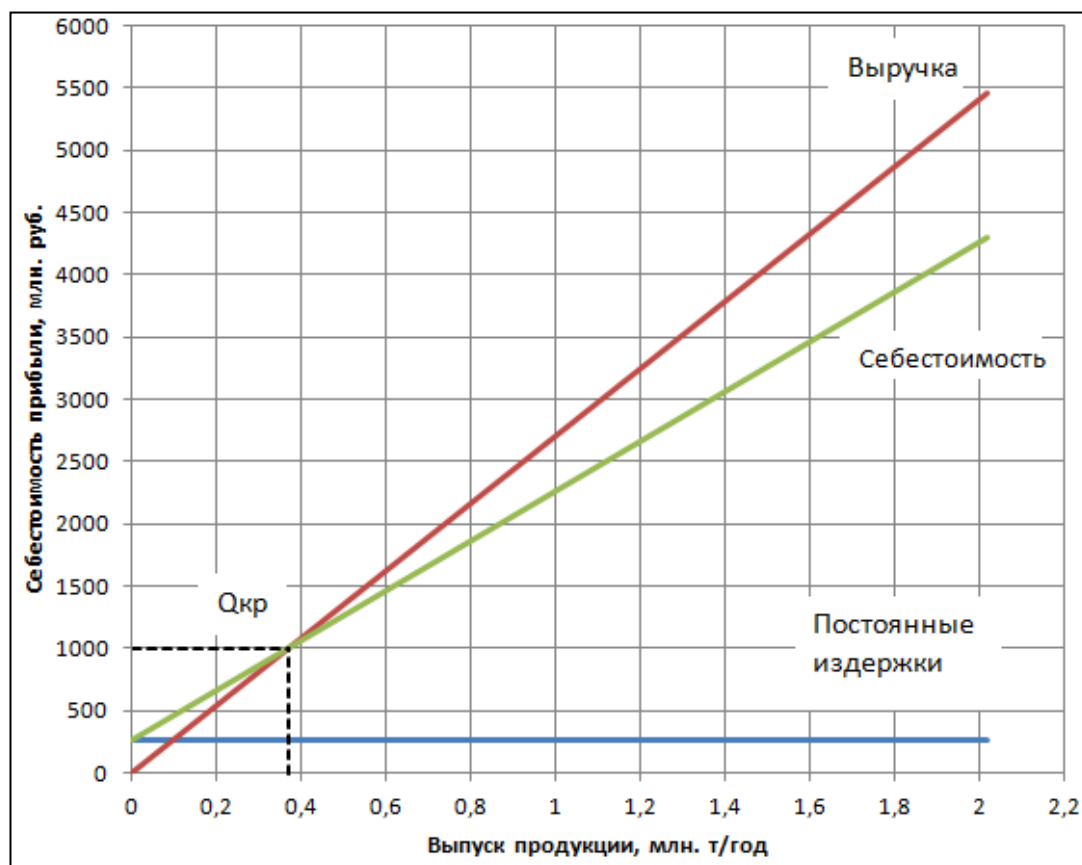


Рисунок 7.2 – График безубыточности

7.5.2. Определение технико-экономических показателей

Таблица 7.13 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год	Относительное изменение, %
1. Объем производства	т	1633120,00	2014888,31	23,3
2. Объем продаж	т	1633120,00	2014888,31	23,3
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	2,7078	2,66	1,6
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	4422294,73	5369136,11	21,4
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	3537835,79	4295308,89	21,4
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	3274531,21	4032004,31	23,1
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	263304,58	263304,58	
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	884458,95	1073827,22	21,4
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	176891,79	214765,44	21,4
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	707567,16	859061,78	21,4
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	2,166	2,13	1,66
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	17500,00	17500,00	
11. Численность основных рабочих	чел.	35,00	35,00	
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел	500,00	500,00	
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	252,70	306,81	21,4
14. Фондоёмкость (10/4)	руб./руб.	0,004	0,003	17,6
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел	126351,28	153403,89	21,4
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20,00	20,00	
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	15,9	16,00	0,63
18. Критический объем продаж (Qкр)	т.	374648,58	372543,47	0,56
19. Критический объем продаж (Qкр)	руб.	1014503,79	992728,27	2,14

