

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка основного оборудования получения серо-битумной композитной эмульсии

УДК 66.02-047.84:[661.2:665.775.5]

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Чекрыжов Владимир Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына З.В.	к.э.н., доц		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОД ШБИП	Романова С.В.			

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доц		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доц		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.04.02 в 2019 г.

Код результата	Формулировка цели
P1	способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
P2	готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения
P3	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P4	готовность к коммуникации в устной и письменной форме на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
P5	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P6	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
P7	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
P8	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
P9	способность формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их
P10	способность организовать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу
P11	готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
P12	способность использовать современные методики и методы, в проведении экспериментов и испытаний, анализировать их результаты и осуществлять их корректную интерпретацию;
P13	способность составлять научно-технические отчеты и готовить публикации по результатам выполненных исследований
P14	готовность разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку
P15	готовность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению, выбору оборудования и технологической оснастки
P16	готовность к разработке технических заданий на проектирование и изготовление нестандартного оборудования
P17	способность к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго-и ресурсосбережения, к оценке экономической эффективности технологических процессов, их экологической безопасности
P18	способность оценивать инновационный и технологический риски при внедрении новых технологий
P19	способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов

Код результата	Формулировка цели
P20	способность создавать технологии утилизации отходов и системы обеспечения экологической безопасности производства
P21	способность оценивать экономические и экологические последствия принимаемых организационно-управленческих решений
P22	готовность к организации работы коллектива исполнителей, принятию решений и определению приоритетности выполняемых работ
P23	способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности, стоимости и экологической безопасности производств
P24	способность использовать современные системы управления качеством в конкретных условиях производства на основе международных стандартов
P25	готовность разрабатывать информационные системы планирования и управления предприятием
P26	способность к проектной деятельности в профессиональной сфере на основе системного подхода и использования моделей для описания и прогнозирования ситуаций, осуществления качественного и количественного анализа процессов в целом и отдельных технологических стадий
P27	способность формулировать задания на разработку проектных решений
P28	готовность к проведению патентных исследований с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и определения показателей технического уровня проекта
P29	способность проводить технические и технологические расчеты по проектам, технико-экономической, функционально-стоимостной и эколого-экономической эффективности проекта
P30	готовность к оценке инновационного потенциала проекта
P31	способность использовать пакеты прикладных программ при выполнении проектных работ
P32	способность разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ
P33	готовность к разработке учебно-методической документации для обеспечения учебного процесса
P34	готовность к постановке новых лабораторных работ и проведению практических занятий

Форма задания на выполнение ВКР в 2019 г.

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) В.М. Беляев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ71	Чекрыжов Владимир Сергеевич

Тема работы:

Разработка основного оборудования получения серо-битумной композитной эмульсии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2019 1236/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Проектируемый аппарат периодического действия предназначен для перемешивания битума и серы с помощью насоса ДС-125А через теплообменник для поддержания рабочей температуры 150 ⁰ С. В битум подается сера (порошковая) парциально до пропорции 40:50 (сера/битум) и перемешивается в течение двух часов.

<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>1. Технологический расчет. 2. Механический расчет. 3. Исследование характеристик серы 4. Анализ эффективности действующего производства. 5. Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 технологическая схема А1 Лист 2,3,4 общий вид и выносные элементы Лист 5 технико-экономические показания А1</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Анализ эффективности действующего производства</p>	<p>Криницина З.В.</p>
<p>Социальная ответственность.</p>	<p>Романова С.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение</p>	
<p>Описание технологической схемы</p>	
<p>Исследование свойств астраханской серы</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Тихонов В.В.</p>	<p>Доцент к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>КМ71</p>	<p>Чекрыжов Владимир Сергеевич</p>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 110 _____ с., _____ 13 _____ рис., _____ 21 _____ табл.,
_____ 28 _____ источников, _____ 1 _____ прил.

Ключевые слова: _____ Исследование, серо-битум, модернизация, теплообменник
труба в трубе, фланец. _____

Объектом исследования является (ются) _____ Битумно-эмульсионная _____ установка
«Давиал Базис» ООО «Дорожно-строительных материалов» _____

Цель работы – _____ Исследование астраханской серы и расчет аппарата по
приготовлению серобитума. _____

В процессе исследования проводились _____ Технологический расчет. Механический расчет:
_____ расчет фланца для патрубков входа и выхода битума, _____ расчет фланца для патрубка входа
пара, _____ расчет обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых
опор. _____ Техничко-экономическая часть. Социальная ответственность. _____

В результате исследования _____ Рассчитан аппарат для приготовления серобитума и
теплообменный аппарат труба в трубе. _____

Область применения: _____ Дорожное строительство _____

Экономическая эффективность/значимость работы _____ серобитум по себестоимости
дешевле битума, а качество значительно выше. _____

В будущем планируется _____ приготовление серобитума не только для собственного
производства, но и для продажи. _____

ESSAY

Final qualifying work 110pages, 13 figures, 21 tables, 1 appendix

Basic words: Study, sulfur-bitumen , modernization, flange, heat exchanger tube-in-tube.

Research object: Bitumen-emulsion apparatus “Davial Base” CLR “Road Building Materials”.

Purpose: research Astrakhan sulfur and design apparatus for getting sulfur – bitumen.

It was made: technological calculation, mechanical calculation for input nipple and output nipple of flange, calculation of nipple for input flange steam, calculation of shell under load bearing preventing saddle support. Technical - economical part. Social security.

Results: calculated apparatus for getting sulfur- bitumen and heat exchange tube-in-tube.

Sphere of using: road building.

Economical effect: sulfur- bitumen is cheaper than bitumen, its quality is rather higher.

Plans: getting sulfur-bitumen not only for internal producing, but also for sale.

Оглавление

Введение.....	11
1. Описание технологической схемы.....	12
1.1 Общие сведения.....	12
1.2 Изготовление серобитума.....	13
2. Технологический расчет аппарата для перемешивания серобитума.....	14
2.1 Материальный баланс.....	14
2.2 Расчет объема аппарата.....	15
2.3 Расчет патрубков.....	15
3. Механический расчет аппарата для перемешивания серы и битума.....	17
3.1. Расчет на прочность корпуса аппарата.....	17
3.1.1. Проверочный расчёт элементов корпуса от действия внутреннего давления.....	18
3.2 Расчет плоской круглой крышки.....	19
3.3 Расчет эллиптического днища.....	22
3.4. Расчет фланцевого соединения.....	24
3.4.1 Угловая податливость фланцев.....	30
3.4.2 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.....	33
3.4.3 Расчет фланцев на статическую прочность.....	34
3.5 Расчет и подбор опор.....	36
3.6 Расчет тепловой изоляции аппарата для приготовления серобитума.....	39
4. Технологический расчет теплообменника труба в трубе.....	40
4.1 Тепловой расчет теплообменника.....	40
4.2 Расчет ориентировочной площади поверхности и выбор теплообменника.....	41
4.3 Расчет скорости потока.....	41
4.4 Коэффициент теплоотдачи от стенки к битуму.....	42
4.5 Расчетная площадь поверхности теплопередачи.....	43
4.6 Выбор теплообменника.....	43
4.7 Расчет диаметра патрубков для входа пара и выхода конденсата.....	43

4.7.1 Расчет диаметра патрубка входа пара $d_{п.п.}$	43
4.7.2 Расчет диаметра патрубка для выхода конденсата $d_{п.к.}$	44
5. Механический расчет теплообменного аппарата труба в трубе.....	44
5.1. Расчет на прочность наружной трубы теплообменника.....	44
5.1.1. Проверочный расчёт элементов корпуса от действия внутреннего давления.....	46
5.1.2. При гидравлических испытаниях.....	46
5.2 Расчет фланца на подачу пара.....	47
5.3. Угловая податливость фланцев.....	52
5.3.1 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.....	54
5.3.2 Расчет фланцев на статическую прочность.....	55
5.4 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор.....	58
5.5 Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.....	62
5.6 Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла.....	63
5.7 Расчет тепловой изоляции теплообменника труба в трубе	67
5.8 Выбор питателя и бункера для серы.....	69
6. Исследование свойств астраханской серы.....	70
7. Анализ эффективности действующего производства.....	74
7.1Предпроектный анализ.....	74
7.2 SWOT-анализ.....	74
7.3 Расчёт производственной мощности.....	75
7.4 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	77
7.4.1 Расчет численности персонала.....	77
7.4.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала.....	78
7.4.3 Расчет затрат на производство продукции.....	80
7.5 Определение цены готовой продукции.....	82
7.6 Анализ безубыточности по действующему производству.....	82

7.7 Определение технико-экономических показателей.....	84
8. Социальная ответственность.....	87
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	88
8.2.Производственная безопасность.....	89
8.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	89
8.3 Экологическая безопасность.....	93
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
Заключение.....	98
Список публикаций студента.....	99
Список литературы.....	100
Приложение 1 на английском языке.....	102

Введение

Одним из критериев уровня развития стран является состояние дорожной сети. В настоящее время транспортно – эксплуатационные характеристики большинства отечественных автомобильных дорог отстают от мирового уровня. Поэтому в последние годы появилась необходимость создания дорожных покрытий повышенной долговечности.

Битумы и битумоминеральные композиции являются одними из наиболее распространенных материалов, используемых в строительстве покрытий. Однако сроки службы битумных покрытий в несколько раз меньше нормативных. Разработка путей повышения качества и долговечности битумов и материалов на их основе представляется весьма актуальной задачей, позволяющей решать проблему надежности и долговечности работы покрытий.

Свойства асфальтобетона значительно улучшаются при введении в массу полимерных добавок либо при модификации битумных вяжущих полимерными соединениями. Как правило, полимерные добавки химически не взаимодействуют с битумом. Растворяясь или диспергируясь в битуме, они способствуют упрочнению его структуры. Благодаря этому полимербитумная композиция приобретает ряд ценных физико-механических свойств, присущих вводимым полимерам и устойчивость к старению.

Свойства битумов существенно улучшаются при совмещении их с структурирующими полимерами – поливинилацетат, полистирол, синтетические каучуки и латексы, низкомолекулярный полиэтилен и полиизобутилен, полипропилен и сополимеры этилена с пропиленом.

1. Описание технологической схемы

1.1 Общие сведения

В настоящее время на рынке все чаще и чаще происходит рост цен на нефтепродукты и битум. Статистика рынка битумов показывает, что основными показателями рынка, являются, качество и цена. Себестоимость серобитума на 35-40% ниже обычного. Важность работы состоит в том, что для производства серобитума мы используем отходы химических производств, битум, сера, катализатор - продукты отходов переработки нефти.

Представление о смешивании серы с битумом возникла давно, с целью удешевления дорожного строительства и утилизации отходов нефти продуктов. Было использовано несколько попыток реализовать этот процесс, но он имел ряд существенных недостатков, а именно: сера и битум смешивались только в пропорции 20 :80; - при нагреве этой смеси более 140° С происходило бурное выделение сероводорода; смесь битум и сера в этом соотношении не обеспечивало качества битума для дорожных работ. Все это делало процесс трудно реализуемым.

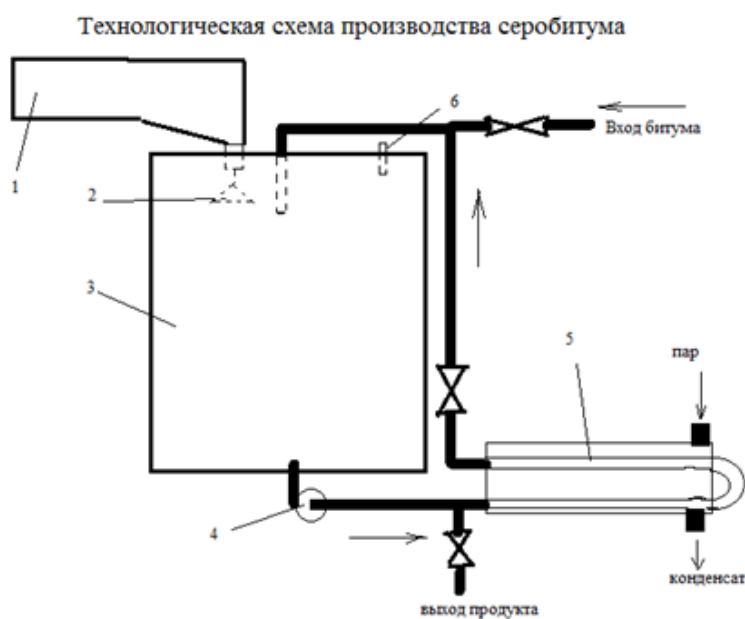
Нами предложена уникальная технология для получения не физической смеси серы и битума, а образования химической связи серы и битума с образованием битумных полимеров, примерно подобную структуру имеет тиокол. Данная технология становится возможной при применении нами катализатора.

Серобитум обладает комплексом положительных свойств. К ним в первую очередь относятся: уменьшение использования битума на 40-50% в сероасфальтобетоне. Повышаются деформативные свойства, при этом значительно возрастает прочность и теплостойкость продукта, стабильность в агрессивных средах, высокая морозостойкость и низкое водопоглощение, а также трещеноустойчивость.

1.2 Изготовление серобитума

Серобитум изготавливается путем смешивания компонентов: битум, сера и катализатор. Схема приготовления продукта показана на рисунке 1.

Для приготовления серобитума требуется заполнить бункер дозатор (1) серой, наполнить аппарат (3) битумом (5000 кг). Пустить пар в теплообменник (5), для прогрева.



1- Бункер дозатор серы, 2-рассеиватель, 3- аппарат для перемешивания серобитума, 4- насос, 5- теплообменник труба в трубе, 6- патрубок для подачи серы.

Рисунок 1. Схема приготовления серобитума.

Запускаем насос (4) на циркуляцию через теплообменник (5). Если температура битума меньше 140°C , ждем, пока температура станет нужной ($140\text{-}150^{\circ}\text{C}$). Включаем таймер регулятор, который регулирует подачу серы из бункера дозатора (1), и регулирует подачу катализатора через патрубок (6). В течении 30 минут в аппарат (3) сыпется порциями сера и течет катализатор. Насос (4) все это перемешивает в течении двух часов.

Через два часа сера и битум станут однородной массой. Серобитум перекачивается в емкость для хранения, либо в асфальтобетонную установку.

2. Технологический расчет аппарата для перемешивания серобитума

Проектируемый аппарат периодического действия предназначен для перемешивания битума и серы с помощью насоса ДС-125А через теплообменник для поддержания рабочей температуры 150°C. В битум подается сера (порошковая) парциально допропорции 40:50 (сера/битум) и перемешивается в течение $\tau = 2$ ч.

2.1 Материальный баланс

S – Сера

Б – Битум БНД 90/130

К – Катализатор (1-аминонафталин)

S/Б – Продукт серобитум

$$S + Б + К = S/Б$$

Битум:

$\rho = 820 \text{ кг/м}^3$ - плотность битума

$m_b = 5000 \text{ кг}$ - масса битума загружаемая в аппарат

Расчетный объем битума за один период работы аппарата

$$V_b = m/\rho = 5000/ 820 = 6,09 \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

Сера:

$\rho_{\text{насып}} = 960 \text{ кг/м}^3$ насыпная плотность

$\rho_{\text{ист.}} = 2000 \text{ кг/м}^3$ истинная плотность

$m_s = 4000 \text{ кг}$ масса серы

Объем серы за один период работы аппарата

$$V_s = m_s/ \rho = 4000/ 2000 = 2 \text{ м}^3 \quad (2.1.a)$$

Катализатор добавляют 1.5% от массы серы.

