

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Установка получения Цитрамона на АО «ПФК Обновление» с разработкой основного оборудования

УДК 661.122.002.5-043.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Николаев Николай Васильевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Семакина О.К.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения социально-гуманитарных наук	Креницына З.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Р. Р.	д.б.н.		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

Консультант – лингвист кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения иностранных языков	Игна О.Н.	к.п.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Краснокутская Е.А.	д.х.н., профессор		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.04.02 в 2018 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 формах 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
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

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального 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 НОЦ Н.М. Кижнера
_____ Е.А. Краснокутская
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ61	Николаев Николай Васильевич

Тема работы:

Установка получения Цитрамона на АО «ПФК Обновление» с разработкой
основного оборудования

Утверждена приказом директора (дата, номер) 23.03.2018г. №2085/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: До 30.10.2018 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>	Смеситель-гранулятор центробежный. Вид сырья – порошок. Технологические параметры работы СГЦ 1000: Рабочее давление в аппарате: $p = 0.1$ МПа; Рабочее давление в рубашке: $p = 0.1$ МПа Рабочая температура: $t_{\text{раб}} = 40$ °С; Частота вращения мешалки: 120 об/мин; Технологические параметры теплообменника Рабочее давление в трубном и межтрубном пространстве: $p = 0.1$ МПа; Рабочая температура: В трубном пространстве $t_{\text{нач}} = 24$ °С; $t_{\text{кон}} = 30$ °С В межтрубном пространстве $t_{\text{нач}} = 40$ °С; $t_{\text{кон}} = 32$ °С Производительность: 25 тонн/сутки.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат Введение 1. Описание технологической схемы 2. Технологический расчет смесителя-гранулятора 3. Механический расчет смесителя-гранулятора 4. Технологический расчет теплообменника 5. Механический расчет теплообменника 6. Исследование сыпучести порошкообразных материалов 6. Социальная ответственность. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Заключение Список публикаций Список литературы Приложение</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема. (A1) Лист 2. Смеситель-гранулятор центробежный. Чертеж общего вида. (A1) Лист 3. Смеситель-гранулятор центробежный. Выносные элементы. (A1x3) Лист 4. Теплообменник. Чертеж общего вида. (A1) Лист 5. Теплообменник. Выносные элементы. (A1) Лист 6. (A1)</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.т.н., доцент Криницына З.В.
Социальная ответственность	д.б.н., профессор Ахмеджанов Р.Р.
Конструктивно-механический раздел	к.т.н. доцент Беляев В.М.

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

Разделение водонефтяных эмульсий

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Николаев Н.В.		

Оглавление

РЕФЕРАТ	10
Введение.....	12
1. Описание технологической схемы	13
1.1 Общие сведения.....	13
1.2 Изготовление цитрамона	14
2. Технологический расчет смесителя-гранулятора	17
3. Механический расчет смесителя-гранулятора	18
3.1 Расчет мешалки на прочность	20
3.2 Расчет вала.....	21
3.2.1 Расчет вала на виброустойчивость	24
3.2.2 Расчет вала на жесткость.....	27
3.2.3 Расчет вала на прочность	33
3.3 Расчет вала Чоппера	36
3.3.1 Расчет вала	38
3.3.2 Расчет вала на виброустойчивость	40
3.3.3 Расчет вала на жесткость.....	43
3.3.4 Расчет вала на прочность	49
3.4 Прочность обечайки.....	53
3.4.1 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость:	55
3.5 Прочность крышки.....	60
3.6 Прочность днища.....	62
3.7 Расчет укрепления отверстий.....	64
3.7.1 Расчет укрепления отверстий в цилиндрической оболочке:	66
4. Технологический расчет теплообменника	70
4.1 Тепловой баланс	70
4.2 Расчет движущей силы процесса	72
4.3 Ориентировочный расчет площади теплопередачи. Предварительный выбор теплообменника.....	72
4.4 Уточненный расчет и выбор теплообменника	73
4.4.1 Коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке [1]:	74
4.4.2 Коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю [1]:.....	74
4.4.3 Определение поверхности теплообмена зоны конденсации	75

4.5 Конструктивно расчет.....	76
4.5.1 Расчет обечайки.....	76
4.5.2 Подбор крышки и днища.....	78
4.5.3 Расчет и подбор штуцеров и фланцев.....	78
4.6 Гидравлический расчет.....	80
4.6.1 Расчет потерь давления в трубном пространстве теплообменника.....	80
4.6.2 Расчет потерь давления в трубопроводе.....	81
5. Механический расчет кожохотрубчатого теплообменного аппарата.....	84
5.1 Расчётные параметры.....	84
5.1.1 Расчётное напряжение.....	84
5.1.2 Расчет давлений.....	86
5.2 Расчет толщины стенок корпуса аппарата.....	87
5.2.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки.....	87
5.2.2 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки, нагруженной внутренним избыточным давлением межтрубного пространства.....	88
5.3 Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата.....	89
5.3.1 Определение расчетных параметров.....	91
5.3.2 Расчет фланцевого соединения.....	92
5.3.3 Расчетные параметры фланцев.....	95
5.3.4 Угловая податливость фланцев.....	97
5.3.5 Проверка прочности болтов и прокладки.....	100
5.3.6 Расчет фланцев на статическую прочность.....	101
5.3.7 Проверка углов поворота фланцев.....	102
5.4 Расчет штуцеров.....	103
5.4.1 Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя.....	104
5.4.2 Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя.....	104
5.5 Укрепление отверстий патрубков.....	105
5.5.1 Расчетные длины штуцеров.....	106
5.5.2 Расчетная ширина зоны укрепления.....	107
5.5.3 Расчет диаметра отверстия не требующего укрепления.....	108
5.6 Расчет трубной решетки [13]:.....	109
5.6.1 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата.....	112