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности до 2014888,3 тыс. руб. и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект, представленный в таблице 7. 14:

Таблица 7.14 – Экономический эффект

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год	Относительное изменение, %
Снижение себестоимости	тыс. руб.	2,166	2,13	1,66
Увеличение выручки от продажи	тыс. руб.	4422294,73	5369136,11	21,4
Увеличение чистой прибыли	тыс. руб.	707567,16	859061,78	21,4
Увеличение выплат по налогам	тыс. руб.	176891,79	214765,44	21,4
Увеличение показателя фондоотдачи	руб./ руб.	252,70	306,81	21,4
Увеличение производительности труда	тыс. руб./чел.	126351,28	153403,89	21,4
Увеличение рентабельности продаж	%	15,9	16	0,63
Точка безубыточности снизилась	т.	374648,579	372543,4667	0,56

Заключение

В ходе магистерской диссертации были проведены технологические расчеты, где были определены основные геометрические размеры аппаратов, а именно диаметр и длина. Конструктивные расчеты основного оборудования установки подготовки нефти предусматривали определения толщин стенок аппарата, расчет необходимого укрепления отверстий, расчет фланцевого соединения, расчет несущей способности обечаек от воздействия опорных нагрузок, а так же расчет массы аппарата, расчет и выбор стандартных опор.

В разделе «Моделирование» была разработана математическая модель трехфазного сепаратора, на основании которой получили зависимости скорости осаждения от диаметра капель воды в среде при различной температуре. Определены максимально возможные диаметры капель воды при различных температурах и расходе эмульсии. Так же была получена зависимость остаточной обводненности от расхода эмульсии при различных температурных показателях.

В разделе «Расчет средства защиты сепаратора» была разработана методика расчета и подбора предохранительного клапана для защиты от превышения давления трехфазного сепаратора в среде Wolfram Mathematica.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены как опасные и вредные факторы, электробезопасность, пожарная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в ЧС и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В разделе «Финансовый менеджмент» была рассчитана экономическая часть проекта. Были построены графики точки безубыточности.

**Список научных трудов студента 2 курса магистратуры кафедры Общей химии
и химической технологии**

**Института физики высоких технологий Томского политехнического университета,
Чернышова Александра Александровича**

№	Наименование научного труда	Руко-писн. или печ.	Издательство, журнал (номер, год)	Номер стр.	Кол-во стр.	Фамилии соавторов
1	Средства защиты трехфазного сепаратора	Печ.	Сборник научно-практической конференции «Направления и тенденции развития современной науки» //сборник материалов научно-практической конференции (23-26 декабря 2016 года), Кемерово: КНПЦ Технология Науки, 2017 – 107 с.	59-62	2	Беляев В.М.
2	Моделирование процесса подготовки промышленной нефти	Печ.	Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2017.	110-111	2	Семакина О.К.
3	Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе	В печ.	Сборник научно-практической конференции «Современная наука. Теория методология и практические результаты исследований»//сборник материалов междисциплинарной научно-практической конференции с международным участием (16 апреля 2017 г., Россия, г.Кемерово). КНПЦ Технология науки, 2017 г.		3	Семакина О.К.