$\rho = 1114 \text{ кг/м}^3$ (1-аминонафталин)

$m_k = 30 \text{ кг}$ – масса катализатора за один период работы аппарата

Объем катализатора

$\rho = 1114 \text{ кг/м}^3$ Плотность катализатора

m_k - Масса катализатора

$$V_k = m_k / \rho = 30 / 1114 = 0,053 \text{ м}^3 \quad (2.1.6)$$

Общий объем серобитума

V_b - Объем битума за один период

V_s - Объем серы за один период

V_k - Объем катализатора за один период

$$V_{\text{общ}} = V_b + V_s + V_k = 6,09 + 2 + 0,053 = 8,14 \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

Общая масса серобитума

m_b - масса битума за один период

m_s - масса серы за один период

m_k - масса катализатора за один период

$$M = m_b + m_s + m_k = 5000 + 4000 + 60 = 9060 \text{ кг} \quad (2.3)$$

2.2 Расчет объема аппарата

Принимаем размеры аппарата для перемешивания серы, катализатора и битума: высота 3 м, диаметр 2 м.

Выбираем объем аппарата V_a на 15% больше расчетного.

$V_{\text{общ}}$ – Общий объем серобитума за один период

$$V_a = 1,15 * V_{\text{общ}} = 9,36 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

2.3 Расчет патрубков

Расчет диаметра патрубка для подачи серы $d_{п.с.}$

Скорость подачи серы в аппарат

Время перемешивания серобитума 2 часа, 1,5 часа подается нужный объем серы и катализатора, 30 минут перемешивается весь объем.

Принимаем скорость подачи серы $\omega_c = 0,04 \text{ м/с}$

Определим массовый расход серы M_s

$$M_s = m_s / 5400 = 0,74 \text{ кг/с} \quad (2.5)$$

Находим объемный расход серы:

V – Объемный расход серы

Насыпная плотность серы $\rho_c = 960 \text{ кг / м}^3$

M_s - Массовый расход серы

ρ_c – Насыпная плотность серы

$$V = \frac{M_s}{\rho_c} = \frac{0.74}{960} = 0.00077 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (2.6)$$

Расчетный диаметр патрубка

V - Объемный расход серы

ω_c - Скорость подачи серы $\omega_c = 0,04 \text{ м/с}$

$$d_{п.с.} = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * \omega_c}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00077}{3.14 * 0,04}} = 0.44 \text{ м} \quad (2.7)$$

Принимаем стандартный диаметр 0,45м

Патрубки входа и выхода битума принимаем 0,1м

Расчет диаметра патрубка подачи катализатора $d_{п.к.}$

Принимаем скорость подачи катализатора $\omega_k = 2,5 \text{ м/с}$

$V_k = 0,0098 \text{ м}^3/\text{с}$ – объемный расход катализатора

$$d_{п.к.} = \sqrt{\frac{4 * V_k}{\pi * \omega_k}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0098}{3.14 * 2,5}} = 0.025 \text{ м} \quad (2.8)$$

Выбираем патрубки:

- 2 патрубка, входа и выхода битума $d_{п.б.} = 0,1 \text{ м}$, длина патрубка $H = 0,12 \text{ м}$.
- патрубков подачи серы $d_{п.с.} = 0,45 \text{ м}$, длина патрубка $H = 0,12 \text{ м}$.
- патрубков подачи катализатора $d_{п.к.} = 0,025 \text{ м}$, длина патрубка $H = 0,12 \text{ м}$.

3. Механический расчет аппарата для перемешивания серы и битума

3.1. Расчет на прочность корпуса аппарата

Исходные данные:

$D := 2000$ Внутренний диаметр (мм)

$H_{ц} := 3.0$ Высота цилиндрической части (м)

$P := 0.1$ Рабочее давление (МПа)

$t_c := 150$ Температура среды ($^{\circ}\text{C}$)

$\rho_c := 820$ Плотность среды ($\text{кг}/\text{м}^3$)

$\Pi := 0.1$ Скорость коррозии ($\frac{\text{мм}}{\text{год}}$)

$\tau := 10$ Срок эксплуатации (лет)

Принимаем сталь 20

Коэффициент прочности φ_1 для продольных сварных швов аппарата, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с односторонним сплошным проваром по длине контролируемых швов 100%, принимаем [1]:

$\varphi_1 := 1$

Согласно имеющимся исходным и справочным данным ведём расчёты согласно формулам ГОСТ34233.1-2017:

Допускаемое напряжение согласно ГОСТ Р 34233.1-2017 таблица А.1 :

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 145 \end{pmatrix}$$

$t_p := 150$

$$\sigma_d := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5) \quad (3.1)$$

$\sigma_d = 145$ МПа

Предел текучести согласно ГОСТ Р 34233.1-2017 таблица Б.1

$\sigma_{T20} := 224$ МПа

Прибавка к расчетной толщине стенки аппарата:

C_1 - прибавка на коррозию и эрозию

C_2 - прибавка на компенсацию минусового допуска

Полная прибавка:

$$c_1 := P \cdot \tau$$

$$C_2 := 1_{\text{мм}}$$

$$C := c_1 + C_2 \quad (3.2)$$

$$C = 2 \text{ мм}$$

Выбираем вид испытаний:

- гидравлический, как наиболее безопасный и наиболее распространённый.

Определим допускаемое напряжение для условий испытания:

$$n := 1.1$$

для сталей, согласно ГОСТ для условий гидравлических испытаний

σ_{T20} - предел текучести при 20 С°

$$\sigma_{и} := \frac{\sigma_{T20}}{n} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{и} = 203.636 \text{ МПа}$$

Согласно ГОСТ Р 34233.1-2017 округляем и получаем значение σ :

$$\underline{\sigma_{и}} := \text{Floor}(\sigma_{и}, 0.5)$$

$$\sigma_{и} = 203.5 \text{ МПа}$$

3.1.1. Проверочный расчёт элементов корпуса от действия внутреннего давления:

p_p - расчетное давление

$\sigma_{и}$ – допускаемое напряжение для условий испытания

$\sigma_{д}$ - допускаемое напряжение

$$P_p := P \text{ МПа}$$

$$P_p = 0.1$$

$$P_{и} := 1.25 \cdot P \cdot \left(\frac{\sigma_{и}}{\sigma_{д}} \right) \quad (3.4)$$

$$P_{и} = 0.175 \text{ МПа}$$

Расчётную и исполнительную толщины стенки цилиндрической части рассчитаем по формуле:

p_p - расчетное давление

$P_{И}$ - давление для испытаний

D - внутренний диаметр аппарата

$$Sp1 := \max\left(\frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi_1 \cdot \sigma_d - P}, \frac{P_{И} \cdot D}{2 \cdot \varphi_1 \cdot \sigma_{и} - P_{И}}\right) \quad (3.5)$$

$$Sp1 = 0.862 \text{ мм}$$

$$S1 := \text{Ceil}(Sp1 + C + C_{2,1}) \quad (3.6)$$

$$S1 = 4 \text{ мм}$$

Проверка условия использования формулы для расчёта значения $Sp1$:

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S1 - C}{D} \leq 0.3 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$$

Толщину цилиндрической стенки аппарата принимаем стандартную 6 мм.

3.2 Расчет плоской круглой крышки:

$$p := 0.1 \text{ МПа}$$

расчетное внутреннее избыточное давление;

$$c := 2 \text{ мм}$$

сумма прибавок к расчетным толщинам стенок;

$$S_1 := 6 \text{ мм}$$

исполнительная толщина стенки обечайки;

$$D_1 := 2012 \text{ мм}$$

наружный диаметр аппарата;

$$\phi := 0.9$$

коэффициенты прочности сварных швов;

$$d_1 := 25 \text{ мм}$$

отверстие для подачи катализатора

$$d_2 := 100 \text{ мм}$$

отверстие для подачи битума

$$d_3 := 450 \text{ мм}$$

отверстие для подачи серы (люк лаз)

Марка стали Сталь 20

$$\text{tipK} := 5$$

$$\underline{K} := \begin{cases} 0.53 & \text{if tipK} = 1 & = 0.45 \\ 0.50 & \text{if tipK} = 2 \\ 0.45 & \text{if tipK} = 3 \\ 0.41 & \text{if tipK} = 4 \\ 0.45 & \text{if tipK} = 5 \\ 0.50 & \text{if tipK} = 6 \\ 0.41 & \text{if tipK} = 7 \\ 0.41 & \text{if tipK} = 8 \\ 0.35 & \text{if tipK} = 9 \\ 0.41 & \text{if tipK} = 10 \\ 0.40 & \text{if tipK} = 11 \\ 0.41 & \text{if tipK} = 12 \end{cases}$$

$$K = 0.45$$

коэффициент для условной расчетной схемы;

Выбираем марку стали:

$$Ms := 1$$

Для марок стали: Ст20

$$\sigma := \begin{cases} 310 & \text{if Ms} = 1 \\ 350 & \text{if Ms} = 2 \\ 400 & \text{if Ms} = 3 \\ 450 & \text{if Ms} = 4 \\ 500 & \text{if Ms} = 5 \end{cases}$$

$$\sigma = 310 \text{ МПа}$$

Толщину крышки аппарата работающих под внутренним избыточным давлением, вычисляют по формулам:

$$S_2 \geq S_1 + c$$

$$S_2 = K \cdot K_0 D_1 \sqrt{\frac{p}{\phi \cdot (\sigma)}} \quad (3.7)$$

Максимальную сумму для длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральной сечении днища или крышки определяют согласно по формуле:

$$d_i := \max[(d_1 + d_3), (d_2 + d_3)] = 550 \quad (3.8)$$

$$K_0 := \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{d_i}{D_1}\right)^3}{1 - \left(\frac{d_i}{D_1}\right)}} \quad (3.9)$$

$$K_0 = 1.161$$

Толщину днища рассчитываем по формуле:

$$S_2 := K \cdot K_0 D_1 \sqrt{\frac{p}{\phi \cdot (\sigma)}}$$

$$S_2 = 19.902 \text{ мм}$$

$$c = 2 \text{ мм}$$

Во всех случаях присоединения крышки к обечайке минимальная толщина плоской круглой крышки должна быть не менее толщины обечайки.

$$S_2 \geq S_1 + c$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } S_2 \geq S_1 + c \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{if } S_2 < S_1 + c \end{cases}$$

Пров3 = "Условие выполняется"

Принимаем толщину плоской крышки 20 мм

Основные расчетные размеры отверстий указаны на рисунках 2,3

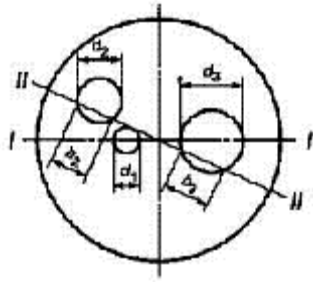


Рисунок 2 расчетные размеры отверстий вид сверху

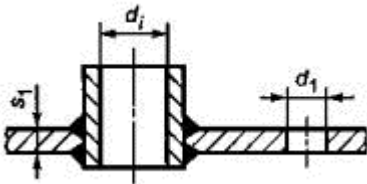


Рисунок 3 расчетные размеры отверстий вид сбоку

Допускаемое давление на плоскую крышку вычисляют по формуле:

$$P_d := \left(\frac{S_2 - c}{K \cdot K_0 \cdot D_1} \right)^2 \cdot \sigma \cdot \phi \quad (3.10)$$

$$P_d = 0.081 \text{ МПа}$$

Проверка условий $P_d > P$:

$$Prov4 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } P_d \geq p \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{if } P_d < p \end{cases}$$

Prov4 = "Условие выполняется"

Выбираем стандартную толщину крышки: 20 мм

3.3 Расчет эллиптического днища

$$\sigma_{dop} := 144 \text{ МПа}$$

Диаметр отверстия в эллиптическом днище:

$$d_{otd} := 100 \text{ мм}$$

Коэффициент K, эллиптического днища и обечайки:

$$K_{dk} := 0.45$$

Коэффициент учитывающий отверстие в эллиптическом днище:

$$K_{do} := \sqrt{1 + \left(\frac{d_{otd}}{D_1}\right) + \left(\frac{d_{otd}}{D_1}\right)^2} \quad (3.11)$$

$$K_{do} = 1.026$$

Тип днища, в зависимости от типа аппарата:

$$\text{Typedn} := \begin{cases} 0 & \text{if typeapp} = 0 \\ 0 & \text{if typeapp} = 1 \\ 1 & \text{if typeapp} = 2 \\ 1 & \text{if typeapp} = 3 \\ 0 & \text{if typeapp} = 4 \\ 0 & \text{if typeapp} = 5 \\ 2 & \text{if typeapp} = 6 \\ 2 & \text{if typeapp} = 7 \\ 3 & \text{if typeapp} = 8 \\ 3 & \text{if typeapp} = 9 \end{cases}$$

эллиптическое днище

$$\text{Typedn} := 0$$

$$s_{dR1} := \begin{cases} p \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{dop} - 0.5p} & \text{if Typedn} = 0 \\ p \cdot \frac{D_1}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{dop} - p) \cdot \cos(45\text{deg})} & \text{if Typedn} = 1 \\ p \cdot \frac{D_1}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma_{dop} - p) \cdot \cos(60\text{deg})} & \text{if Typedn} = 2 \\ K_{dk} \cdot K_{do} \cdot \frac{D_1}{\sqrt{\frac{p}{\phi \cdot \sigma_{dop}}}} & \text{if Typedn} = 3 \end{cases}$$

$$s_{dR1} = 0.776 \text{ мм}$$

$$s_{dR2} := \begin{cases} p \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - 0.5 \cdot p} & \text{if Typedn} = 0 \\ p \cdot \frac{D_1}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma - p) \cdot \cos(45\text{deg})} & \text{if Typedn} = 1 \\ p \cdot \frac{D_1}{(2 \cdot \phi \cdot \sigma - p) \cdot \cos(60\text{deg})} & \text{if Typedn} = 2 \\ K_{dk} \cdot K_{do} \cdot \frac{D_1}{\sqrt{\frac{p}{\phi \cdot \sigma \cdot dop}}} & \text{if Typedn} = 3 \end{cases}$$

$$p_i := p = 0.1$$

$$p_i = 0.1$$

$$s_{dR2} = 0.361$$

расчетная толщина стенки эллиптического днища

$$s_{dR} := \max(s_{dR1}, s_{dR2})$$

$$s_{dC} := s_{dR} + c \quad (3.13)$$

$$s_{dC} = 2.776 \text{ мм}$$

примем стандартную толщину стенки по ГОСТ19903-74

$$s_{dS} := 6 \text{ мм}$$

$$a_{d2} := \frac{(s_{dS} - c)}{D_1} \quad (3.14)$$

$$a_{d2} = 1.988 \times 10^{-3}$$

Так как $0.0019 < 0.1$ то условие применимости формул выполняется

Таким образом как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях прочность выполняется.

3.4. Расчет фланцевого соединения

Расчет производим для патрубка подачи битума

По диаметру патрубка подбираем по ГОСТ54432 - 2011 фланец и рассчитываем его на прочность.