5.6.2	Расчёт трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке.....	120
5.7	Расчет массы аппарата.....	122
5.7.1	Расчет седловых опор.....	125
6.	Исследование сыпучести порошкообразных материалов.....	128
6.1	Процессы, составляющие изготовление лекарственных препаратов.....	128
6.2	Смещение твердых сыпучих материалов.....	130
6.3	Исследование сыпучести порошков.....	131
7.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	141
7.1	Предпроектный анализ.....	141
7.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	141
7.2	Диаграмма Исикава.....	142
7.3	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .	143
7.4	Инициация проекта.....	145
7.5	Цели и результат проекта.....	145
7.6	Организационная структура проекта.....	146
7.7	Ограничения и допущения проекта.....	147
7.8	Планирование управления научно-техническим проектом.....	147
7.8.2	Контрольные события проекта.....	149
7.8.3	План проекта.....	150
7.9	Бюджет научного исследования.....	152
7.9.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	153
7.9.2	Расчет затрат на оборудование.....	154
7.9.3	Расчет фонда заработной платы.....	154
7.9.4	Затраты на проведение НТИ.....	156
7.10	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	157
8.	Социальная ответственность.....	162
8.1	Введение.....	162
8.2	Перечень вредных факторов.....	162
8.3	Анализ вредных факторов.....	163
8.3.1	Вредные вещества.....	163
8.3.2	Недостаток освещенности.....	164
8.3.3	Микроклимат.....	164
8.4	Анализ опасных факторов.....	165

8.4.1	Электробезопасность	165
8.4.2	Пожаровзрывоопасность.....	166
8.5	Анализ воздействия вредных факторов на окружающую среду.....	166
8.6	Защита в чрезвычайных ситуациях	167
8.7	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	168
8.7.1	Особенности законодательного регулирования проектных решений	168
8.8	Пожарная безопасность.....	168
Заключение		171
Список используемых источников.....		173
Приложение 1		176

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 179 _____ с., _____ 15 _____ рис., _____ 33 _____ табл., _____ 37 _____ источников, _____ 1 _____ приложение.

Ключевые слова: _____ цитрамон, порошок, смеситель, угол естественного откоса.

Объектом исследования является (юстя) _____ лекарственное средство «Цитрамон П»

Цель работы – _____ исследовать угол естественного откоса, сконструировать _____ установку получения «Цитрамона».

В процессе исследования проводились _____ эксперименты по определению _____ угла естественного откоса, варьировались материалы для определения угла, _____

В результате исследования _____ в результате исследования большинство _____ порошков обладают хорошей сыпучестью и только порошок мела обладает _____ удовлетворительной сыпучестью. Так же поверхность труб также играет _____ важную роль для угла откоса.

Основные конструктивные, технологические и технико- _____ эксплуатационные характеристики: _____ СГЦ-1000 периодического действия

Степень внедрения: _____ аппарат внедрен в производство фармацевтической _____ компании АО «ПФК Обновление».

Область применения: _____ смешивание и гранулирование сухих компонентов, _____ лекарственные препараты

Экономическая эффективность/значимость работы _____ увеличение полезной работы _____ оборудования, уменьшение времени простоя за счет зависания продукта в аппаратуре

В будущем планируется _____ уменьшение количества простоев аппаратуры, _____ за счет уменьшения зависания порошков аппаратуре

ABSTRACT

Final qualifying work 179 p., 15 fig., 33 table., 37 sources, 1 appendix.

Keywords: tablets, powder, mixer, angle of repose,

The object of the study is (are) the drug "Citramon P"

The purpose of the work is to investigate the angle of the natural slope, to construct a unit for obtaining "Citramone".

During the study, experiments were carried out to determine the angle of the natural slope, the materials for determining the angle were varied,

As a result of the study as a result of the study, most powders have good flowability and only chalk powder has satisfactory flowability. The same surface of the pipes also plays an important role for the angle of slope.

Main design, technological and technical-operational characteristics: SGC-1000 of periodic action

Degree of implementation: the device is implemented in the production of pharmaceutical company JSC "PFC Update".

Application field: mixing and granulation of dry components, drugs

Economic efficiency and significance of the work an increase in the productive operation of equipment, reducing the downtime due to the unresponsiveness of the product in the equipment

In the future, it is planned to reduce the number of equipment downtime by reducing the hang of powders to the equipment

Введение

Таблетки – твёрдая лекарственная форма, получаемая прессованием порошков, содержащих одно либо несколько компонентов или получаемая формованием специальных масс.

Большинство лекарственных препаратов для приема внутрь выпускаются в форме таблеток, которая наиболее удобна для пациента и приспособлена для длительного хранения в обычных условиях.

Кроме того, изготавливая лекарства в форме таблеток, фармацевты имеют возможность гибко регулировать скорость, полноту и место высвобождения лекарственных веществ в желудочно-кишечном тракте.

Для того чтобы получить таблетку с необходимой прочностью, распадаемостью и растворимостью, а также точным количеством действующих и вспомогательных компонентов, которые будут максимально равномерно распределены по всему объему, необходимо должным образом отладить технологию производства.

Цитрамон – анальгетическое, кроворазжижающее, жаропонижающее и противовоспалительное лекарственное средство. Выпускается в форме таблеток.

На примере производства цитрамона в данной работе будет рассмотрена химическая технология, задействованная в процессе создания лекарства.

1. Описание технологической схемы

1.1 Общие сведения

История происхождения лекарственного средства «Цитрамон» достаточно длинная. Во время СССР препарат с таким названием выпускался. В состав входили такие компоненты: ацетилсалициловая кислота – 0.24 г, фенацетин – 0.18 г, кофеин – 0.03 г, какао – 0.015 г, лимонная кислота – 0.02 г, сахар – 0.5 г. Фенацетин, это производная от анилина, имеет анальгезирующие и жаропонижающие свойства, а также побочный эффект, токсичность. По этой причине, был разработан препарат «Цитрамон Плюс» или «Цитрамон П», в препарате фенацетин был замещен на парацетамол.

Описание и состав препарата.

Таблетка «Цитрамона» содержит: ацетилсалициловую кислоту, парацетамол, кофеин, аскорбиновую кислоту.

Их содержание:

Ацетилсалициловая кислота - 0,24 г.

Парацетамол – 0,18 г.