Список литературы

1. Лутошкин Г.С., Дунюшкин И.И. Сборник задач по сбору и подготовке нефти, газа и воды на промыслах. – М.: Альянс, 2014. – 132 с.
2. Лацинский А.А, Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752с.
3. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.
4. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ. - Москва: Стандартиформ, 2008. - 41 с.
5. ГОСТ Р 52857.3-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внутреннем статических нагрузках. - Москва: Стандартиформ, 2009. -30 с.
6. АТК 24.218.06 - 90. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных.
7. ГОСТ Р 52857.4-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
8. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.
9. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.
10. Ушева Н.В., Кравцов А.В., Мойзес О.Е., Кузьменко, Е.А. Моделирование технологии промышленной подготовки нефти// «Томский политехнический университет» , Томск. - №4/ том308/ 2005, с. 127-130.
11. Ким С.Ф., Ушева Н.В., Самборская М.А., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А. Моделирование процессов разрушения водонефтяных эмульсий для крупнотоннажных технологий подготовки нефти// ФГБОУ ВПО

- «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск.-№8-3/2013, с.626-629.
12. Лутошкин Г.С., Дюнюшкин И.И. Сборник задач по сбору и подготовке нефти, газа и воды на промыслах: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Альянс, 2014. – 132 с.
 13. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением».
 14. АрмотуроСтроение.2014.№5: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.valve-industry.ru/archive/archive2014.php>.
 15. ГОСТ 12.2.085 – 2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
 16. Корольштейн Л.Б. О российской и зарубежной нормативно – методической документации по расчету и проектированию систем аварийного сброса / Промышленный сервис. №3. 2012. – 8с.
 17. Беляев В.М. Расчет и проектирование средств защиты. Беляев В. М. Миронов В.М., Сечин А.И. – Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.- 184 с.
 18. ГОСТ 12.2.085 - 2002 Клапаны предохранительные.
 19. ГОСТ 31378 – 2009. Нефть. Общие технические условия.
 20. ГОСТ 12.1.007 – 76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
 21. ГН 2.2.5.1313 – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
 22. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
 23. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
 24. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

25. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
26. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
27. ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.
28. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.
29. Технологический регламент «Пункт подготовки и сбора нефти (УПН «Пионерный»)».
30. РД 153-34.0-03.702-99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.
31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
32. ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
33. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
34. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. М.: БАРС, 1999 – 732с.
35. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
36. Трудовой кодекс РФ.
37. Рыжакина Т.Г. Экономика и управления производством. Расчет экономической части дипломного проекта. Учебное издание ТПУ – 2013г.

Приложение А

Форма титульного листа приложения для раздела ВКР,
выполненного на иностранном языке

Приложение (1)

Раздел (4)

Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в трехфазном сепараторе

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ51	Чернышов Александр Александрович		

Консультант кафедры ИФВТ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Игна Ольга Николаевна	Доктор пед.наук, доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИФВТ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Игна Ольга Николаевна	Доктор пед.наук, доцент		

Model operation of a separation process of a water oil emulsion in a three-phase separator.

Every year millions ton of crude oil are got and processed in Russia. An important stage in this technological line-up is high-quality preparation crude oil. At crude oil production from wells the complex crude oil mixture consisting of associated petroleum gas, reservoir water and mechanical impurities is extracted. Transportation of petroleum in this form by long distance pipelines economically is not expedient therefore crude oil by the pipeline goes for crude oil preparation installation.

Thanks to development of oil-extracting and oil-processing industry there is an improvement of technique and technology of trade collecting, preparation and transportation of oil.

Methods of mathematical modeling stand out among such improvements. Now application of analogs is an integral part of development of processes of petropreparation.

Mathematical model operation of processes of preparation of oil is an important stage for the solution of a problem of operational analysis of operating installations of preparation of naphtha and definition of the optimum technological modes.

It is necessary to apply the specialized analogs adapted to conditions of this commercial run to improvement of operation of operating plants.

Relevance of this work is caused by high-quality preparation of tank oil for the subsequent stage of processing.

Work purpose: to investigate influence of technological parameters of work of a three-phase separator on quality of training of naphtha and to construct mathematical model of a three-phase separator.

When performing this work the following tasks were set:

- To carry out the review of the modern literature on oil preparation;
- To study a physical and chemical substance of process of separation;

- To investigate influence of technological parameters on quality of training of petroleum.