Исходные данные:

$$\underline{D} := 100 \text{ мм}$$

$$h := 17 \text{ мм}$$

$$\underline{P} := 0.6 \text{ МПа}$$

$$D_H := 205 \text{ мм}$$

$$h_{\Pi} := 3 \text{ мм}$$

$$M := 0 \text{ Н*мм}$$

$$D_{\delta} := 170 \text{ мм}$$

$$S_0 := 5 \text{ мм}$$

$$\underline{F} := 0 \text{ Н}$$

$$D_{\text{сп}} := 130 \text{ мм}$$

$$d := 18 \text{ мм}$$

$$c_o := 1 \text{ мм}$$

$$b_{\Pi} := 20 \text{ мм}$$

$$\underline{n} := 4$$

$$t := 150^{\circ}\text{C}$$

Материал патрубков и фланцев - сталь 20

Материал болтов - сталь 20

Материал прокладки - паронит ПОН.

Фланцы плоские, неизолированные (см. рис.4)

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

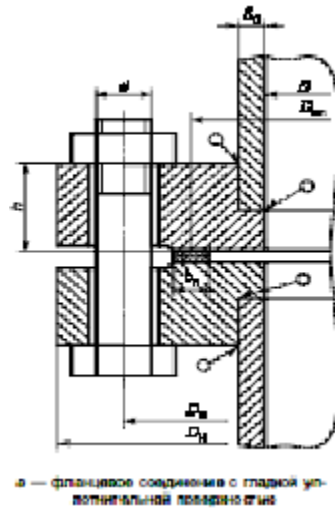


Рисунок 4 Размеры фланца с гладкой уплотнительной поверхностью

Выбор крепежных элементов:

$$b_s := 1 \quad (\text{болтовое})$$

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

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

$$t_\phi := 0.96 \cdot t$$

Расчетная температура болтов

$$t_b := 0.85 \cdot t$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 20 ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

$$t_\phi = 144 \quad t_b = 127.5$$

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 145 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_b), 0.5)$$

$$\sigma_{д.б} = 146.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре ГОСТ34233.1-2017

таблица В.1

$$E_b := 2.14 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20^{\circ}\text{C}$ ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

$$\sigma_{206} := 147 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20°C

ГОСТ34233.1-2017 таблица В.1

$$E_{206} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 20 при $t = 20-150^{\circ}\text{C}$

ГОСТ34233.1-2017 таблица Г.1

$$\alpha_6 := 12.28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 20 ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 145 \end{pmatrix}$$
$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5)$$

$$\sigma = 145 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \tag{3.1}$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} = 145 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 20 при рабочей температуре ГОСТ34233.1-

2017таблица В.1

$$E := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 20 при $t = 20^{\circ}\text{C}$ ГОСТ34233.1-

2017таблица А.1

$$\sigma_{20} := 147 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 147 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 20 при температуре испытания 20 °С
ГОСТ34233.1-2017 таблица В.1

$$E_{20} := 2.0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 20 при $t = 20 - 150$ °С
ГОСТ34233.1-2017 таблица Г.1

$$\alpha_{\phi} := 12.28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\Pi} := 26 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 20 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице 4.6

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad (3.15)$$

$$P_{\text{обж}} = 6.126 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 1.225 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по [таблице 4.3](#)

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}}$$

$$A_{\text{б}} = 900 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad (3.16)$$

$$Q_{\text{д}} = 7.964 \times 10^3 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad (3.17)$$

$$Q_{\text{FM}} = 0 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad (3.18)$$

$$y_{\text{п}} = 1.271 \times 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 50 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := \begin{cases} L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_{\text{б}} = 55.04 \text{ мм} \quad (3.20)$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 2.805 \times 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (3.21)$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 22.361 \text{ мм} \quad (3.22)$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 2.05 \quad (3.23)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.487 \quad (3.24)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 3.15 \quad (3.25)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 2.886 \quad (3.26)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 1.625 \quad (3.27)$$

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

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

$$f := 1$$

- коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 2.672 \quad (3.28)$$

3.4.1 Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 1.675 \times 10^{-9} \quad (3.29)$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\phi}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\phi H} = 4.089 \times 10^{-10} \quad (3.30)$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\phi}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1.381 \quad (3.31)$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{\text{пр}} := D$$

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

$$b := 0.5(D_{\phi} - D_{\text{сп}}) \quad b = 20 \quad (3.32)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad e = 12.5 \quad (3.33)$$

Эквивалентная толщина втулки плоских фланцев

$$S_{\text{э}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\phi} \cdot \frac{E_{206}}{E_{\phi}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 3.378 \times 10^5 \quad (3.34)$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\phi} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 0.85 \quad (3.35)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\phi} + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\phi} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\phi}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.285 \quad (3.36)$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) \right] \quad (3.37)$$

$$Q_t = 2.327 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

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

$$P_{\phi 1} = 1.902 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 6.126 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{\phi 2} = 5.292 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\phi M} := \max(P_{\phi 1}, P_{\phi 2})$$

$$P_{\bar{6}M} = 5.292 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\bar{6}p} := P_{\bar{6}M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{сп}} \quad (3.38)$$

$$P_{\bar{6}p} = 5.644 \times 10^4 \text{ Н}$$

3.4.2 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\bar{6}1} := \frac{P_{\bar{6}M}}{A_{\bar{6}}} \quad \sigma_{\bar{6}1} = 58.8 \text{ МПа} \quad (3.39)$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\bar{6}2} := \frac{P_{\bar{6}p}}{A_{\bar{6}}} \quad \sigma_{\bar{6}2} = 62.713 \text{ МПа} \quad (3.40)$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{6}1} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{6}2} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

$$\sigma_{\bar{6}1} = 58.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\bar{6}2} = 62.713 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} = 147 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.6} = 146.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\sigma_M}, P_{\sigma_p})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 5.315 \text{ МПа} \quad (3.41)$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$U_{sl_2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_2} = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$

$$q = 5.315 \text{ МПа}$$

$$q_d = 130 \text{ МПа}$$

3.4.3 Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\sigma_M} \cdot b \quad M_M = 1.462 \times 10^6 \text{ Н*мм} \quad (3.42)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{\sigma_p} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e] \quad (3.43)$$

$$M_p = 1.696 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0M} = 341.885 \text{ МПа} \quad (3.44)$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 36.344 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} \quad \sigma_{ТМ} = 86.918 \text{ МПа} \quad (3.45)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 396.791 \text{ МПа} \quad (3.46)$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 6.036 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 42.181 \text{ МПа} \quad (3.47)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 100.877 \text{ МПа} \quad (3.48)$$

Проверка условий статической прочности фланцев

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

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{0M} + \sigma_{RМ} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{ТМ} \right| \right)$$

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

KT = 1.3 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

При расчете без учета стесненности температурных деформаций KT = 1.

$K_T := 1.3$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{TM} < \sigma_{206} \wedge \sigma_{Tp} < \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$\sigma_{TM} = 86.918$ МПа; $\sigma_{206} := 147$ МПа; $\sigma_{Tp} = 100.877$ МПа;

$\sigma_{д.ф} = 145$ МПа

3.5 Расчет и подбор опор

Опоры-лапы служат для установки аппаратов на фундамент и несущие конструкции. Размеры и форма, которых зависит от величины и характера нагрузок. Опоры-лапы испытывают нагрузку от общего веса аппарата в рабочих условиях, а цапфы только от веса корпуса аппарата при монтаже (без привода и среды). Максимальный вес аппарата рассчитывается с учётом веса всех составных частей аппарата и максимального веса среды.

Вес составных частей принимаем по ГОСТ 6533-78 для эллиптических частей, содержащий информацию о массе типовых элементов, остальное вычисляем приближённо.

Масса крышки аппарата:

V – Объем крышки аппарата

ρ - Плотность стали 20

$$m_{кр} = V * \rho = 0.039 * 7800 = 304,2 \text{ кг}; \quad (3.49)$$

Масса цилиндрической обечайки корпуса:

D_H – Наружный диаметр обечайки

D_B - Внутренний диаметр обечайки

ρ_k - Плотность стали 20

L – Высота аппарата

$$m_{об} = 2\pi \cdot l \cdot \rho_k \left(\left(\frac{D_H}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_6}{2} \right)^2 \right) = 2 \cdot 3.14 \cdot 3,3 \cdot 7800 \left(\left(\frac{2,112}{2} \right)^2 - \left(\frac{2,1}{2} \right)^2 \right) = 2043,61 \text{ кг}; \quad (3.50)$$

Масса аппарата

$m_{об}$ -Масса цилиндрической обечайки корпуса

$m_{\partial} = 256,59 \text{ кг}$ -Масса эллиптического днища аппарата

$m_{кр}$ - Масса крышки аппарата

$$m_a = m_{кр} + m_{\partial} + m_{об}. \quad (3.51)$$

$$m_a = 304,2 + 256,59 + 2043,61 = 2604,4 \text{ кг}.$$

При расчёте максимального веса рабочей среды, предполагаем, что аппарат заполнен полностью рабочей средой

$$m_c = \rho \cdot V, \quad (3.49)$$

где $\rho=820 \text{ кг/м}^3$ – плотность рабочей среды, $V= 11,42 \text{ м}^3$ – номинальный объём аппарата, тогда:

$$m_c=820 \cdot 11,42=9367,76 \text{ кг},$$

Нагрузка на опоры:

$$G = (m_a + m_c) \cdot g, \quad (3.51)$$

$$G = (2604,4 + 9367,76) \cdot 9.81 = 117 \cdot 10^3 \text{ кН}.$$

Выбранный типоразмер опоры-лапы проверяется на грузоподъёмность по условию:

$$G_{он} < G_{дон},$$

где

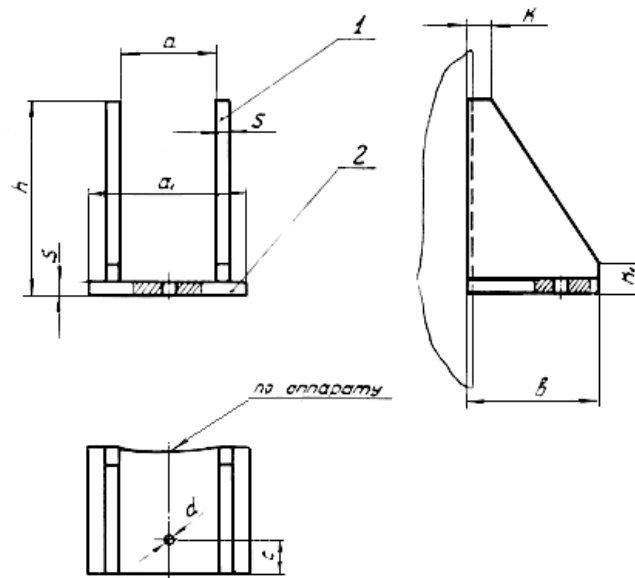
$$G_{оп} = \frac{G}{n_{оп}} = \frac{117 \cdot 10^3}{4} = 29,36 \cdot 10^3 \text{ кН}, \quad (3.52)$$

где $n_{оп}=4$ – число опор-лап.

$G_{доп}$ – допустимая нагрузка на опору, выбираем опору с $G_{доп}=30$ кН, для опоры с увеличенным вылетом, так как аппарат с теплоизоляцией

$$29,36 \text{ кН} < 30 \text{ кН}.$$

условие выполняется.



1 – косынка, 2 – основание

Рисунок. 5 – Опора по ОСТ 26-01-153-82

Окончательно принимаем по ОСТ 26-01-153-82 [8] опоры с размерами:

Таблица. 3.5.1 - Размеры опор

Допускаемая нагрузка на одну опору, Н	Тип опоры	a	a ₁	b	c	h	S	K	K ₁	d	Масса, кг
40000	1	150	230	170	45	305	30	60		35	5,93

3.6 Расчет тепловой изоляции аппарата для приготовления серобитума

Допустимая температура поверхности изоляции:

$$t_{из} = 45 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Температура окружающего воздуха:

$$t_{в} = 20 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Коэф-т теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху:

$$\alpha = 9,47 + 0,07 \cdot (t_{из} - t_{в}) = 9,47 + 0,07 \cdot (45 - 20) = 11,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} . \quad (3.53)$$

Наружная поверхность теплообмена:

$$F_{п} = 2\pi \cdot R \cdot H + 2\pi R^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 3,3 + 2 \cdot 3,14 \cdot 1,05^2 = 13,51 \text{ м}^2; \quad (3.54)$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{пот.} = \alpha \cdot F_{п} \cdot (t_{из} - t_{в}) = 11,22 \cdot 13,51 \cdot (45 - 20) = 3790,67 \text{ Вт}. \quad (3.55)$$

Коэф-т теплопроводности изоляционного материала (асбест):

$$\lambda_{из} = 0,157 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} .$$

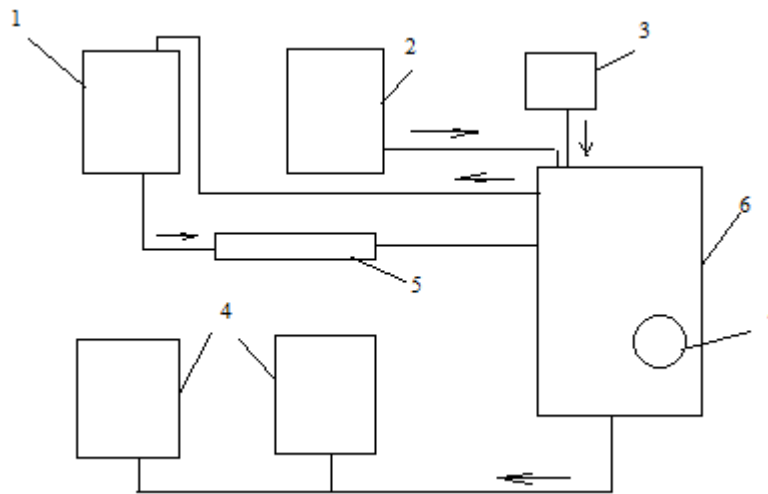
Толщина изоляционного слоя $\delta_{из}$:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} / Q_{пот.} \cdot F_{п} \cdot (t_{ср} - t_{из}) = 0,157 / 3790,67 \cdot 13,51 \cdot (145 - 45) = 0,055 \text{ м}. \quad (3.56)$$

Принимаем толщину изоляции 60мм.

Вывод: Аппарат для перемешивания битума с серой спроектирован как штучное изделие и будет оснащен дополнительным, стандартным оборудованием, автоматическим бункером-дозатором и автоматизированным насосом для подачи ПАВ веществ.

4. Технологический расчет теплообменного аппарата труба в трубе



1 – Емкость битума, 2- емкость вода, 3- емкость кислоты, 4-емкость битумной эмульсии, 5- теплообменный аппарат, 6 установка по производству битумной эмульсии, 7- емкость эмульгатора.

Рис. 6 Технологическая схема по производству битумной эмульсии.

Проектируемый теплообменник периодического действия показан в схеме на рисунке 6, предназначен для нагрева битума с температурой $t_n = 80^\circ\text{C}$ до рабочей $t_k = 142^\circ\text{C}$, насыщенным паром с температурой $T = 164.2^\circ\text{C}$ за время $\tau = 2$ часа, количество битума $m = 10$ тонн. Битум движется по теплообменнику с помощью насоса ДС- 125А при давлении $P = 0,6$ МПа.