Кофеин – 0,03 г.

Форма выпуска цитрамона в виде плоскоцилиндрических круглых таблеток светло-коричневого цвета. В упаковке таблеток бывает 6 или 10. Помимо основных веществ в состав препарата также входят различные наполнители: картофельный крахмал, стеарат кальция, низкомолекулярный медицинский повидон. Не имеют противопоказаний, нужны для увеличивая массы таблетки до стандарта 1 грамма.

Лекарственное средство, цитрамон, относится к анальгетикам. Не вызывает эйфорию или привыкание.

Показания к применению.

При лихорадочном синдроме (ОРЗ, гриппе), при болевом синдроме выраженной различной этиологией (мигрень, головная или зубная боль, миалгия, невралгия, альгодисменория, артралгия).

1.2 Изготовление цитрамона

Изготавливают Цитрамон смешивая компоненты: ацетилсалициловую кислоту, парацетамол, кофеин, аскорбиновую кислоту и наполнители. Схема изготовления препарата изображена на рисунке 1.1.

Основные этапы изготовления и оборудование, используемое при этом.

Для дробления сырья используют мельницу 1. Диспергированное сырье попадает в смеситель 2, где смешивается до однородной смеси. 3 и 6 вакуумные насосы, с помощью насосов производится перемещение сырья от одного аппарата в другой. Смесь, после перемешивания, попадает в гранулятор 4, так же, в гранулятор, загружается вода, желатин или раствор крахмала для увлажнения смеси. Гранулы, полученные в грануляторе, сушат в сушилке 5. Сушка производится потоком подогретого сухого воздуха. Гранулы поступают в сушилку, где они тонким слоем рассыпаются по поверхности сит, с помощью компрессора снизу подается поток теплого воздуха. Высушенные гранулы подаются в пресс-машину (7), для прессования в форму таблетки. После прессования, таблетки поступают в упаковочную машину (9), где упаковываются в блистер и фасуются в пачки.

Далее рассмотрим более детально изготовление таблеток цитрамона, характеристики оборудования, также отметим нюансы процесса изготовления.

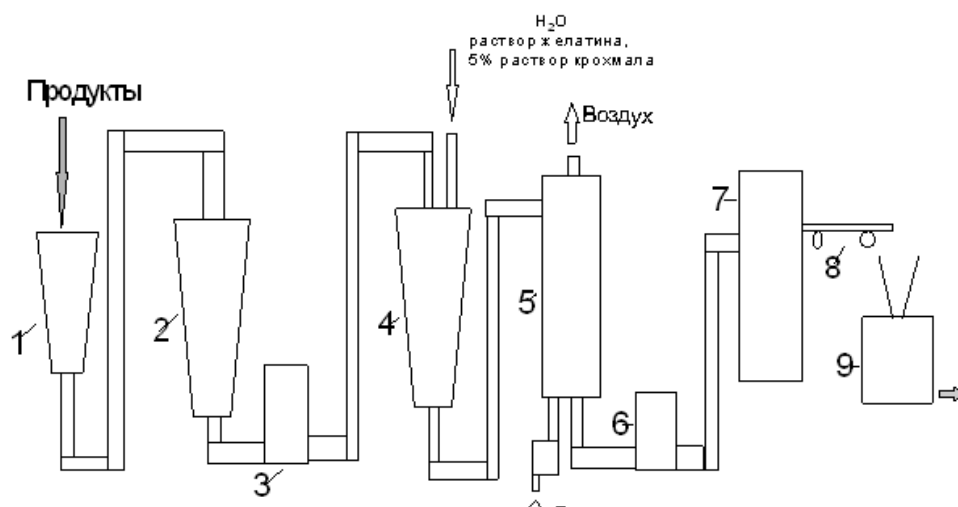


Рисунок 1.1. Схема изготовления цитрамона.

Первый этап изготовления таблеток будет измельчение сырья. Измельчают сырье на мельницах, после просеивают через сита для отсеивания комков большего диаметра.

После подготовки сырья, для изготовления таблеток, и вспомогательных веществ необходимо тщательно перемешать смесь для равномерного распределения компонентов в смеси. Так как порошки имеют различные физико-химические свойства: влажность, дисперсность, насыпная плотность и др. На стадии смешивания применяются, чаще всего, лопастные смесители периодического действия.

Второй этап изготовления таблеток является гранулирование. Для цитрамона используют влажное гранулирование.

Гранулирование состоит:

- 1) измельчение;
- 2) увлажнение связующим веществом;
- 3) протираание массы через сито;
- 4) сушка.

Для связывания применяют раствор желатина или клейстер крахмальный 5%.

Гранулирование проводят через сито 3-5 мм. Используют сита из латуни, нержавеющей стали или бронзы.

Полученную смесь отправляют в сушилку. Где сушится до остаточной влажности не превышающую 2%.

Гранулы имеют шероховатость, что усложняет производство таблеток. Шероховатость несет за собой зависание в воронке, залипание на пуансонах пресса, что нарушает вес таблетки, поверхность. Для избегания этого, применяют «опудривание» гранулята. Опудриванием в общую массу вводятся разрыхлители и скользящие вещества.

Таблетирование производится на специальных машинах – роторных таблет-прессах. Прессование осуществляется пресс-инструментом, состоящий из матрицы, верхнего и нижнего пуансона.

Таблетирование в пресс-машинах производится в несколько стадий: дозирование, предварительное прессование, прессование, выталкивание и сброс. Все стадии следуют последовательно, одна за другой. Для предотвращения запыления поверхности таблеток, используются обеспыливатели.

После прессования, таблетки поступают на первичную и вторичную упаковку.

2. Технологический расчет смесителя-гранулятора

Исходные данные

$G_1 = 36$ кг – парацетамол;

$G_2 = 48$ кг – АЦСК;

$G_3 = 6$ кг – кофеин;

$G_4 = 10$ кг – остальные компоненты.

Материальный баланс

Аппарат заполняется на 20% от общего объема. Одна загрузка составляет 100 кг. Потери составляют 3-5%.