When using mathematical models of processes of primary preparation of oil an opportunity for the solution of a problem of increase in overall performance of operating installation of preparation of oil increases.

For this approach it is necessary to specify the hierarchical scheme of creation of model of technology of trade preparation of oil to the level of fundamental processes with the subsequent integration them in model of devices [1].

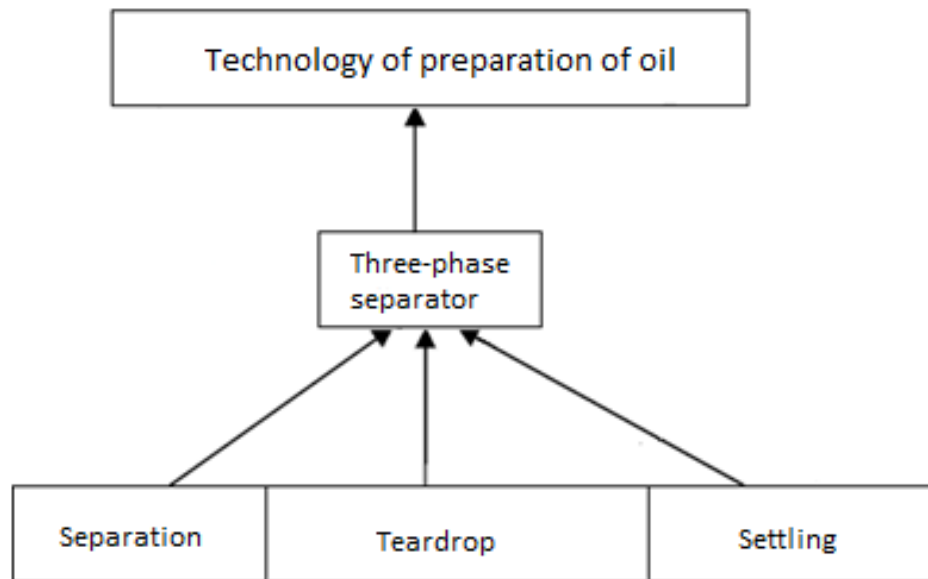


Figure 1 - Hierarchical structure of model operation of process of separation.

On the basis of this structure the mathematical model of a three-phase separator as one of the main devices of a flow diagram which includes mathematical models of processes of separation, settling and teardrop was created.

Primal problem of TFS is division of a water oil emulsion into three phases: gassing and settling of a water oil emulsion where water drops because of a difference of density of liquid phases and under the influence of gravity settle, forming a water cushion.

Process of settling in this work is described when using mathematical model on the basis of Stokes's equation:

$$\omega_{oc} = \frac{g \cdot d_{кан}^2 \cdot (\rho_B - \rho_H)}{18 \cdot \mu_H};$$

g – free-fall speed, m/s;

$d_{\text{кап}}^2$ – diameter of a drop of water, m;

ρ_B, ρ_H – density of water and oil, kg/m³;

μ_H – oil viscosity, Pa · s;

On the basis of this mathematical model dependence of fall velocity of drops of water on their diameter in the constrained conditions at various temperature (fig. 2) was received.