4.1 Тепловой расчет теплообменника

$T = 164.2^\circ\text{C}$ Температура греющего пара

$t_n = 80^\circ\text{C}$ Начальная температура битума

$t_k = 142^\circ\text{C}$ Конечная температура битума

$G = 10$ т Масса нагреваемого битума

$\tau = 2$ ч Время нагревания битума

Количество теплоты, отдаваемое паром битуму:

$$Q = G * c_x * (t_k - t_n) = 10000 * 1680 * (142 - 80) = 1041.6 * 10^6 \text{ Дж} \quad (4.1)$$

Здесь $c_x = 1680$ Дж/ (кг*К) – удельная теплоемкость битума при средней температуре 110°C .

Средняя разность температур для периодического процесса нагрева битума в сосуде:

$$\Delta t_{cp.} = (t_k - t_n) / 2.3 * \text{Log} * ((T - t_n) / (T - t_k)) = \\ = (142 - 80) / 2.3 \text{Log} * ((164.2 - 80) / (164.2 - 142)) = 46.61^\circ\text{C} \quad (4.2)$$

Массовый расход пара:

$$Q = r * M_{п} ;$$

По таблице LVII [1, с. 550] где удельная теплота парообразования $r = 2075$ кДж/ кг при температуре 164.2°C .

$$M_{п} = Q / r = 1041.6 * 10^6 / 2075 * 10^3 = 552.2 \text{ кг} \quad (4.3)$$

4.2 Расчет ориентировочной площади поверхности и выбор теплообменника

Определим ориентировочно значение площади поверхности теплообмена, приняв $K_{cp} = 200$ Вт / ($\text{м}^2 \cdot \text{K}$) по [1, с.172 табл.4.8], при теплообмене от жидкости к жидкости для (углеводородов и масел):

$$F_{op} = Q / K_{ст} * \Delta t_{cp.} * \tau = 1041.6 * 10^6 / 200 * 46.6 * 7200 = 15.5 \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

Из величины ориентировочного значения площади поверхности теплообмена

$F_{op} = 15.5 \text{ м}^2$ следует, что проектируемый теплообменник типа «труба в трубе» Предварительно выбираем по ТУ 3612 – 014- 00220302-99

ТТОН – 1-89/133 – 1.6/1.6 – 6 –Г –М1 –У

4.3 Расчет скорости потока

Аппарат изготовленный из труб $133 \cdot 6$ мм(наружная труба) и $89 \cdot 5$ мм (внутренняя труба).

Битум движется по теплообменнику с помощью насоса ДС- 125 А, с производительностью:

$$G = 42 \text{ т/ч} = 11.7 \text{ кг/с.}$$

$$V = G / \rho = 11.7 / 1100 = 0.0106 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (4.5)$$

Определим скорость и критерий Рейнольдса для битума:

$$\omega = 4 * V / \pi * d^2 = 4 * 0.0106 / 3.14 * 0.079^2 = 2.16 \text{ м/с} \quad (4.6)$$

где $d = 0.079$ мм – внутренний диаметр внутренней трубы, вязкость битума

$$\mu_6 = 1.32 \text{ Па} * \text{с} ;$$

$$Re = \rho * \omega * d / \mu_6 = 1100 * 2.16 * 0.079 / 1.32 = 142.2 \quad (4.7)$$

Критерий Пекле:

$$Pe = \rho * \omega * d * c_x / \lambda = 1100 * 2.16 * 0.079 * 1680 / 0.18 = 1751904 \quad (4.8)$$

Критерий Грасгофа:

Где физические свойства греющего вещества:

$$\text{Коэффициент объемного расширения } \beta = 6 * 10^{-4} \text{ K}^{-1} ;$$

$$\text{Кинематический коэффициент вязкости } \nu = 12 * 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\begin{aligned} Gr &= (g * d^3) / \nu^2 * \beta * \Delta t = \\ &= ((9.81 * 0.079^3) / 12 * 10^{-4}) * 6 * 10^{-4} * 54.2 = 97.3 \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\Delta t = T - t_{cp} = 164.2 - 110 = 54.2 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

Критерий Прандтля:

$$Pr = c_x * \mu_6 / \lambda = 1680 * 1.32 / 0.18 = 12320 \quad (4.11)$$

$$Pr * Gr = 12320 * 97.2 = 1198142.5 \quad (4.12)$$

Критерий Нуссельта:

$$\begin{aligned} Nu &= 0.022 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * (\mu / \mu_{ст}) \\ Nu &= 0.022 * 142.2^{0.8} * 12320^{0.4} * (1.32 / 0.165)^{0.14} = 67.3 \end{aligned} \quad (4.13)$$

4.4 Коэффициент теплоотдачи от стенки к битуму

$$Nu = (\alpha * d) / \lambda;$$

$$\alpha_1 = (Nu * \lambda) / d = (67.3 * 0.18) / 0.079 = 153.3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К}) \quad (4.14)$$

α_2 – Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке.

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0.728 * \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 * \rho^2 * g * r}{\mu * \Delta t * d}} = \\ &= 0.728 * \sqrt[4]{\frac{0.68^3 * 900^2 * 9.81 * 2075 * 10^3}{0.18 * 54.2 * 0.089}} \approx 2600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К}) \end{aligned} \quad (4.15)$$

Коэффициент теплопередачи K :

Где, S – толщина стенки внутренней трубы;

r_1, r_2 – термическое сопротивление стенки и загрязнений (1. Таблица XXXI).

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \left(\frac{S}{\lambda} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) =$$

$$= \frac{1}{153.3} + \frac{1}{2600} + \left(\frac{0.005}{46} + \frac{1}{1160} + \frac{1}{5800} \right) = 0.00805 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

$$K = \frac{1}{0.00805} = 124.2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.16)$$

4.5 Расчетная площадь поверхности теплопередачи

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t \cdot \tau} = \frac{1041.6 \cdot 10^6}{124.2 \cdot 46.6 \cdot 7200} = 24.99 \text{ м}^2 \quad (4.17)$$

С запасом 10% : $F_p = 27.3 \text{ м}^2$

$F_{1э}$ - площадь поверхности теплообмена одного элемента длиной 6 метров :

$$F_{1э} = \pi \cdot d \cdot L = 3.14 \cdot 0.089 \cdot 6 = 1.68 \text{ м}^2 \quad (4.18)$$

4.6 Выбор теплообменника

$$Z = \frac{F_p}{F_{1э}} = \frac{24.99}{1.68} = 14.8 \approx 15 \text{ шт} \quad (4.19)$$

По ТУ 3612 – 014- 00220302-99 выбираем теплообменник «Труба в трубе» ТТОН – 1-89/133 – 1.6/1.6 – 6 –Г –М1 –У . Длину теплообменных труб выбираем 6 метров, в количестве 15 штук.

4.7 Расчет диаметра патрубков для входа пара и выхода конденсата

4.7.1 Расчет диаметра патрубка входа пара $d_{п.п.}$:

$$d_{п.п.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.021}{3.14 \cdot 40}} = 0.026 \text{ м} \quad (4.20)$$

Скорость потока пара принимаем: $\omega = 40 \text{ м} / \text{с}$.

V – объемный расход греющего пара.

Находим объемный расход греющего пара:

$$V = \frac{M_{п.п.}}{\rho_{п.п.}} = \frac{0.076}{3.59} = 0.021 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (4.21)$$

$M_{п.п.} = 0.076 \text{ кг} / \text{с}$

Плотность пара при температуре 164.2°C $\rho = 3.59 \text{ кг} / \text{м}^3$

Расчетный диаметр патрубка пара $d_{п.п.} = 0.026 \text{ м}$, принимаем стандартный

$d_{п.п.} = 0.025 \text{ м}$, длину принимаем стандартную $H = 0.12 \text{ метра}$.

4.7.2 Расчет диаметра патрубка для выхода конденсата $d_{п.к.}$

$$d_{п.к.} = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * \omega}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00008}{3.14 * 2.5}} = 0.0065 \text{ м} \quad (4.20)$$

Скорость потока воды принимаем: $\omega = 2.5 \text{ м / с}$.

V – объемный расход греющего пара.

Находим объемный расхода конденсата:

$$V = M_{\text{конд.}} / \rho_{\text{конд.}} = \frac{0.076}{900} = 0.00008 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (4.21)$$

$$M_{\text{конд.}} = 0.076 \text{ кг / с}$$

Плотность воды при температуре 164.2°C $\rho = 900 \text{ кг / м}^3$

Расчетный диаметр патрубка конденсата $d_{п.к.} = 0.0065$ метра, принимаем стандартный диаметр $d_{п.к.} = 0.025$ метра. Длину патрубка принимаем стандартную $H = 0.12$ метра.

5. Механический расчет теплообменного аппарата труба в трубе

5.1. Расчет на прочность наружной трубы теплообменника

Исходные данные:

$D := 121$ Внутренний диаметр (мм)

$Hц := 1.5$ Высота цилиндрической части (м)

$P := 0.7$ Рабочее давление (МПа)

$tс := 164$ Температура среды ($^\circ\text{C}$)

$\rhoс := 3.591$ Плотность среды (кг/м^3)

$\Pi := 0.01$ Скорость коррозии ($\frac{\text{мм}}{\text{год}}$)

$\tau := 10$ Срок эксплуатации (лет)

Коэффициент прочности φ_1 для продольных сварных швов труб, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с односторонним сплошным проваром по длине контролируемых швов 100%, принимаем [1]:

$$\varphi_1 := 1$$

Согласно имеющимся исходным и справочным данным ведём расчёты согласно формулам ГОСТ 34233.1-2017:

Допускаемое напряжение согласно ГОСТ 34233.1-2017 таблица А.1 :

$$t := \begin{pmatrix} 80 \\ 164 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 143 \\ 138 \end{pmatrix}$$
$$tp := 164$$
$$\sigma_d := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, tp), 0.5) \quad (5.1)$$
$$\sigma_d = 138 \text{ МПа}$$

Предел текучести согласно ГОСТ 34233.1-2017 таблица Б.1

$$\sigma_{T20} := 220 \text{ МПа}$$

Прибавка на коррозию

$$c1 := P \cdot \tau$$

Полная прибавка:

$$C := c1$$

$$C = 0.1 \text{ мм}$$

Выбираем вид испытаний - гидравлический, как наиболее безопасный и наиболее распространённый.

$$n := 1.1$$

для сталей, согласно ГОСТ [3] для условий гидравлических испытаний

Определим допускаемое напряжение для условий испытания:

$$\sigma_{и} := \frac{\sigma_{T20}}{n} \quad \sigma_{и} = 200 \text{ МПа} \quad (5.2)$$

Согласно ГОСТ 34233.1-2017 округляем и получаем значение σ :

$$\underline{\sigma_{и}} := \text{Floor}(\sigma_{и}, 0.5)$$

$$\sigma_{и} = 199.5 \text{ МПа}$$

Определяем значение пробного давления при рабочем давлении P , заданном изначально:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P \cdot \left(\frac{\sigma_{и}}{\sigma_d} \right) \quad P_{и} = 1.265 \text{ МПа} \quad (5.3)$$

Давление столба жидкости определим по формуле:

$$P_{\Gamma} := \frac{(\rho c \cdot 9.81 \cdot H_{\text{ц}})}{10^6} \quad P_{\Gamma} = 5.284 \times 10^{-5} \text{ МПа} \quad (5.4)$$

5.1.1. Проверочный расчёт элементов корпуса от действия внутреннего давления

$$P_p := P + P_{\Gamma} \quad (5.5)$$

$$P_p = 0.7 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{и}}}{\sigma_{\text{д}}} \right)$$

$$P_{\text{и}} = 1.265 \text{ МПа}$$

Расчётную и исполнительную толщину стенки цилиндрической части трубы рассчитаем по формуле:

p_p - расчетное давление

$\sigma_{\text{и}}$ - допускаемое напряжение для условий испытания

$\sigma_{\text{д}}$ - допускаемое напряжение

$$Sp1 := \max \left(\frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi_1 \cdot \sigma_{\text{д}} - P}, \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \varphi_1 \cdot \sigma_{\text{и}} - P_{\text{и}}} \right) \quad (5.6)$$

$$S1 := \text{Ceil}(Sp1 + C, 1)$$

$$S1 = 1$$

Проверка условия использования формулы для расчёта значения $Sp1$:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S1 - C}{D} \leq 0.3 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$$

$$Sp1 = 0.385 \text{ мм}$$

5.1.2. При гидравлических испытаниях:

Для трубной части теплообменника:

$$P_{\text{и1}} := 2 \cdot \varphi_1 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \frac{(S1 - C)}{D + (S1 - C)} \quad (5.7)$$

$$P_{\text{и1}} = 2.946 \text{ МПа}$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_H \leq P_{H1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие прочности выполняется"

5.2 Расчет фланца на подачу пара

По внутренней трубе аппарата подбираем по ГОСТ54432 - 2011 фланец и рассчитываем его на прочность.

Исходные данные:

$$D := 26 \text{ мм}$$

$$h := 18 \text{ мм}$$

$$P := 0.7 \text{ МПа}$$

$$D_H := 115 \text{ мм}$$

$$h_{fl} := 0.5 \text{ мм}$$

$$M := 0 \text{ Н*мм}$$

$$D_6 := 85 \text{ мм}$$

$$S_0 := 3.2 \text{ мм}$$

$$F := 0 \text{ Н}$$

$$D_{сп} := 54 \text{ мм}$$

$$d := 14 \text{ мм}$$

$$c_0 := 1 \text{ мм}$$

$$b_{fl} := 10 \text{ мм}$$

$$n := 4$$

$$t := 164 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Материал обечаек и фланцев - сталь 20

Материал болтов - сталь 20

Материал прокладки - паронит ПОН.

Фланцы плоские, неизолированные (см. рис.7)

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

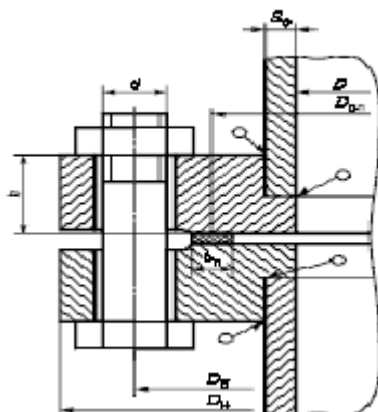


Рисунок 7 -Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью.