Уравнение материального баланса:

$$G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = G_5 + G_6$$

$$36 + 48 + 6 + 10 = 97 + 3$$

Мощность необходимая для перемешивания сыпучих материалов, кВт:

$$N = C_2 \cdot K_\phi \cdot \rho_n \cdot (L \cdot \omega)^{2.2} \cdot H_c^{0.63} \cdot b^{0.6} \cdot \sin(\alpha) \cdot S^{0.2};$$

Где C_2 - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств смешиваемого материала; K_ϕ - коэффициент формы лопастной мешалки; L и b – длина и высота мешалки; H_c – высота слоя материала над лопастью, α – угол наклона лопастей мешалок к горизонтали, S – радиальный зазор между краем лопасти и стенкой корпуса; ω – угловая скорость мешалки.

$$N = 17 \cdot 1,06 \cdot 0,002 \cdot (0,48 \cdot 120)^{2.2} \cdot 0,11^{0.63} \cdot 0,15^{0.6} \cdot \sin(30) \cdot 5^{0.2} \\ = 14,8 \text{ кВт.}$$

Подбираем двигатель – асинхронный электродвигатель АИР 160S4 (15 кВт/1500 об/мин).

3. Механический расчет смесителя-гранулятора

Цель расчета: рассчитать и сконструировать на прочность всех узлов аппарата.

Исходные данные:

Диаметр аппарата:

$$D = 1.2 \text{ m}$$

Высота аппарата:

$$H_a = 0.75 \text{ m}$$

Количество мешалок на валу:

$$Z_m = 1$$

Коэффициент сопротивления мешалки (тип мешалки):

$$\xi_m = 0.56$$

Частота вращения мешалки:

$$n = 120 \cdot \text{min}^{-1}$$

Диаметр мешалки:

$$d_m = 1 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

Требуемая мощность привода, с учетом пусковых нагрузок

$$N_p = 3.2 \times 10^{-3} \cdot \text{kW}$$

Частота вращения выходного вала выбранного привода (опционально):

$$n_{\text{priv}} = 1.2 \times 10^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Мощность выбранного привода (опционально):

$$N_{\text{priv}} = 4 \times 10^{-3} \cdot \text{kW}$$

Давление в аппарате:

$$P_{\text{руб}} := 0.1 \cdot \text{MPa}$$

Давление в рубашке:

$$P_{\text{руб}} := 0.1 \cdot \text{MPa}$$

Срок службы аппарата:

$$t_e := 10 \text{ yr}$$

Конструкционные материалы в общем случае выбирают исходя из требований к их механическим, физическим и технологическим свойствам, предъявляемых условиями работы и изготовления. Механические и физические свойства позволяют судить о служебной пригодности материала. По технологическим свойствам оценивается возможность обработки материала при изготовлении деталей.

GMP система норм, правил и указаний в отношении производства лекарственных средств, медицинских устройств, изделий диагностического назначения, продуктов питания, пищевых добавок и активных ингредиентов.

Гигиенические нормы GMP на заводе, по производству лекарственных средств, не должны быть детали подвергнуты коррозии. В связи с этим конструкционные материалы для аппарата СГЦ-1000 и теплообменника выбран сплав нержавеющей стали 12X18H10T. Для крепежного материала 08X18H10, для изолирующих материалов фторопласт и силикон.

Материал обечайки, крышки, днища аппарата:

Сталь 12X18H10T

Скорость коррозии материала аппарата:

$$P_{kor} := 0.015 \frac{\text{mm}}{\text{yr}}$$

Допускаемое напряжение для материала при температуре стенки определяется по ГОСТ 52857.1-2007 [9]. Температура стенки определена в технологическом расчете для выбранного варианта теплопередачи:

$$t_{st1}(t_{sred1}) = 313\text{K}$$

$$\sigma_{nom} := 181.5 \cdot \text{MPa}$$

Допускаемое напряжение для материала при температуре 20°C:

$$\sigma_{nom20} := 184 \cdot \text{MPa}$$

Предел текучести материала при температуре 20°C:

$$Re20 := 240 \cdot \text{MPa}$$

Коэффициент учитывающий тип изготовления:

$$h_1 := 1$$

Модуль упругости материала при температуре стенки:

$$E_a := 1.97 \cdot 10^{11} \text{Pa}$$

Модуль упругости материала при температуре испытания:

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^{11} \cdot \text{Pa}$$

Расчетный срок службы мешалки:

$$\tau_m := 10 \text{ yr}$$

Материал мешалки - сталь 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение материала мешалки на изгиб при температуре среды:

$$\sigma_{\text{dopim}} := 181.5 \text{ MPa}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_{km} := \tau_m \cdot P_{kor}$$

$$c_{km} = 0.15 \cdot \text{mm}$$

Плотность среды в аппарате:

$$\rho = 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Плотность среды в рубашке:

$$\rho_{\tilde{n}} := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.1 Расчет мешалки на прочность

Расчет трехлопастной мешалки

Методы расчёта РДРТМ 26-01-72-82 [15]

Ширина лопатки:

$$b_{m2} := 0.2d_m$$

$$b_{m2} = 200 \cdot \text{mm}$$

Диаметр диска мешалки:

$$D_{m2} := 0.22d_m$$

$$D_{m2} = 220 \cdot \text{mm}$$

$$l_{m2} := 0.14d_m$$

$$l_{m2} = 140 \cdot \text{mm}$$

Координата сечения с максимальным изгибающим моментом:

$$x_{m2} := 0.75 \cdot \frac{(0.5 d_m)^4 - (0.5 d_m - l_{m2})^4}{(0.5 d_m)^3 - (0.5 d_m - l_{m2})^3}$$

$$x_{m2} = 437.53 \cdot \text{mm}$$

Расчетный изгибающий момент в сечении по диаметру диска:

$$M_{ix2} := \left[\frac{0.027 \cdot (x_{m2} - 0.5 \cdot D_{m2})}{x_{m2}} \right] \cdot \frac{N_p}{n}$$

$$M_{ix2} = 0.032 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Расчетный момент сопротивления лопатки при изгибе в указанном сечении:

$$W_{mx2} := \frac{M_{ix2}}{\sigma_{\text{dopim}}}$$

$$W_{mx2} = 1.782 \times 10^{-10} \cdot \text{m}^3$$

Номинальная расчетная толщина лопатки:

$$s_{m2} := \sqrt{\frac{6 \cdot W_{mx2}}{b_{m2}}}$$

$$s_{m2} = 0.073 \cdot \text{mm}$$

Выбор толщины лопатки с учетом двусторонних прибавок на коррозию и эрозию и округляется до ближайшего большего значения:

$$a_{m2v} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil} \left[\frac{(s_{m2} + 2c_{km})}{\text{mm}} \right] \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases}$$

$$a_{m2v} = 1 \cdot \text{mm}$$

3.2 Расчет вала

Расчетная схема:

Типерашv :=

Однопролетный вал
Консольный вал

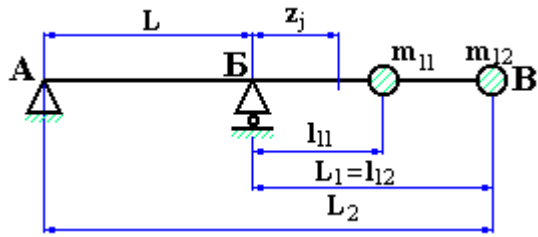


Рисунок 3.1. Консольный вал.

Тип вала:

Типев :=

Сплошной
Польн

Если сплошной, диаметр вала:

$$\delta_{stv} := 90\text{mm}$$

Тип подшипника:

турерод :=

Однорядный шариковый
Однорядный роликовый взаимозаменяемый
Однорядный роликовый невзаимозаменяемый
Двухрядный сферический роликовый

Режим нагрузки:

Rezimmag :=

Спокойная работа
Умеренный толчки
Значительные толчки

Длина вала:

$$L_v := 170\text{mm}$$

Длина консоли:

$$L_k := 70\text{mm}$$

Длина пролёта:

$$L_p := 40\text{mm}$$

Координаты центра масс мешалок:

$$l_k := (0)\text{mm}$$

$$l_p := (150)\text{mm}$$

Количество опасных по прочности сечений:

$$Z_s := 1$$

Координаты опасных по прочности и жесткости сечений:

$$z_j := (100)\text{mm}$$

Диаметры опасных по про прочности сечений:

$$d_{vz} := (90)\text{mm}$$

Концентратор напряжений в опасном по прочности сечении

Массы мешалок:

$$m_1 := (20)\text{kg}$$

Материал вала: 12X18H10T

Плотность материала:

$$\rho_v := 7.900 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Модуль продольной упругости материала вала:

$$E_v := 1.97 \cdot 10^{11} \text{Pa}$$

Предел выносливости материала вала

$$\sigma_1 := 279 \text{MPa}$$

Функции необходимые для расчета

$$\beta := \begin{cases} 1 & \text{if } Re_{zimmag} = 1 \\ 1.5 & \text{if } Re_{zimmag} = 2 \\ 3 & \text{if } Re_{zimmag} = 3 \end{cases}$$

Осевой момент инерции сечения вала:

$$J_v(d_v) := \begin{cases} \pi \cdot \frac{d_v^4}{64} & \text{if } Typev = 0 \\ \frac{\pi \cdot [d_v^4 - (d_v - 2 \cdot \delta_{stv})^4]}{64} & \text{if } Typev = 1 \end{cases}$$

Момент сопротивления в опасных по прочности сечениях:

$$w_z(d_{vz}) := \begin{cases} \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 & \text{if Typev} = 0 \\ \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{vz} - 2 \cdot \delta_{stv}}{d_{vz}} \right)^4 \right] & \text{if Typev} = 1 \end{cases}$$

3.2.1 Расчет вала на виброустойчивость

$$i := 0..(Z_m - 1)$$

Относительная длина консоли:

$$L_{kot} := \frac{L_k}{L_v}$$

$$L_{kot} = 0.412$$

Относительная координата центра масс детали:

на консоли:

$$l_{kot} := \frac{l_k}{L_k}$$

$$l_{kot} = (0)$$

в пролете:

$$l_{pot} := \frac{l_p}{L_v}$$

$$l_{pot} = (0.882)$$

Угловая скорость вала:

$$\omega := 2\pi \cdot n$$

$$\omega = 12.566 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

$$a_{Y_i} := \begin{cases} \left[l_{pot_i} \leq 0.5, 3 \cdot l_{pot_i} - 4 \cdot (l_{pot_i})^3, 3 \cdot (1 - l_{pot_i}) - 4 \cdot (1 - l_{pot_i})^3 \right] & \text{if Typerashv} = 0 \\ (1 - L_{kot}) \cdot l_{kot_i} + \frac{3}{2} \cdot L_{kot} \cdot (l_{kot_i})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{kot} \cdot (l_{kot_i})^3 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$a_Y = (0.346)$$

Приведенная масса детали:

$$m_{pr1_i} := m_{1_i} \cdot (a_{Y_i})^2$$

$$m_{pr1} = (2.4) \text{ kg}$$

Суммарная приведенная масса деталей:

$$m_{pr} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} m_{pr1_i}$$

$$m_{pr} = 2.4 \text{ kg}$$

Безразмерный коэффициент:

$$f := \begin{cases} \frac{\rho_v \cdot \omega^2 \cdot L_v^2}{3 \cdot E_v} & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ \frac{16 \cdot \rho_v \cdot \omega^2 \cdot L_k \cdot L_v}{3 \cdot E_v} & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

Приведенная безразмерная масса вала:

$$m_{vpr} := \begin{cases} 0.5 & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ \frac{8 \cdot (1 - L_{kot})^5 + 140 \cdot (1 - L_{kot})^2 \cdot L_{kot}^3 + 231 \cdot (1 - L_{kot}) \cdot L_{kot}^4 + 99 \cdot L_{kot}^5}{420 \cdot L_{kot}^2} & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