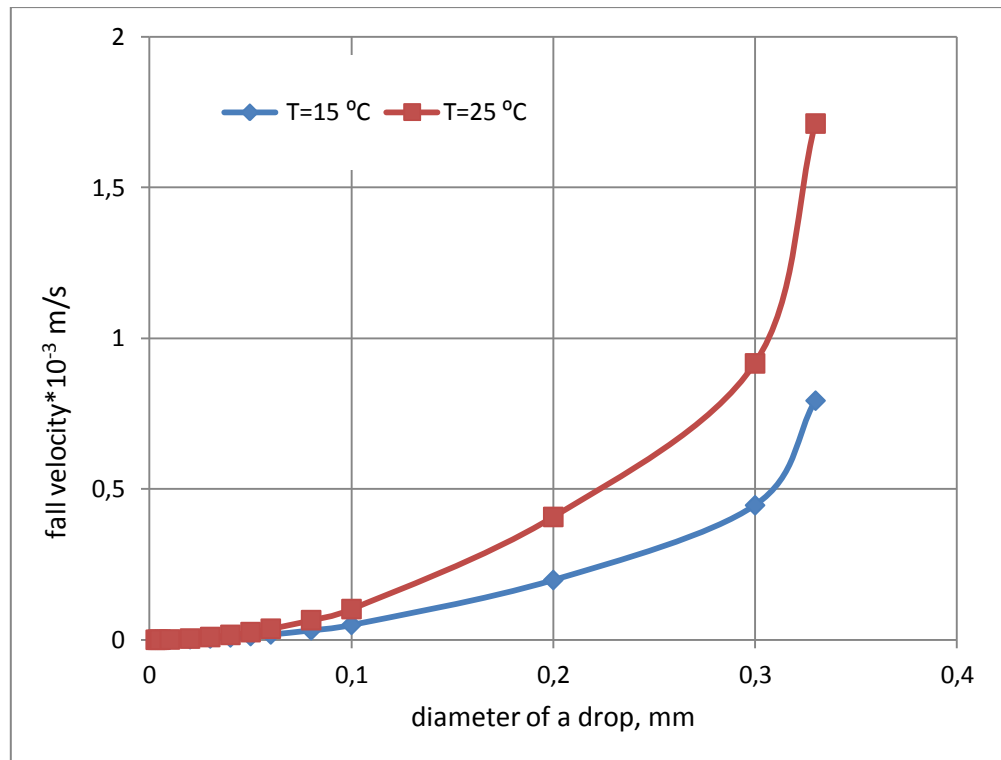


Figure 2. Dependence of fall velocity on diameter of drops at various temperature of the environment

From the schedule it is visible that at increase in diameter of drops of water and at temperature increase, fall velocity of particles increases at 8-17 times. At the same time increase in temperature from 15 increases fall velocity of drops of water to 25 °C twice.

This results from the fact that at temperature increase the interfacial tension on the phase boundary oil-water decreases, thereby reducing durability of envelopes of drops of water.

In the course of teardrop in an emulsion drops of liquid of the particular size are formed. For finding of the maximal size of drops Tronov V. P. technique is used [2]:

$$d_{\max} = 43,3 \frac{\sigma^{1,5} + 0,7 \cdot \mu_B \cdot u^{0,7} \cdot \sigma^{0,8}}{u^{2,4} \cdot Re^{0,1} \cdot \mu_B v_{CM}^{0,1} \cdot \rho_H \cdot \mu_H^{0,5}}, \quad (2)$$

d_{\max} – maximal diameter of a drop, m;

σ – the interfacial tension of oil, N/m;

μ_B – water viscosity, Pa·s;

v – kinematic viscosity of an emulsion, m²/s;

u – the peripheral speed of a stream, m/s.

On the basis of this technique maximal diameters of drops were calculated at temperatures of 15 and 25 °C, and also at change of an expense of an emulsion. Results of calculation are presented in tab. 1.

Table 1 – Results of calculation of the maximal diameter of drops at a different temperature and various expense

Oil consumption, kg/s	T=15°C	T=25°C
	Maximal diameter of a drop, m	
24,6	0,331	0,418
34,6	0,320	0,404
44,6	0,312	0,394
54,6	0,306	0,386
74,6	0,296	0,374

The main indicator of quality of oil is water content of oil on escaping of a separator. As input datas information on an expense of a stream, parameters of operation of the device and the characteristic of oil was used. Load of the device makes 54,6 kg/s at water content of oil of 25% mas.