Выбор крепежных элементов:

$b_s := 1$ (болтовое)

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

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

$$t_\phi := 0.96 \cdot t \quad t_\phi = 157.44 \text{ C}^\circ$$

Расчетная температура болтов

$$t_b := 0.85 \cdot t \quad t_b = 139.4 \text{ C}^\circ$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 20 ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

В рабочем состоянии

$$t_w := \begin{pmatrix} 80 \\ 164 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 143.25 \\ 138.16 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_b), 0.5) \quad \sigma_{д.б} = 139.5 \text{ МПа} \quad (5.1)$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре ГОСТ34233.1-2017

таблица В.1

$$E_b := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

$$\sigma_{206} := 147 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20 °С

ГОСТ34233.1-2017 таблица В.1

$$E_{206} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 20 при t = 80-164 °С

ГОСТ34233.1-2017 таблица Г.1

$$\alpha_6 := 12.28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 20 ГОСТ34233.1-2017 таблица А.1

$$t := \begin{pmatrix} 80 \\ 164 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 143.25 \\ 138.16 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma = 138.5 \text{ МПа} \quad (5.1)$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф}} = 138.5 \text{ МПа} \quad (5.8)$$

Модуль упругости для стали 20 при рабочей температуре ГОСТ34233.1-2017 таблица В.1

$$E := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 20 при t = 20 °С ГОСТ34233.1-2017

таблица А.1

$$\sigma_{20} := 147 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 147 \text{ МПа} \quad (5.9)$$

Модуль упругости для стали 20 при температуре испытания 20 °С

ГОСТ34233.1-2017 таблица В.1

$$E_{20} := 2.0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 20 при t = 20 -164 °С

ГОСТ34233.1-2017 таблица Г.1

$$\alpha_{\phi} := 12.28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\pi} & \text{if } b_{\pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_{\pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_0 = 10 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по [таблице 4.6](#)

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 1.484 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.10)$$

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

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

$$R_{\pi} = 2.969 \times 10^3 \text{ Н}$$

Площадь поперечных сечений болтов (шпилек) по ГОСТ 12414-94 из [таблицы 1](#).

$$f_{\text{б}} := 153 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}}$$

$$A_{\text{б}} = 612 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad Q_d = 1.603 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.11)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

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

Податливость прокладки

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad y_{п} = 1.326 \times 10^{-6} \text{ мм/Н} \quad (5.12)$$

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

$$L_{60} := 50 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases}$$

$$L_6 = 53.92 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 4.041 \times 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (5.13)$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 9.121 \text{ мм} \quad (5.14)$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 4.423 \quad (5.16)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 0.946 \quad (5.17)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 1.465 \quad (5.18)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 1.339 \quad (5.19)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 1.108 \quad (5.20)$$

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

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

$$f := 1$$

λ - коэффициент

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 26.404 \quad (5.21)$$

5.3. Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 1.015 \times 10^{-9} \quad (5.22)$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_\delta}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 3.07 \times 10^{-10} \quad (5.23)$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_\delta}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1.021 \quad (5.23)$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{пр} := D$$

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

$$b := 0.5(D_6 - D_{\text{сп}}) \quad b = 15.5 \quad (5.23)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad e = 12.4 \quad (5.24)$$

Эквивалентная толщина втулки плоских фланцев

$$S_3 := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 4.447 \times 10^5 \quad (5.25)$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} \quad \alpha = 0.578$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_6 + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.167 \quad (5.26)$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] \quad Q_t = 3.547 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.27)$$

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

$$P_{61} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right] \quad P_{61} = 3.895 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 1.484 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.28)$$

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206}) \quad P_{62} = 3.599 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{6\text{м}} := \max(P_{61}, P_{62}) \quad P_{6\text{м}} = 3.599 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{6\text{р}} := P_{6\text{м}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \quad (5.29)$$

$$P_{6\text{р}} = 4.021 \times 10^4 \text{ Н}$$

5.3.1 Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6\text{м}}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 58.8 \text{ МПа} \quad (5.30)$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6\text{р}}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 65.701 \text{ МПа} \quad (5.31)$$

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

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

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

$$\sigma_{61} = 58.8 \text{ МПа} \quad \sigma_{62} = 65.701 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{206} = 147 \text{ МПа} \quad \sigma_{д.6} = 139.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

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

$$q = 23.702 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

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

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

$$q = 23.702 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

5.3.2 Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 5.697 \times 10^5 \text{ Н*мм} \quad (5.32)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e] \quad (5.32)$$

$$M_P = 6.568 \times 10^5 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

S_0 - толщина стенки патрубка

$D_{пр}$ - диаметр прокладки

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 171.451 \text{ МПа} \quad (5.33)$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 8.678 \text{ МПа} \quad (5.34)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 80.917 \text{ МПа} \quad (5.35)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 197.684 \text{ МПа} \quad (5.36)$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 7.944 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 10.006 \text{ МПа} \quad (5.37)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 93.298 \text{ МПа} \quad (5.38)$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{Op} - \sigma_{Omp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{Op} - \sigma_{Omp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{Op} + \sigma_{Omp}| \end{array} \right) \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max(|\sigma_{Om} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{Om} + \sigma_{Tm}|)$$

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

KT = 1.3 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

При расчете без учета стесненности температурных деформаций KT = 1.

K_T := 1.3

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{Tm} < \sigma_{206} \wedge \sigma_{Tp} < \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$\sigma_{Tm} = 80.917$ МПа; $\sigma_{206} := 147$ МПа; $\sigma_{Tp} = 93.298$ МПа; $\sigma_{д.ф} = 138.5$ МПа;

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 6.979 \times 10^{-4} \quad (5.39)$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$\Theta_d := 0.013$

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

5.4 Расчёт обечайки нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением

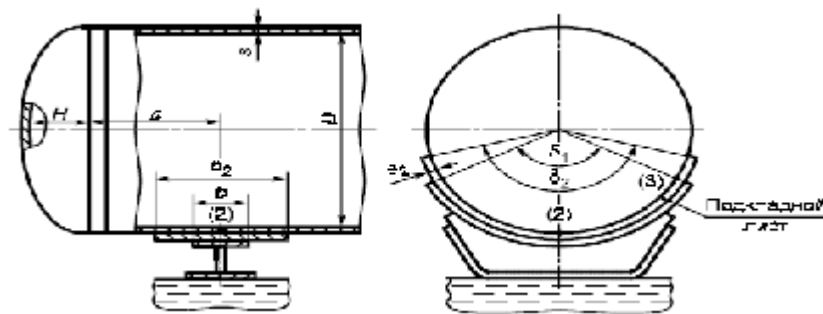


Рисунок 8 Седловая опора

Исходные данные:

$\rho := 7859$ Аппарат изготовлен из стали 20

$H := 0$ Плотность материала, кг/м³

$L := 6340$ Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;

$D := 121$ Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;

$P_{rab} := 0.7$ Внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм;

$\phi := 1$ Внутреннее избыточное или наружное давление, МПа

$E := 1.91 \cdot 10^5$ Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;

$b := 250$ Модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа
ширина седловой опоры, мм;

$s_2 := 6$ Исполнительная толщина подкладного листа, мм;

$b_2 := 300$ Ширина подкладного листа, мм;

$\sigma_t := 138$ Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_T := 207.6$ Предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{20} := 147$ Допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

$a := 2000$ Длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;

$e := a + H$ Длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм;

$t_{rab} := 164$ Рабочая температура в аппарате, °С;

$c := 1.5$ Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

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

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

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

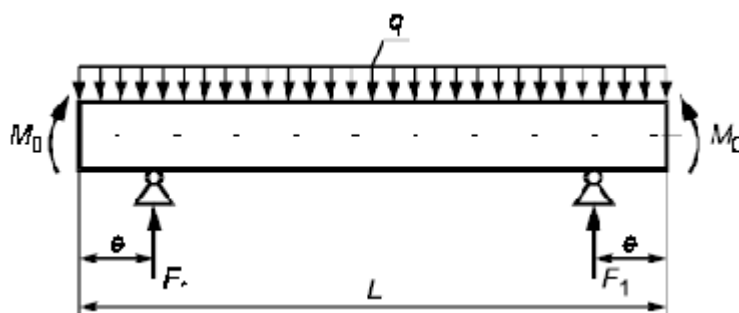


Рисунок 9 Действия сил на опору

Выберите условие нагружения:

$z := 1$

Внутреннее давление

Выбираем условие работы аппарата:

$o := 1$

Рабочие условия

Расчётные данные:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{rab}, 20) & \text{if } o = 1 \\ 20 & \text{if } o = 2 \end{cases} \quad t = 164 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по ГОСТ Р 34233.1-2017 при расчётной температуре $t=164^\circ\text{C}$

$$\sigma_d := \begin{cases} \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5) & \text{if } o = 1 \\ \text{Floor}\left(\frac{\sigma_T}{1.1}, 0.5\right) & \text{if } o = 2 \end{cases} \quad \sigma_d = 138 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := \begin{cases} p_{rab} & \text{if } o = 1 \\ 1.25 \cdot p_{rab} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} & \text{if } o = 2 \end{cases} \quad p = 0.7 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p} \quad (5.40)$$

$$\underline{s} := \text{floor}(s_r + c + 1) \quad s = 2 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление

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

$$P_d := \begin{cases} P_{dp} \leftarrow \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \\ B_1 \leftarrow \min\left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}}\right] \\ P_{dE} \leftarrow \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D}\right]^{2.5} \\ P_d \leftarrow \frac{P_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{dp}}{P_{dE}}\right)^2}} \end{cases} \quad P_d = 0.012 \text{ МПа}$$

Вес аппарата:

$$A_k := 377 \cdot D$$

- площадь калача

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

- площадь корпуса

$$\begin{aligned} \underline{G} := & \begin{cases} A_k \leftarrow 377 \cdot D \\ A1 \leftarrow \pi \cdot D \cdot L \\ m_k \leftarrow \rho \cdot (2 \cdot A_k \cdot s + A1 \cdot s) \cdot 10^{-9} \\ G \leftarrow 9.8 \cdot m_k \end{cases} & G = 385.287 \text{ Н} \end{aligned}$$

Проверка применимости формул:

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

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

Нагрузки на корпус аппарата:

(5.41)

$$\underline{q} := \frac{G}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} \quad q = 0.061 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (5.42)$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} \quad M_0 = 55.609 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Опорное усилие:

$$F_1 := \frac{G}{2} \quad F_1 = 192.644 \text{ Н} \quad (5.43)$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \quad M_1 = 1.215 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.44)$$

Максимальный момент между опорами:

(5.45)

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

$$M_{12} = -7.989 \times 10^4$$

$$\text{Н} \cdot \text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 \quad Q_1 = 71.102 \text{ Н} \quad (5.46)$$

5.5 Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_d := \begin{cases} M_p \leftarrow \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c)(s - c) \cdot \sigma_d \\ M_E \leftarrow \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} \\ M_d \leftarrow \frac{M_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_p}{M_E} \right)^2}} \end{cases} \quad M_d = 6.896 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Дополнительные вычисления:

K9 - коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью

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

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

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

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

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

$$K_9 := \max(1.6 + W1 + W2 + W3 + W4, 1) \quad (5.47)$$

$$K_9 = 290.012$$

Проверка условия прочности:

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

$$\text{Проверка1} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Примем:

$s := 6 \text{ мм}$

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

Проверка1 = "Условие прочности выполняется."

Проверка условия устойчивости:

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

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

Проверка2 = "Условие устойчивости выполняется."

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

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s - c)}{D}} \quad \gamma = 9.021 \quad (5.48)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} \quad \beta_1 = 9.75 \quad (5.48)$$

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

$$\sigma_{\text{mx}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} \quad \sigma_{\text{mx}} = 2.348 \text{ МПа} \quad (5.49)$$

Выбираем вид обечайки:

$u := 2$

Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

K_{12} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{12} = 0.851 \quad (5.50)$$

K_{14} -коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{14} = 0.425 \quad (5.51)$$

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

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} \quad K_{16} = 1 \quad (5.52)$$

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

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{w} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta}} \quad (5.52)$$

K_{13} - коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} \quad K_{13} = 0.071 \quad (5.53)$$

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

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) \quad K_{15} = 1 \quad (5.54)$$

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

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} \quad K_{11} = 0.103 \quad (5.55)$$

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

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

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

$$v_{213} := 0$$

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

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

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

$$K_{112} = 1.476$$

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

$$K_{122} = 0.568$$

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

$$K_{113} = 1.482$$

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

$$K_{123} = 0.586$$

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

$$K_{1.2} = 0.568$$

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

$$K_{1.3} = 0.586$$

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i2} = 98.035 \text{ МПа} \quad (5.56)$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{i3} = 101.152 \text{ МПа} \quad (5.57)$$

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} \quad F_{d2} = 7.284 \times 10^4 \text{ Н} \quad (5.58)$$

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} \quad F_{d3} = 4.93 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.59)$$

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

Проверка условия прочности:

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

$$\text{ПроверкаЗ} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Проверка условия устойчивости:

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

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

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} \quad F_e = 43.115 \text{ Н} \quad (5.60)$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$Q_d := \begin{cases} Q_{dp} \leftarrow 0.25 \cdot \sigma_d \cdot \pi \cdot D \cdot (w) \\ Q_{de} \leftarrow \frac{2.4 \cdot E \cdot (w)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D \cdot (w)}{L^2} \right] \\ Q_d \leftarrow \frac{Q_{dp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{dp}}{Q_{de}} \right)^2}} \end{cases} \quad Q_d = 9.823 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое усилие из условия устойчивости:

$$F_d := \pi \cdot (D + w) \cdot (w) \cdot \sigma_d \quad F_d = 4.178 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.61)$$

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

$$\text{Пров}_4 = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$$

5.7 Расчет тепловой изоляции теплообменника труба в трубе

Допустимая температура поверхности изоляции:

$$t_{uz} = 45 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Температура окружающего воздуха:

$$t_e = 20 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Коэф-т теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху:

$$\alpha = 9,47 + 0,07 \cdot (t_{uz} - t_e) = 9,47 + 0,07 \cdot (45 - 20) = 11,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} . \quad (5.60)$$

Наружная поверхность теплообмена:

H – Длина теплообменного аппарата

D_k –Наружный диаметр теплообменного аппарата

$$F_{\Pi} = \pi * D_k * H + D_k^2 / 2 = 3.14 * 0.133 * 6 + 3.14 * 0.133^2 / 2 = 2.53 \text{ м}^2; \quad (5.61)$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот.}} = \alpha * F_{\Pi} * (t_{\text{из}} - t_{\text{в}}) = 11.22 * 2.53 * (45 - 20) = 710,62 \text{ Вт.} \quad (5.62)$$

Коэф-т теплопроводности изоляционного материала (асбест):

$$\lambda_{\text{из}} = 0,157 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Толщина изоляционного слоя $\delta_{\text{из}}$:

$$\Pi \delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}} / F_{\Pi} * (t_{\text{ср}} - t_{\text{из}}) = 0.157 / 710,62 * 2.53 * (164 - 45) = 0.009 \text{ м.} \quad (5.63)$$

Принимаем толщину изоляции 10мм.

5.8 Выбор питателя и бункера для серы

Для аппарата по приготовлению серобитума выбирается дозатор серы.

Производительность зависит от объема приготовления серобитума в аппарате. Расчетный объем серы для одного периода работы равен $4,16 \text{ м}^3$, а производительность $0,74 \text{ кг/с}$.

Выбираем ленточный питатель марки ЛП-500/5000

Характеристики питателя

Таблица 5.8.1

Характеристики, единицы измерения	Значение
Расчетная производительность, м ³ /ч (при условном коэффициенте проскальзывания 1)	0,5 ÷ 20
Максимальный размер кусков, мм	100
Объем бункера, м ³	5
Электродвигатель:тип	тип 4А*
мощность, кВт	1,5 ÷ 3
частота вращения, об/мин	750 ÷ 1500
напряжение, В	380
Редуктор	РЧУ-100-Ур
Масса, кг	580

6. Исследование свойств астраханской серы

Сера – это твердое неорганическое вещество плотностью 1960-2070 кг/м³ и температурой плавления 112-120 °С, отходы нефтяной промышленности.

Применение этого материала очень широк, в химической промышленности, в сельском хозяйстве, в дорожном строительстве и т.д.