Комплексы:

$$A_1 := \begin{cases} m_{vpr} \cdot f \cdot L_v^2 & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ m_{vpr} \cdot f \cdot L_k^2 & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

$$A_1 = 8.815 \times 10^{-10} \text{ m}^2$$

$$A_2 := \begin{cases} \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_v}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_k}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

$$A_2 = 8.024 \times 10^{-12} \text{ m}^4$$

Расчетный диаметр вала:

$$d_{vr} := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}}$$

$$d_{vr} = 1.683 \cdot \text{mm}$$

Принятый диаметр вала: $d_v \geq d_{vr}$

$$d_{vrr} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil}\left(\frac{d_{vr}}{\text{mm}}\right) \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases}$$

$$d_{vrr} = 2 \cdot \text{mm}$$

$$d_{vrrr} := \text{input}(90)$$

$$d_v := \begin{cases} d_{vrrr} \cdot \text{mm} & \text{if } d_{vrrr} \cdot \text{mm} > d_{vrr} \\ d_{vrr} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Линейная масса вала:

$$m_{vl} := \frac{\pi}{4} \cdot d_v^2 \cdot \rho_v$$

$$m_{vl} = 50.258 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Относительная суммарная масса деталей:

$$m_{prot} := \frac{m_{pr}}{m_{vl} \cdot L_v}$$

$$m_{prot} = 0.281$$

Безразмерная критическая угловая скорость валов:

$$\omega_{1ot} := \begin{cases} \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2m_{prot}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \sqrt{\frac{1260}{8 \cdot (1 - L_{kot})^5 + 140 \cdot (1 - L_{kot})^2 \cdot L_{kot}^3 + 231 \cdot (1 - L_{kot}) \cdot L_{kot}^4 + 99 \cdot L_{kot}^5 + 420 \cdot L_{kot}^2 \cdot m_{prot}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\omega_{1ot} = 7.842$$

Первая критическая угловая скорость вала:

$$\omega_1 := \frac{\omega_{1ot} \cdot d_v}{4 \cdot L_v^2} \cdot \sqrt{\frac{E_v}{\rho_v}}$$

$$\omega_1 = 3.049 \times 10^4 \frac{1}{s}$$

Коэффициент запаса виброустойчивости:

$$\xi_d := 0.7$$

Условие виброустойчивости:

$$Uls_vibrv := \text{if} \left[\left(\omega \leq \xi_d \cdot \omega_1 \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

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

3.2.2 Расчет вала на жесткость

$$j := 0..Z_s - 1$$

Эксцентриситет массы детали:

$$e_d := \frac{10^{-3} \cdot m}{\sqrt{\omega \cdot s}}$$

$$e_d = 2.821 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения:

$$z_{1ot} := \begin{cases} \frac{z_j}{L_v} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{z_j}{L_k} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$z_{1ot} = (0.588)$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$a_{z1j} := \begin{cases} \text{if} \left[z_{1ot_j} \leq 0.5, 3 \cdot z_{1ot_j} - 4 \cdot (z_{1ot_j})^3, 3 \cdot (1 - z_{1ot_j}) - 4 \cdot (1 - z_{1ot_j})^3 \right] & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ (1 - L_{kot}) \cdot z_{1ot_j} + \frac{3}{2} \cdot L_{kot} \cdot (z_{1ot_j})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{kot} \cdot (z_{1ot_j})^3 & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

Приведенный эксцентриситет массы детали:

$$e_{pr1_i} := \frac{e_d}{a_{Y_i}}$$

$$e_{pr1} = (8.143 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Приведенная масса вала:

$$m_{vpr} := m_{vpr} \cdot m_{v1} \cdot L_v$$

$$m_{vpr} = 4.272 \text{ kg}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении:

$$M_{2v} :=$$

	0	1
0	"Диаметр вала минимальный"	"Диаметр вала максимальный"
1	10	40
2	40	50
3	50	65
4	65	80
5	80	100
6	100	120
7	120	140
8	140	160
9	160	180
10	180	200
11	200	225
12	225	250
13	250	280
14	280	315
15	315	...

$$M_{3v} := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..18 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{if } \text{typepod} = 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,2} \\ x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,3} \end{array} \right. \\ \text{if } \text{typepod} = 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,4} \\ x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,5} \end{array} \right. \\ \text{if } \text{typepod} = 2 \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,6} \\ x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,7} \end{array} \right. \\ \text{if } \text{typepod} = 3 \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,8} \\ x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,9} \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \text{return } x \end{array} \right. \quad \text{if } M_{2v_i,0} \leq \frac{d_v}{\text{mm}} \leq M_{2v_i,1}$$

$$\Delta A := M_{3v_1} \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta B := M_{3v_1} \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta z_1 := \left| \begin{array}{l} \frac{(\Delta B - \Delta A) \cdot z_j}{L_v} + \Delta A \quad \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (z_j + L_v)}{L_v} - \Delta A \quad \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{array} \right.$$

$$\Delta z_1 = (4 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в опасном по жесткости сечении:

$$\varepsilon_v := \begin{cases} 0.06\text{mm} & \text{if } \frac{L_v}{d_v} < 20 \\ 0.075\text{mm} & \text{if } 20 \leq \left(\frac{L_v}{d_v}\right) < 50 \\ 0.09\text{mm} & \text{if } \left(\frac{L_v}{d_v}\right) \geq 50 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{z1} := \varepsilon_v \cdot a_{z1}$$

$$\varepsilon_{z1} = (5.736 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах:

$$\Delta_v := \begin{cases} \frac{\Delta_A + \Delta_B}{2} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ (\Delta_A + \Delta_B) \cdot \frac{L_k}{L_v} + \Delta_B & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\Delta_v = 4 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Комплекс:

$$B_2 := \frac{\sum_{i=0}^{Z_m-1} (m_{pr1_i} \cdot e_{pr1_i})}{m_{pr} + m_{vpr}}$$

$$B_2 = 2.929 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с деталями:

$$e_{pr} := B_2 + \Delta_v + \varepsilon_v$$

$$e_{pr} = 3.929 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$Y_v := \frac{e_{pr}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1}$$

$$Y_v = 6.676 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба в опасном по жесткости сечении

$$Y_{z1} := Y_v \cdot a_{z1}$$

$$Y_{z1} = (6.383 \times 10^{-11}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{z1} := Y_{z1} + \Delta_{z1} + \varepsilon_{z1}$$

$$A_{z1} = (9.736 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Относительное смещение скорости потока:

$$K_1 := 1.2$$

$$s_o(K_1, \psi_1) = 0.269$$

Безразмерная гидродинамическая сила:

$$Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) = -5.663 \times 10^{-3}$$