On the basis of mathematical model residual water content of an emulsion after process of settling in TFS in the field of the laminar mode is defined:

$$\frac{18 \cdot \omega_{oc} \cdot \mu_H \cdot (1 - B)^2}{d_{\max}^2 \cdot (\rho_B - \rho_H) \cdot g \cdot ((1 - B)^2 - (1 - \frac{B}{B_0})^2)} = (1 - B)^{4,7}, \quad (3)$$

ω_{oc} – fall velocity of drops, m/s;

B, B_0 – water content of oil at the exit and on an entrance, %.

Definition of terminating water content was carried out by a method of successive approximations, at the same time the condition has to be satisfied that if, a difference of the left-hand and right member less given error, therefore, calculation of terminating water content is considered finished [2].

Results of the conducted research at a temperature of 15 and 25 °C are presented in fig. 2.

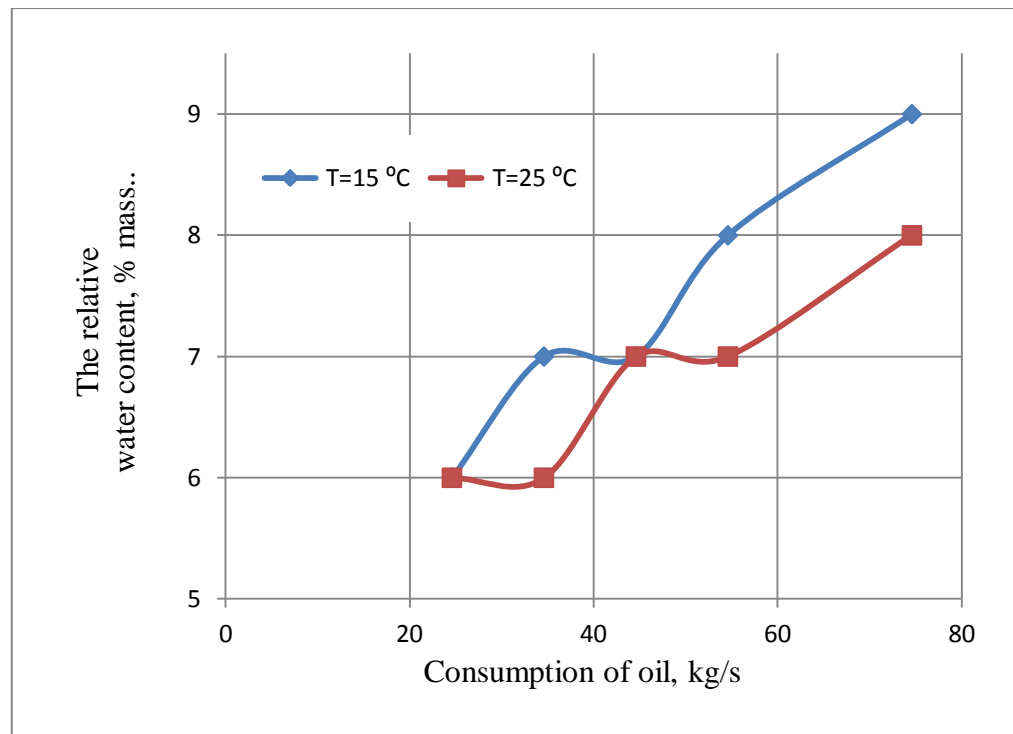


Figure 2 – Dependence of residual water content on an expense of a water oil emulsion

From the schedule it is possible to see that at increase in a consumption of oil on an entrance to TFS three times water content increases from 6 up to 9% mas., but with temperature increase in the device, decrease in water content of a water oil emulsion is observed. This results from the fact that at increase in temperature viscosity of the environment decreases, mobility of particles of water thereby increases in a disperse phase that increases the frequency of collision of particles among themselves that leads to acceleration of a coalescence of drops of liquid.

Drawing conclusions on the performed work it is possible to note that increase in load of the device more than is regulated by the producer, can lead to failure in technological process. Not to allow this problem, it is necessary to define the number in parallel of the working devices.

Use of mathematical model of process of primary preparation of oil increases overall performance of operating UPN.