Астраханский газоперерабатывающий завод выпускает больше всего в мире серы, и реально применять для дорожного строительства именно их продукт.

Что бы спроектировать оборудование для подачи серы в производстве серобитума, необходимы опытные данные свойств серы, это насыпной вес и угол естественного откоса.

Опыт 1. Водонасыщение

В чаши насыпаем серу тонким слоем и ставим в эксикатор, наливаем воды, закрываем плотно крышку (рис.10). Оставляем на сутки.



Рис.10 Сера в эксикаторе

После, берем бюкс, взвешиваем, насыпаем серу, опять взвешиваем и ставим в сушильный шкаф при температуре 80 °С на два часа. Взвешиваем и данные заносим в таблицу 6.1.

Опыт	Бюкс пустой, гр.	Бюкс полный, гр.	После сушки, гр.
1	15,41	15,70	15,70
2	24,36	24,93	24,93

Водонасыщение отсутствует.

Связи с отсутствием водонасыщения серы, теряет смысл проводить опыты на насыпной вес и угол естественного откоса с водонасыщенной серой.

Опыт 2. Насыпной вес

Устанавливаем штатив с кольцом, в кольцо вставляем пластиковую воронку, а под нее мерную колбу, перед этим взвесив ее. Насыпаем аккуратно 100 мл серы. Взвешиваем наполненную колбу, искусственно уплотняем на вибростоле в течении 10 минут. Заносим данные в таблицу 2. Повторяем этот опыт три раза.

Вес мерной колбы 84,28 гр.

Насыпной вес астраханской серы

Таблица 6.2

Опыт	Общая масса, гр.	Масса серы, гр.	Объем, мл.	Плотность	
				Гр/см ³	Кг/м ³
1.Свободная плотность	175,16	90,88	100	0,9088	908,8
Уплотненная	175,16	90,88	84	1,08	1081,90
2.Свободная плотность	177,19	92,91	100	0,9291	929,1
Уплотненная	177,19	92,91	85	1,093	1093,17
3.Свободная плотность	178,8	94,52	100	0,9452	945,2

Уплотненная	178,8	94,52	86	1,112	1112
Среднее значение					
.Свободная плотность				0,9277	927,7
Уплотненная				1,095	1095,69

Целью исследовательской работы является определение угла естественного откоса порошкообразного материала, входящих в состав серобитума в зависимости от их влажности и степени уплотнения.

Угол естественного откоса определяется с помощью цилиндрической трубы, установленной вертикально на горизонтальной поверхности и заполненной испытуемым материалом. При медленном поднимании трубы высыпавшийся материал располагался на плоскости под углом естественного откоса. Замерялась высота и диаметр основания конуса порошка относительно горизонтальной поверхности, и рассчитывался угол. Данные вносились в табл. 6.3.

Углы естественного откоса астраханской серы

Таблица 6.3

№ опыта	Сторона 1	Сторона 2	Сторона 3	Сторона 4
1.	39°	43°	40°	41°
2.	30°	32°	40°	35°
3.	30°	32°	28°	33°

Средний угол естественного откоса серы 35,25°

Анализируя полученные данные можно сделать выводы: что сыпучесть астраханской серы находится в диапазоне удовлетворительная. При вибрации сера хорошо уплотняется и имеет свойство залипания. Это обязательно надо учесть при проектировании оборудования. Если сера не имеет свойств водонасыщения, то это упрощает условия хранения.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ71	Чекрыжов Владимир Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
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>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности битумо-эмульсионной установки

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 ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	Кандидат экономических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Чекрыжов Владимир Сергеевич		

7. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Предпроектный анализ

Потенциальные потребители

Продукт: Серо-битум, композитная битумная эмульсия

Целевой рынок: Асфальтобетонные предприятия, дорожные службы, население города

7.2 SWOT-анализ

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ.

Таблица 7.1 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Квалифицированный руководитель.</p>	<p>Сл1. Отсутствие потенциальных потребителей</p> <p>Сл2. Большое количество конкурентов</p>
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый	Проектирование участка по производству серо-битумов	<p>1. Повышение квалификации кадров</p> <p>2. Привлечение новых заказчиков</p>

продукт научных исследований В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование импортного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 3. Применение технологии к альтернативным источникам

7.3 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.

$$M = П \cdot T_{\text{эфф}} \cdot K_{\text{об}},$$

где П – производительность оборудования в единицу времени

(П=90т/день);

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

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

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}},$$

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

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

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

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

где $T_{кал}$ – календарный фонд времени;

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

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

Производство работает сезонно с 1 апреля по 1 ноября. Количество рабочего времени оборудования составяем в таблице 2.

Таблица 7.2

Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	215 (5160)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	63
• праздники	-
Номинальный фонд рабочего времени	152 (3648)
Простой оборудования в ремонтах	14(336)
Эффективное время работы оборудования за сезон	138 (3312)

Производственная мощность равна:

$$M = 90 \cdot 138 \cdot 1 = 12420 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{экс} = T_{эфф} / T_{ном} = 138 / 215 = 0,64.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{инт} = Q_{пп} / Q_{max} = 27 / 90 = 0,3.$$

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

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им} = K_{экс} * K_{инт} = 0,64 * 0,3 = 0,19.$$

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

$$N_{год} = K_{им} * M = 0,19 * 12420 = 2359,8 \text{ т/год}$$

где $K_{им}$ – коэффициент использования мощности.

Вывод: установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 19%.

7.4 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

7.4.1 Расчет численности персонала

Рассчитываем численность ИТР и служащих МОП. Составляем таблицу 7.3.

Таблица 7.3

Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Профессия	Категория	Тарифный разряд	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник участка	ИТР	Высшее	1	1
Бухгалтер		Высшее	1	1
Итого				2
Старший оператор	Производственный рабочий	5	1	1
Оператор установки	Производственный рабочий	5	1	1
Итого				2
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4	1	4
Дежурный слесарь КИП		4	1	4
Итого				8
Итого				12

Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника.

Таблица 7.4

Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	215	1720
2.	Нерабочие дни		
	• выходные	63	
	• праздничные	-	

3.	Номинальный фонд рабочего времени	152	1216
4.	Планируемые невыходы <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 	0 0 - - 2	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	150	1200

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности.

Таблица 7.5

График сменности

Часы работы	Дни месяца															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	А	А	А	А	А	В	В	А	А	А	А	А	В	А	А	А

А – Рабочие дни.

В – Выходные дни

7.4.2 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:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

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

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.;

$D_{\text{бриг}}$ – 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.;

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

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

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

Дополнительная зарплата ($Z_{\text{доп}}$):

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}},$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для г. Томска – 1,3. Отчисления на социальные нужды на зарплату – 30 % от ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$).

Общий фонд заработной платы ИТР и бухгалтер за год:

Оклад ИТР – 50 тыс. руб./мес. Годовой фонд заработной платы составит:

$$50 \cdot 12 \cdot 1 = 600 \text{ тыс. руб.}$$

Оклад бухгалтер – 38 тыс./мес. Годовой фонд заработной платы составит:

$$38 \cdot 12 \cdot 1 = 456 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитываем основной фонд заработной платы МОП и данные вносим в таблицу 7.6.

Общий фонд заработной платы повременщиков

Таблица 7.6

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.
				Тарифный фонд	Премия	Доплата за ночн. время	Доплата за работу в празд.	Основной фонд з/п			
Старший оператор	1	5	300	612	122,4	5,2	144,8	884,4	12,54	896,94	1166,02
Оператор установки	1	4	250	338,4	67,68	4,5	135,36	545,94	7,73	553,67	719,77
Ремонтный персонал	8	4	200	1804,8	360,96	10,5	721,92	2898,18	41,1	2939,28	3821,06
Итого:	10	-	-	2755,2	551,04	20,2	1002,8	4328,52	61,37	4389,89	5706,85

7.4.3 Расчет затрат на производство продукции

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства $N_{год}=2359,8$ т./год, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Годовая потребность в сырье и материалах Таблица 7.7

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, руб.	Расход, т		Сумма затрат, руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Битум БНД 90/130	т	18000	0,551	1300,24	9918	23404496
Сера	т	4000	0,441	1040,67	1764	4162687,2
Катализатор	т	297750	0,0066	15,57	1965,15	4635967,5
Итого					14748,15	32203150,7

Рассчитываем годовую потребность в энергии.

Расчет потребляемой энергии

Таблица 7.8

Наименование	Расход	Годовой расход	Цена ед., руб.	Годовая сумма затрат,
--------------	--------	----------------	----------------	-----------------------

				руб.
1. электроэнергия (суммарная), кВт/ч	17	20400	5,21	106284
2. Пар, м ³ /ч	0,6	720	110	79200
Итого				185484

Рассчитываем амортизационные отчисления.

Амортизационные отчисления

Таблица 7.9

Наименование основных средств	Стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, руб.
1. Установка	3125345	5	156267
1.1. Операторная	50000	5	2500
Итого:	31753450		158767
2. Оборудование:			
2.1. Емкость (бункер)	15000	10	1500
2.2. Емкость для сырья (битум)	30000	10	3000
2.3 бункер дозатор	90000	10	9000
2.4. Электротены	38000	10	3800
2.5. Насос (битум)	45000	10	4500
2.6. Насос (для перемешивания)	45000	10	4500
Итого:	263000		26300
Итого общее:			185067

Рассчитываем себестоимость на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства ($N_{\text{год}} = 2359,8$ т/год)

Таблица 7.10

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции

Наименование статьи расходов	Ед. изм.	Затраты руб.	
		На 1 т.	На N год
1. Сырье	руб.	13646,55	32203150,7
2. Энергия на технологические нужды	руб.	78,6	185484
3. З/П основных произв. рабочих	руб.	799,13	1885790
4. Отчисления на соц. нужды (30%)	руб.	239,73	565737
Итого условно-переменных издержек	руб.	14764	34840161,7

5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. РСЭО:			
- Амортизация оборудования	руб.	11,14	26300
- Заработная плата ремонтного персонала	руб.	1619,23	3821060
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	руб.	485,76	1146318
5.2. Заработная плата ИТР	руб.	254,25	600000
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	руб.	76,27	180000
5.3. Заработная плата бухгалтера	руб.	193,23	456000
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (30%)	руб.	57,63	136000
Итого условно-постоянных издержек	руб.	2708,68	6365678
Производственная себестоимость	Руб.	17472.69	41205839,7

7.5 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P / 100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 17472,69 \cdot (1 + 25/100) = 21840,86 \text{ руб./т.}$$

7.6 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 ($V_{ПР}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{ПР} = Изд \cdot_{\text{ном}} + Изд \cdot_{\text{пер}} \cdot$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1 ГП} - Изд_{пер 1 ГП}}, Т,$$

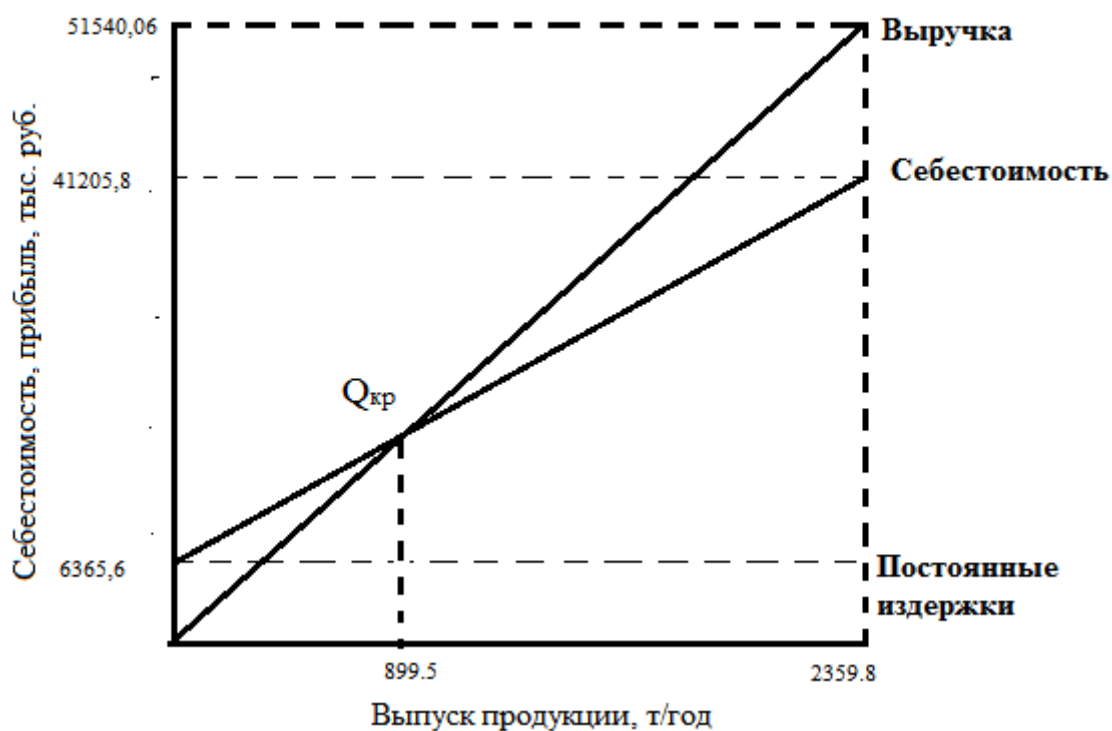
где $Ц_{1 ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{1 ГП}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр} = \frac{6365678}{21840,86 - 14764} = 899,5 \text{ т.}$$

2. Графическим способом:

График точки безубыточности при продаже серо-битума



7.7 Определение технико-экономических показателей

Рассчитываем технико-экономические показатели серо-битумного производства.

Таблица 7.11

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год (Битум)	Плановый год (Серо-битум)
1. Объем производства	т	2359,8	2359,8
2. Объем продаж	т	2359,8	2359,8
3. Цена 1 тонны	руб.	18000	21840,86
4. Выручка от продажи (2*3)	руб.	42476400	51540061,4
5. Суммарные издержки	руб.	-	41205839,7
5.1. Издержки переменные	руб.	-	34840161,7
5.2. Издержки постоянные	руб.	-	6365678
6. Операционная прибыль (4-5)	руб.	-	10334222
7. Налог на прибыль (6*20%)	руб.	-	2066844,4
8. Чистая прибыль (6-7)	руб.	-	8267378
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	-	17472,69
10. Стоимость основных средств	руб.	-	263000
11. Численность основных рабочих	чел.	-	10
12. Фондовооруженность (10/11)	руб./чел	-	26300
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	-	195,96
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	-	0,0051
15. Производительность труда (4/11)	руб./чел	-	5154006,14
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	-	20,06
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	-	16,04
18. Критический объем продаж(Qкр)	т.	-	899,5
19. Критический объем продаж(Qкр)	руб.	-	19645853,57

Вывод:

В результате альтернативного изменения битумного материала на серо-битум, себестоимость снизилась с 18000 рублей до 17472,69 рублей (на 0,97%), качество серо-битума лучше по многим характеристикам, чем у битума.