Поперечная гидродинамическая сила, действующая на одну мешалку:

$$K_{Qm} := \begin{cases} 0.96 & \text{if } \xi_m = 0.56 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 0.88 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 1.28 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 3 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 8.4 \end{cases}$$

$$Q_m := 0.015 \cdot K_{Qm} \cdot Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) \cdot \xi_m \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot d_m^4$$

$$Q_m = -0.288 \text{ N}$$

Приведенная гидродинамическая сила:

$$Q_{pr1_i} := Q_m \cdot aY_i$$

$$Q_{pr1} = (-0.1) N$$

Суммарная приведенная гидродинамическая сила:

$$Q_{pr} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} Q_{pr1_i}$$

$$Q_{pr} = -0.1 N$$

Момент инерции поперечного сечения вала:

$$J_v(d_v) = 3.221 \times 10^{-6} m^4$$

Динамический прогиб вала в точке приведения В от суммарной гидродинамической силы:

$$Y_{vQ} := \begin{cases} \frac{Q_{pr} \cdot L_v^3}{48 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Type}rashv = 0 \\ \frac{Q_{pr} \cdot L_v \cdot L_k^2}{3 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Type}rashv = 1 \end{cases}$$

$$Y_{vQ} = -1.612 \times 10^{-11} m$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{Qz1} := A_{z1} + Y_{vQ} \cdot a_{z1}$$

$$A_{Qz1} = (9.736 \times 10^{-5}) m$$

Условие жесткости:

$$Az_{dop} := 3 \cdot 10^{-3} m$$

$$Uls_zes := \text{if}(\max(A_{Qz1}) \leq Az_{dop}, \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"})$$

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

3.2.3 Расчет вала на прочность

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах:

$$\Delta l := \begin{cases} \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot l_p}{L_k} - \Delta A & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (l_k + L_k)}{L_k} - \Delta A & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\Delta l = (1.314 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости:

$$\varepsilon_{kp} := \varepsilon_v \cdot a_Y$$

$$\varepsilon_{kp} = (2.079 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба:

$$Y_1 := Y_v \cdot a_Y$$

$$Y_1 = (2.313 \times 10^{-11}) \text{ m}$$

Динамическое смещение центра массы детали:

$$A_{lk_i} := Y_{1_i} + \Delta l_i + \varepsilon_{kp_i} + e_{pr1_i}$$

$$A_{lk} = (9.665 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения В:

$$A_v := Y_v + \Delta v + \varepsilon_v$$

$$A_v = 1 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на деталь:

$$F_{1_i} := \beta \cdot m_{1_i} \cdot \omega^2 \cdot A_{lk_i}$$

$$F_1 = (3.053) \text{ N}$$

Приведенная центробежная сила, действующая на вал в точке приведения В:

$$F_{vpr} := \beta \cdot m_{vpr} \cdot \omega^2 \cdot A_v$$

$$F_{vpr} = 0.067 \text{ N}$$

Комплексы:

$$B_5 := \begin{cases} \sum_{i=0}^{Z_m-1} \left[F_{1_i} \cdot (L_v - l_{p_i}) + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (L_v - l_{p_i}) \right] & \text{if Typerashv} = 0 \\ 0 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$B_5 = 0.055J$$

$$B_6 := \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} (F_{1_i} \cdot l_{k_i}) \right]$$

$$B_6 = 0$$

Реакция опоры A:

$$R_{AQ} := \begin{cases} \frac{B_5}{L_v} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{B_5}{L_k} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$R_{AQ} = 0.359N$$

Комплексы:

$$B_7 := \begin{cases} \sum_{i=0}^{Z_m-1} (F_{1_i} \cdot l_{p_i}) + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} l_{p_i} & \text{if Typerashv} = 0 \\ 0 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$B_7 = 0.415J$$

$$B_8 := \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (L_k + l_{k_i})] \right]$$

$$B_8 = 0.214J$$

Реакция опоры Б:

$$R_{BQ} := \begin{cases} \frac{B_7}{L_v} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{1}{L_v} \cdot (B_8 - B_7 + F_{vpr} \cdot L_v) & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$R_{BQ} = 2.473 \text{ N}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении:

$$v_j := Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (l_{p_i} - z_{j_i})$$

$$M_{mi1_j} := \begin{cases} \max \left[\left[(R_{AQ} \cdot z_j) - \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (z_j - l_{p_i})] \right] - v_j \right], \left[(R_{AQ} \cdot z_j) - \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (z_j - l_{p_i})] \right] - [F_{vpr} \cdot (z_j - 0.5 \cdot L_v)] - v_j \right] \right] & \text{if Typerashv} = 0 \\ F_{vpr} \cdot (L_k - z_j) + \sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (l_{k_i} - z_j)] + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (l_{k_i} - z_j) & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$M_{mi1} = (0.203) \text{ J}$$

Крутящий момент в опасном по прочности сечении:

$$M_{mkr1_j} := \frac{N_p}{\omega \cdot Z_m}$$

$$M_{mkr1} = (0.255) \text{ J}$$

Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении:

$$\sigma_{ekv1_j} := \frac{\sqrt{(M_{mi1_j})^2 + (M_{mkr1_j})^2}}{w_z(d_{vz})_j}$$

$$\sigma_{ekv1} = (4.55 \times 10^{-3}) \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Typerosval} := \text{if} \left[\left[\max \left(\frac{M_{mi1}}{M_{mkr1}} \right) < 0 \right], \text{"Расчет на статическую прочность"}, \text{"Расчет на усталостную прочность"} \right]$$