Так как себестоимость продукта уменьшилась, а качество улучшилось, предприятие становится конкурентно способное. В дальнейшем возможна продажа продукции.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Чекрыжов Владимир Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Разработка основного оборудования получения серо-битумной композитной эмульсии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: Битумно-эмульсионная установка (БЭУ) по производству катионовой битумной эмульсии и серобитума.</p> <p>Применяется при строительстве автомобильных дорог.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) Законодательные и нормативные документы по теме:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. 2. ГОСТ 12.0.004-2015. 3. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ 4. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ 5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 6. ГОСТ 21958-76 7. ГОСТ 22269-76 8. ГОСТ Р 50923-96 9. Конституция Российской Федерации
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их</p>	<p>- Превышенный уровень шума. - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание</p>

устранению	<p>которой может произойти через тело человека.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Наличие токсичных и вредных веществ. - Опасные и вредные производственные факторы.
3. Экологическая безопасность:	<p>Наличие токсичных и вредных веществ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Гидросфера; - Атмосфера;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - лесные пожары; - отказ приборов контроля и сигнализации; - отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии; - гидравлический удар; - факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.2019
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения ОД ШБИТ	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Чекрыжов Владимир Сергеевич		

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Битумы – одни из наиболее распространенных материалов, используемых в строительстве дорожных покрытий. Однако сроки службы битумных покрытий в несколько раз меньше нормативных. Разработка путей повышенной долговечности, качества битумов и материалов на их основе представляется весьма актуальной задачей, позволяющей решать проблему надежности и долговечности работы дорожных покрытий.

Известно о применении техногенной серы в качестве компонента в асфальтобетон, мастику и т.д. Разработаны составы высокопрочного асфальтобетона с использованием серы. Предполагается, что добавка серы в дорожный битум выполняет двойную роль в структуре материала, повышает его прочность и значительно улучшает сцепление вяжущего с поверхностью минеральных наполнителей.

В данной работе предложен и рассчитан аппарат по приготовлению серобитума. В состав его входит битум, сера и катализатор. Расчетное оборудование – это аппарат для перемешивания серы и битума с помощью насоса. Теплообменный аппарат нужен для поддержания одной температуры. Предложен стандартный бункер-дозатор для подачи серы.

В производстве серобитума предложено использовать серу производителя ООО «АСТРАХАНЬГАЗПРОМ», потому что это самый большой поставщик техногенной серы.

Оборудование обслуживают два оператора. Старший оператор контролирует рецепт продукта на пульте управления, а второй обслуживает механическую часть установки, открывает и закрывает краны по мере необходимости.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К работе допускаются лица, достигшие 18 лет, имеющие квалификацию товарного оператора не ниже 4-го разряда, прошедшие курс обучения и сдавшие экзамен по охране труда, промышленной безопасности.

Все работники, занятые ремонтом, обслуживанием и эксплуатацией оборудования по производству серобитума и битумной эмульсии должны пройти обучение устройству и правилам эксплуатации оборудования.

После прохождения обучения все работники сдают установленный техминимум.

Ведомость сдачи находится у начальника. Условиями безопасной эксплуатации и технического обслуживания является знание и соблюдение персоналом требований «Правилами промышленной безопасности для нефтеперерабатывающих производств». Вторичная аппаратура, щиты управления являются действующими установками до 1000 В, на которые распространяются «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок потребителей».

Площадка должна быть обеспечена первичными средствами пожаротушения, содержаться в чистоте. Нельзя размещать на ней горючие материалы и посторонние предметы.

Ступени и площадки лестниц должны поддерживаться в чистоте, регулярно очищаться от наледи и снега. При обслуживании работать в спец. одежде и спец. обуви согласно требованиям охраны труда. Не допускается розлив битума, кислоты, эмульгатора на территории в помещении.

При ремонте категорически запрещается производить разъединение фланцевых соединений до тех пор, пока не будет понижено давление до атмосферного и произведено освобождение трубопровода от битума.

8.2.Производственная безопасность

Таблица 8.2.1– Опасные и вредные факторы при выполнении работ в ЦППН-3

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
Повышенный уровень шума			+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) [4]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;		+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.[3]
Наличие токсичных и вредных веществ		+	+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ссбт). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны[2]
Физические перегрузки.		+	+	

8.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

1. Повышенный уровень шума.

Основными источниками шума являются, машины и механизмы, работа насосных агрегатов, сварочно-монтажные работы.

Длительное воздействие шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала, а также может привести к снижению слуха.

Согласно ГОСТ 12.1.003 – 83 (1999) эквивалентный уровень шума (звука) не должен превышать 80 дБА.

Для предотвращения негативного воздействия шума на рабочих используются средства коллективной и индивидуальной защиты.

Коллективные средства защиты:

- борьба с шумом в самом источнике;
- борьба с шумом на пути распространения (экранирование рабочей зоны (постановкой перегородок, диафрагм), звукоизоляция).

Средства индивидуальной защиты:

- наушники; ушные вкладыши.

При работе на производстве по приготовлению битумной эмульсии используются все меры и средства защиты.

Старший оператор работает на пульте управления, которая огорожена стеной от источника шума и применяет наушники.

2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Поражения электрическим током могут являться плохо изолированные токопроводящие части, провода. Известно, что поражение человека электрическим током возможно лишь при замыкании электрической цепи через тело человека, т.е. при прикосновении человека к сети не менее чем в двух точках.

При пользовании машинами классов II и III разрешается работать без применения средств индивидуальной защиты, за исключением подготовки и производства строительно-монтажных работ, когда при работе с электрическими машинами и инструментом класса II необходимо использовать указанные средства. Для защиты от поражения электрическим током применяют коллективные и индивидуальные средства.

Коллективные средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль, установка оградительных устройств, предупредительная сигнализация и блокировка, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов, применение малых напряжений, защитное заземление, зануление, защитное отключение.

Изолирующие средства защиты: диэлектрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, диэлектрические боты, изолирующие подставки.

Битумная эмульсионная установка имеет контур заземления. В, случаи не исправности, какого либо узла, сообщается дежурному электрику. Все работы прекращаются.

3. Наличие токсичных и вредных веществ .

Предельно – допустимая концентрация паров битума и газов в рабочей зоне не должна превышать по санитарным нормам 300 мг/м³, при проведении газоопасных работ, при условии защиты органов дыхания, не должно превышать предельно – допустимую взрывобезопасную концентрацию (ПДВК), для паров битума 2100 мг/ м³.

Для соблюдения норм ПДВК в рабочей зоне следят за герметичностью емкостей с сырьем вредных веществ и вентиляции рабочей зоны.

Используются средства защиты, респиратор, очки, спецодежда, резиновые перчатки.

Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.

Источниками утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу могут являться битум, эмульгатор, катализатор, кислота.

Битум содержат углеводороды, пары которых очень опасны для здоровья, следует избегать соприкосновения с кожей. Битум, эмульгатор и кислота токсичны и вызывают раздражение слизистых оболочек, а также кожи лица и рук, кашель, головокружение, а в некоторых случаях аллергическую реакцию и образование ожогов на коже.

Предельно – допустимая концентрация паров Битума и газов в рабочей зоне не должна превышать по санитарным нормам 300 мг/м³.

При работе с кислотой и эмульгатором, необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты: специальный костюм по ТУ 17 – 08 – 114 – 80; резиновые перчатки по ГОСТ 20010 – 93; обувь специальная по ГОСТ 28507 – 99; респиратор РПГ – 67А по ГОСТ 12.4.004. – 74.

4. Физические перегрузки.

Данное производство очень сильно влияет на самочувствие рабочего, это шум, температура окружающей среды (рабочий находится в спецодежде независимо от температуры), токсичные пары сырья.

Тяжелый и напряженный физический труд может повлиять на общее самочувствие рабочего и привести к развитию различных заболеваний.

У людей, занятых тяжелым и вредным трудом, должен быть отдых. Поэтому выбран режим работы. При запуске установки работает два оператора, а в процессе один рабочий идет в комнату отдыха на 30 минут, потом меняются.

В конце рабочего сезона, рабочим предлагается путевка в санаторий.

8.3 Экологическая безопасность

Для уменьшения выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком должны осуществляться следующие мероприятия: исключение сброса в дождевую канализацию отходов производства; организация регулярной уборки территорий; проведение своевременного ремонта дорожных покрытий; ограждение зон озеленения бордюрами, исключающими смыв грунта на дорожное покрытие; повышение степени пыле- и газоочистки; повышение технического уровня эксплуатации автотранспорта; ограждение строительных площадок с упорядочением отвода поверхностного стока по временной системе открытых лотков, осветлением его на 50-70% в отстойниках и последующим сбросом в водные объекты или дальнейшим очищением, локализация участков, где неизбежны просыпи и проливы сырья и промежуточных продуктов с последующим отведением и очисткой поверхностного стока; упорядочение складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов.

Выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока определяется его качественной и количественной характеристиками, требуемой степенью очистки и осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов и оценки технической возможности их реализации.

При попадании в водоемы нефтепродуктов в объеме, который может привести к превышению предельно допустимой концентрации, должны быть немедленно приняты меры по предотвращению их распространения и к последующему удалению.

Учитывая, что нефтепродукты и другие легкие нерастворимые загрязнения до окисления длительное время остаются в виде поверхностной пленки, изоляция места загрязнения производится оконтуриванием боновыми заграждениями.

Сбор и удаление нефтяных загрязнений должны осуществляться механическими способами. В тех случаях, когда это невозможно, могут быть применены впитывающие препараты - сорбенты (пенополиуретан, торф, опилки и др.) с последующим их сбором и удалением. Порядок и условия применения сорбентов должны быть согласованы с контролирующими органами.

Состав и свойства всех материалов, применяемых при выполнении дорожно-строительных и ремонтных работ, должны на момент их использования соответствовать указанным в проектной документации стандартам, техническим условиям и нормам.

Основными условиями минимального загрязнения окружающей среды при приготовлении дорожных материалов является выполнение технологических правил, соответствие исходного сырья и топлива установленным для данного процесса требованиям, соблюдение производственной дисциплины.

При совершенствовании технологических процессов обязательно должны повышаться эффективность пыле-газоулавливания.

При строительстве и эксплуатации дорожных производственных предприятий как промышленного типа (стационарного) так и подсобно-вспомогательного типа (передвижные, временные) должны соблюдаться установленные или вновь разработанные с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК) предельно допустимые выбросы (ПДВ) или временно согласованные выбросы (ВСВ). Установленные нормы выбросов должны обеспечивать соблюдение предельно-допустимых концентраций (ПДК) для выбрасываемых веществ.

Разогрев битума в битумохранилищах следует осуществлять электронагревателями или с помощью пароподогрева.

Транспортирование исходных компонентов и готовых материалов, как правило, должно осуществляться с помощью транспортных систем, снабженных укрытиями.

При приготовлении асфальтобетонных смесей, предназначенных для устройства верхних слоев покрытия, в качестве добавок ПАВ рекомендуется использовать менее токсичные анионоактивные вещества.

Использование катионоактивных веществ в качестве добавок ПАВ возможно при приготовлении асфальтобетонных смесей, предназначенных для устройства оснований и нижних слоев покрытий дорожных одежд.

Хранение органических вяжущих (битум, гудрон, деготь, смола и т.п.) должно осуществляться в специальных закрытых хранилищах ямного типа или в герметических емкостях. Хранение органических вяжущих в открытых ямах и емкостях не допускается.

При подземном хранении веществ и материалов, захоронении в согласованном с органами Госнадзора порядке вредных веществ и отходов производства должны предусматриваться меры, исключаящие их распространение за пределы отведенных для этих целей мест и проникновение в подземные и поверхностные воды.

При необходимости подогрева воздуха, материалов, воды, разогрева грунта и т.п., как правило, следует использовать тепловое оборудование централизованного питания (электрическое, паровое, водяное и т.п.), что обеспечивает меньшие затраты топлива и меньшее загрязнение атмосферы.

Применение открытого сжигания горючих материалов в целях теплообразования или ликвидации отходов допускается как исключение в разовом порядке с разрешения вышестоящей организации. Категорически запрещается применение открытого огня для разогрева органических вяжущих, мастик, полимерных материалов и других горючих веществ.

Заправка дорожных и транспортных машин топливом и смазочными материалами должна проводиться в специально выделенном месте, оборудованном средствами и инвентарем противопожарной безопасности.

При приготовлении и применении горючих материалов не должны допускаться к работе машины с неисправными или неотрегулированными двигателями.

Склады горючих материалов должны быть отделены от других зданий и сооружений, лесных массивов, сельскохозяйственных территорий противопожарными разрывами и оборудованы средствами противопожарной безопасности.

Производство сварочных работ при изготовлении конструктивных элементов должно осуществляться в специально отведенных огороженных местах, оборудованных настилом и другими средствами, исключающими возгорание горючих веществ и материалов, а также средствами пожаротушения.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации на предприятии могут возникнуть по различным причинам, например:

- паводковые наводнения;
- лесные пожары;
- террористические акты;
- по причинам техногенного характера (аварии) и др.

Аварии могут привести к чрезвычайным ситуациям.

Возможными причинами аварий на производстве по приготовлению битумной эмульсии могут быть:

- ошибочные действия персонала при производстве работ;
- отказ приборов контроля и сигнализации;
- отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;

- производство ремонтных работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;
- старение оборудования (моральный или физический износ);
- коррозия оборудования;
- гидравлический удар;
- факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.).

В случае, какой либо аварии руководствуются регламентом по данному производству, который инструктирует правила работы действий и поведения в случаи аварий и чрезвычайных пришествий.

Вывод: В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена профессиональная безопасность на рабочем месте, она подтверждена анализом вредных и опасных факторов. При соблюдении всех правил безопасности, влияние вредных, опасных факторов и чрезвычайные ситуации, сводятся к минимуму.

Заключение

В результате проделанной работы был разработан и рассчитан аппарат для приготовления серобитума, а вспомогательное оборудование, теплообменный аппарат труба в трубе. Для подачи серы в аппарат выбран стандартный ленточный бункер дозатор. Проведено исследование астраханской серы.

Можно сделать следующие выводы:

1. Серобитум как сырье для асфальта лучше, чем просто битум:
 - А) Минимальное водонасыщение из требований по ГОСТ 9128.
 - Б) Минимальное набухание по объему из требований по ГОСТ 9128.
 - В) Высокий предел прочности при сжатии из требований по ГОСТ 9128.
2. Себестоимость серобитума ниже, чем битум.

Теплообменный аппарат труба в трубе.

1. Исключает риск пожарной опасности.
2. При нагревании битума теплообменным аппаратом качество остается прежним.
3. Уменьшаются затраты на электроэнергию.

Качество серобитума будет конкурентно способно и востребовано на рынке потребителей.

**Список научных трудов
Чекрыжов Владимир Сергеевич**

№	Наименование научного труда	Рукопис. или печ.	Издательство, журнал (номер,год)	Номер стр.	Кол-во стр.	Фамилии соавторов
1	Астраханская сера и ее свойства	Печ.	Материалы XX Международной научно-практической конференции имени Л.П.Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». Томск, 2019.	126-127	2	Тихонов В.В

Список литературы

1. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Химия/ К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков. - Л1981. - 560с.
2. ГОСТ 34233.1 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.— Изд. официальное. — М.: Издательство стандартов, 2017.
3. ГОСТ 34233. 4 - 2017. Расчет фланцевых соединений.— Изд. официальное. — М.: Издательство стандартов, 2017.
4. ГОСТ 34233.2 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.— Изд. официальное. — М.: Издательство стандартов, 2017.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии А.Х. Касаткин. Изд. «Химия», М., 1971
6. Конструирование сварных химических аппаратов/А.А.Лашинский- Л.: Машиностроение, 1981 г. -380с.
7. Расчёт и конструирование машин и аппаратов химических производств/М.Ф.Михалёв- Л.: Машиностроение, 1984 г. - 301с.
8. Расчет кожухотрубчатого теплообменника. Руководство для студентов. В.П.Пищулин - Томск: Отделение № 1 ТПУ, 1992. - 64с,
9. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии/А.И.Плановский, П.И.Николаев - М.: Химия, 1972. - 492с.
10. Технологический регламент. На приготовление катионной битумной эмульсии ЭБК-1 на битумно-эмульсионной установке «Давиал-Базис» для обработки нижнего и верхнего слоёв основания перед укладкой асфальтобетонных слоёв при строительстве автомобильной дороги. ООО «дорожно-строительные материалы», - г. Томск 2010г.
11. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

12. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
13. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)
14. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования (с Изменением N 1)
15. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
16. ГОСТ 12.4.103-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация
17. ГОСТ 12.4.111-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Костюмы мужские для защиты от нефти и нефтепродуктов. Технические условия
18. Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 г.
19. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда.
20. Конституция Российской Федерации.
21. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)
25. Пособие к СНиП 3.06.03-85* «Пособие по приготовлению и применению дорожных эмульсий»
26. ГОСТ Р 52128-2003 «Эмульсии битумные дорожные. Технические условия»
27. СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования».
28. СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Общие требования».

Приложение 1
Раздел магистерской диссертации выполненный на иностранном языке

Раздел 1
Описание технологической схемы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Чекрыжов Владимир Сергеевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) НОЦ Н.М Кижнера :

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

Консультант школы отделения (НОЦ) Отделение иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

Introduction

The condition of net country roads is one the most important criteria. It influences the country development. Nowadays the transport operational characteristics of many Russian highways are at the back of the world standards. It's high time to create new covers of the modern long-lived components for roads.

Bitumen and compositions of mineral bitumen are widely used as road building materials. But norms of exploitation the period of such covers is rather short. Today it is an actual task is to create the road materials of higher quality and more long-lived elements on the base of mineral-bitumen compositions. It makes possible to solve the problems of reliability and longevity of the road covers.

If the polymers or tough bitumen polymers components are used the characteristics of asphalt-concrete materials become better. As a rule, polymers components have no chemical reactions with bitumen. They make possible to tough the structure. They can dissolve and disperse in bitumen. And today the polymers bitumen composition can get the most valuable physical and mechanical characteristics. These compositions make possible to raise the quality of road building materials and enlarge the period of operation.

Theme: Designing of main equipment for getting sulfur-bitumen composite emulsion

1. The description of the technological scheme

1.1 Common information

At the moment there is deficit and the growth of bitumen prices at the world market of oil products. Analysis of markets shows that the main factors of bitumen are price and quality. The prime cost of sulfur bitumen is lower at 35-40% as usual.

It is actual that it is used the waste products of chemical industry for producing polymers bitumen. They are sulfur and catalyst.

The idea of mixing sulfur and bitumen has appeared long ago. The aim was to make cheaper the road covers and to utilize sulfur.

There were some attempts to realize this process, but it had several disadvantages.

Sulfur and bitumen could mix only 20:80 proportions. The temperature of mixer had to be 140 °C. But it took place the impetuous excretion of sulfured hydrogen. And the proportions did not supply the quality for the road covers. The industrial process had not been realized.

Later it was suggested the unique technology for getting non-physical sulfur and bitumen. It was a chemical reaction sulfur and bitumen for producing bitumen polymers having the structure of Tiokhol. The technology could be possible the using catalyst.

There are some positive characteristics of sulfur-bitumen. They are the lowering using of bitumen at 40-50% in the mixture of sulfur-asphalt and concrete, the deformation properties of tough elements become higher. Stability in aggressive environments and heat resistance are considerably rising for the new sulfur-asphalt concrete mixture. It has also low water absorption and the appearing of cracks.

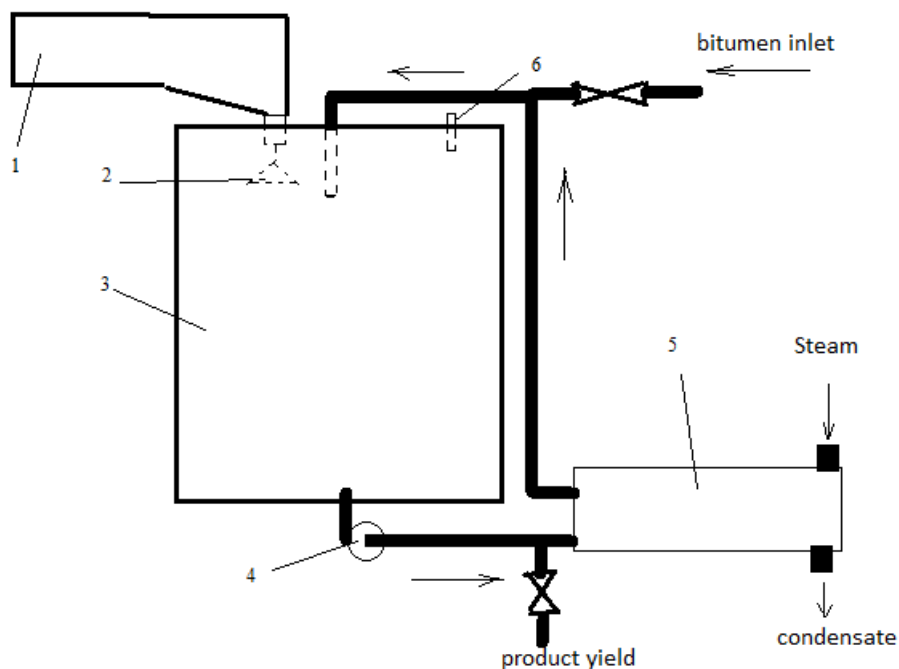
1.2 Sulfur- bitumen producing

Sulfur –bitumen is made of the mixing components: bitumen, sulfur and catalyst.

See figure 1. Technological scheme: sulfur- bitumen producing.

It needs to put in sulfur in the metering bunker (1), to put in bitumen (5,000kilograms) into the apparatus (3). Heat the heat exchanger (5) with the help of steam, switch on pump (4) for circulation through the heat exchanger.

Technological scheme of production of sulfur bitumen



1-Sulfur dispenser, 2- diffuser, 3- mixing apparatus serbitums, 4- pump, 5- heat exchanger tube in tube, 6- catalust inlet.

Figure 1.

If the temperature of bitumen is lower than 140°C , it needs to wait for the rising ($140^{\circ}\text{-}150^{\circ}\text{C}$). Switch on the timer regulator for sulfur from the bunker (1). It regulates the putting in catalyst through the branch pipe (6).

Sulfur and catalyst are falling down the portions during 30 minutes in the apparatus (3). The pump is mixing them for 2 hours.

After 2 hours it will be homogeneous mass of sulfur and bitumen.

It is pumped into the tank of storage or in the asphalt-concrete machine.

2. Research of properties of Astrakhan sulfur

Sulfur is non-organic substance. It has density about $1960 - 2070$ kilogram/cubic meter. It is the waste of oil industry.

Sulfur is widely used in chemical industry, agriculture, road building and many others.

The Astrakhan enterprise of gas processing is producing sulfur as much as the whole world. It is really possible to use its product for the road building.

For the designing machines of sulfur inlet at the sulfur-bitumen producing, it is important to know the experimental data of sulfur properties. They are: filling weight and natural slope angle.

Experiment 1. Absorbing water

See figure 2.



Рис.2

- Take two small flat cups then pour the thin layer of sulfur there. Put the cups into the desiccator and add water. Shut the cover tightly. Keep for 24 hours.
 - Take empty byuks and weigh it. Write down into the table 1 (empty byuks). Then it is poured the sulfur and it is weighed again. Write down the data (filled byuks).
 - The filled byuks is put into the laboratory drying cabinet. The temperature is 80°C for two hours.
 - After the drying weigh and write down the data into the table 1 again.
- watersaturationtable 1

Experiment	Empty byuks, gr.	Filled byuks, gr.	Afterdrying, gr.
1	15,41	15,70	15,70
2	24,36	24,93	24,93

The results: no absorbing water.

Conclusion: if there is no absorbing water it is useless to experiments determining the filling weight and the natural slope angle.

Experiment 2. Filling weight

- Take the tripod with ring. Put the plastic funnel in the ring.
- Take the volumetric flask. Weigh it. The weight of empty flask is 84,28 grams.
- After weighing put the flask under the funnel and pour the sulfur in it. Weigh it again. It is sulfur free density. Write down the data in table 2.
- The filled flask is thickened artificially on the vibrotable during 10 minutes.

- e. Weigh the thickened mass of sulfur after the vibrotable. Write down the data in table 2. It is the weight of thickened mass.
Repeat this experiment 3 times.

Filling weight of Astrakhan sulfur Table 2

experiment	Common Mass/gram	Mass of sulfur/gram	Volume/milliliter	density	
				Gr/s ³	Kgr/m ³
1.free density	175,16	90,88	100	0,9088	908,8
	175,16	90,88	84	1,08	1081,90
Thickened density					
2.free density	177,19	92,91	100	0,9291	929,1
	177,19	92,91	85	1,093	1093,17
Thickened density					
3.free density	178,8	94,52	100	0,9452	945,2
	178,8	94,52	86	1,112	1112
Thickened density					
Common meanings of 3 experiments:					
Free density				0,9277	927,7
Thickened density				1,095	1095,69

The dispersed composition of powder materials has the large scatter magnitude. High and low dispersed powders have also advantages and disadvantages.

High dispersed powders are moisturized more than low ones.

The small fractional compositions of powders are preferable.

The meaning of flowability

Good flowability is one of the most important demands presenting to powders. As known, flowability depends on the internal frictions between particles

during the flowing them through the hole. It is valued the speed of flowing powder and the natural slope angle which is 36° - 45° .

It is difficult to dose the powders into the polymer matrix if the demanded flowability is absent.

Flowability is depends on dispersion of powder, form of particles, electrical frictions of particles which is sticking to the funnel and each other, humidity of mass and others factors.

The worst flowability has the little dispersion powders. Their contact surface is great and the form of particles is irregular. So their surfaces can contact and couple each other better.

The main important property is flowability of powders because they make possible to regulate thickness and put them uniformly on. The natural slope angle is also important for flowability.

Table 3. Degree of flowability and natural slope angle

Degree of flowability	Natural slope angle /degree
1. best	25-30
2. good	31-35
3. satisfactory	36-45
4. unsatisfactory	46-55
5. bad	56-65
6. very bad	more than 66

The reasons of different flowability are:

- Different dispersion
- Form of particles
- Electrical friction and sticking
- Moisture

The worst flowability has little dispersion powders with irregular forms because they are possible to couple the surfaces better than regular ones.

The force of particle coupling depends on the degree of wet, porous, size and form of particles. As the force of coupling particles is in proportion the sum of contacting square, so forces of coupling surface between particles are rather more.

When the powder is uploaded in bunker, the force gravity thickens the bottom layer and the force of coupling is increasing, but flowability is decreasing. As a result, the force of coupling increases, flowability decreases and the number of contacting points of particles and bulk density become higher. The gaps between particles drive out the part of air, it appears the points where the intermolecular forces start acting.

Experiment 3. Natural slope angle

See figure 3.

It is appeared a small hill with some slope angle when loose substance flows on the horizontal plane. It is equal the equilibrium of particles. The angle between the horizontal plane and the slope line is called the natural slope angle. It can be the largest one. It is the indicator of substance mobility.

The magnitude of the natural slope angle is determined with form, size and humidity of particles. Humidity is possible to increase the natural slope angle. Medium natural slope angle is 55° - 60° .

The most particle mobility of loose substance is equal minimum of the natural slope angle. If it increases the mobility of particles becomes lower.

It should be considered the natural slope angle when it is determined the belt feeder cross section and the hopper bunker capacity.

It is distinguished the natural slope angle in peace (p) and movement (m) on the transporting surfaces of machines.

Magnitude of the natural slope angle is decreasing if the moving horizontal plane hesitates. So the natural slope angle is always more in peace than in movement ($m < 0,71p$).

If it needs to get the datum with sufficient accuracy of the natural slope angle, make an experiment (see figure 3).

- a. Put down a cylindrical tube section on the horizontal plane and fill it down the experimental substance.
- b. Up slowly the section. Poured substance is situated on the surface under the natural slope angle.

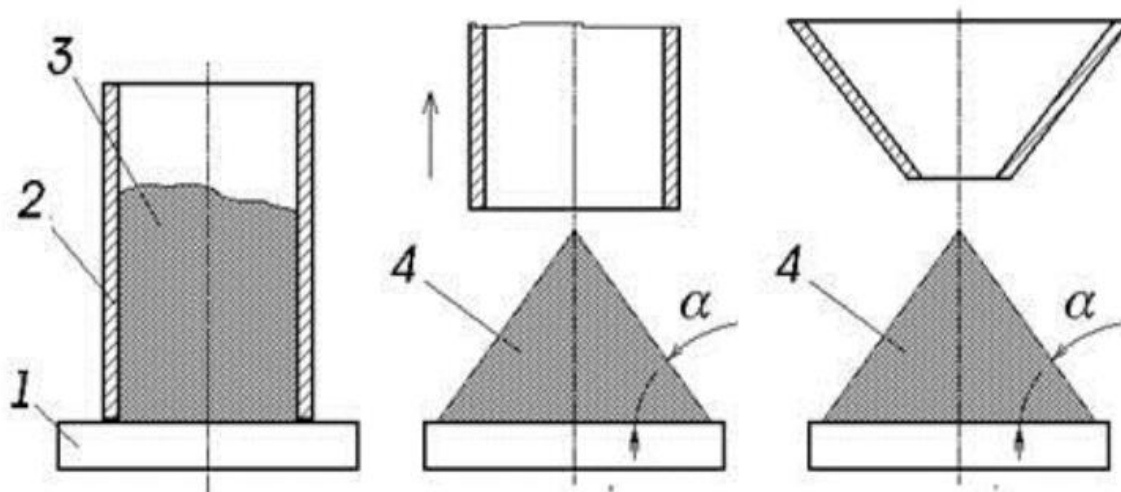


Figure 3 how to determine the natural slope angle

A. –with the help of taken away section

B. – free movement substance through a funnel

1. smooth plate 2. section 3. powder 4. freely poured powder

α – the natural slope angle

The research task was to determine the natural slope angle of sulfur – bitumen powder materials, their dependence of the thicken degree and moisture.

It was made some experiments. There was used the cylindrical tube which was poured the experimental powder. Then the tube was up slowly and it was appeared the hill with the natural slope angle. It was made the hill height and the based diameter cone according to horizontal surface for finding the angle. See table 3.

Table 3. Astrakhan sulfur natural slope angles

№experiment	Side 1	Side 2	Side 3	Side 4
1.	39°	43°	40°	41°
2.	30°	32°	40°	35°
3.	30°	32°	28°	33°

The medium natural slope angle is 35,25°.

Conclusion: Astrakhan sulfur is satisfactory. It is thickened rather well. But it has the sticking property because it should be paid attention to this factor designing new equipment. As sulfur has no absorbing water property so it makes simple its storage.