Typerosval = "Расчет на усталостную прочность"

Определение допускаемого напряжения в опасных сечениях:

Определение масштабного коэффициента:

$$k_m := 0.5074 + \left(\frac{12.77}{\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m}} \right) - \left[\frac{185.5}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^2} \right] + \left[\frac{1397}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^3} \right] - \left[\frac{3874}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^4} \right]$$
$$k_m = 0.628$$

Минимально допустимый коэффициент запаса прочности на выносливость:

$$k_z := 1.541$$

Коэффициент учитывающий концентрацию напряжений:

$$k_\sigma := 1$$

Определение допускаемого напряжения:

$$\sigma_{dopv} := k_m \cdot \frac{\sigma_1}{k_\sigma \cdot k_z}$$

$$\sigma_{dopv} = 113.745 \cdot \text{MPa}$$

Условие прочности

$$Uls_procval := \text{if} \left[\left(\max(\sigma_{ekv1}) \leq \sigma_{dopv} \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

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

Минимально допустимый диаметр:

$$d_v = 90 \cdot \text{mm}$$

При невыполнении одного из условий необходимо вручную увеличить диаметр вала, рассчитываемый в модуле "Расчет на виброустойчивость".

3.3 Расчет вала Чоппера

Ширина лопатки:

$$b_{m2} := 0.1d_m$$

$$b_{m2} = 30 \cdot \text{mm}$$

Диаметр диска мешалки:

$$D_{m2} := 0.37d_m$$

$$D_{m2} = 111 \cdot \text{mm}$$

$$l_{m2} := 0.07d_m$$

$$l_{m2} = 21 \cdot \text{mm}$$

Координата сечения с максимальным изгибающим моментом:

$$x_{m2} := 0.75 \cdot \frac{(0.5d_m)^4 - (0.5d_m - l_{m2})^4}{(0.5d_m)^3 - (0.5d_m - l_{m2})^3}$$

$$x_{m2} = 140.026 \cdot \text{mm}$$

Расчетный изгибающий момент в сечении по диаметру диска:

$$M_{ix2} := \left[\frac{0.027 \cdot (x_{m2} - 0.5 \cdot D_{m2})}{x_{m2}} \right] \cdot \frac{N_p}{n}$$

$$M_{ix2} = 1.397 \cdot N \cdot m$$

Расчетный момент сопротивления лопатки при изгибе в указанном сечении:

$$W_{mx2} := \frac{M_{ix2}}{\sigma_{dopim}}$$

$$W_{mx2} = 7.697 \times 10^{-9} \cdot m^3$$

Номинальная расчетная толщина лопатки:

$$s_{m2} := \sqrt{\frac{6 \cdot W_{mx2}}{b_{m2}}}$$

$$s_{m2} = 1.241 \cdot \text{mm}$$

Выбор толщины лопатки с учетом двусторонних прибавок на коррозию и эрозию и округляется до ближайшего большего значения:

$$a_{m2v} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil} \left[\frac{(s_{m2} + 2c_{km})}{\text{mm}} \right] \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases}$$

$$a_{m2v} = 2 \cdot \text{mm}$$

3.3.1 Расчет вала

Методы расчёта РДРТМ 26-01-72-82 [15]

Расчетная схема:

Типерашv :=

Однопролетный вал
Консольный вал

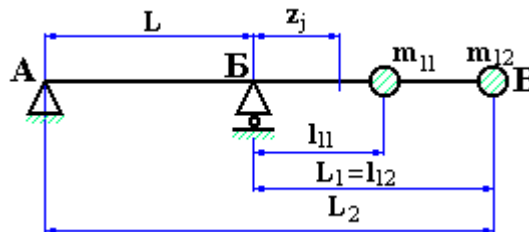


Рисунок 3.2. Консольный вал.

Тип вала:

Типев :=

Сплошной
Полый

Если сплошной, диаметр вала:

$$\delta_{stv} := 30\text{mm}$$

Тип подшипника:

типерод :=

Однорядный шариковый
Однорядный роликовый взаимозаменяемый
Однорядный роликовый невзаимозаменяемый
Двухрядный сферический роликовый

Режим нагрузки:

Rezimnag :=

Спокойная работа
Умеренный толчки
Значительные толчки

Длина вала:

$$L_v := 375\text{mm}$$

Длина консоли:

$$L_k := 210\text{mm}$$

Длина пролёта:

$$L_p := 40\text{mm}$$

Координаты центра масс мешалок:

$$l_k := (0)\text{mm}$$

$$l_p := (225.5)\text{mm}$$

Количество опасных по прочности сечений:

$$Z_s := 1$$

Координаты опасных по прочности и жесткости сечений:

$$z_j := (225.5)\text{mm}$$

Диаметры опасных по прочностности сечений:

$$d_{vz} := (30)\text{mm}$$

Концентратор напряжений в опасном по прочностности сечении

Массы мешалок:

$$m_1 := (5)\text{kg}$$

Материал вала: 12X18H10T

Плотность материала:

$$\rho_v := 7.900 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Модуль продольной упругости материала вала:

$$E_v := 1.97 \cdot 10^{11} \text{Pa}$$

Предел выносливости материала вала

$$\sigma_1 := 279 \text{MPa}$$

Функции необходимые для расчета

$$\beta := \begin{cases} 1 & \text{if } Re_{zimmag} = 1 \\ 1.5 & \text{if } Re_{zimmag} = 2 \\ 3 & \text{if } Re_{zimmag} = 3 \end{cases}$$

Осевой момент инерции сечения вала:

$$J_v(d_v) := \begin{cases} \pi \cdot \frac{d_v^4}{64} & \text{if } \text{Typev} = 0 \\ \frac{\pi \cdot [d_v^4 - (d_v - 2 \cdot \delta_{stv})^4]}{64} & \text{if } \text{Typev} = 1 \end{cases}$$

Момент сопротивления в опасных по прочности сечениях:

$$w_z(d_{vz}) := \begin{cases} \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 & \text{if } \text{Typev} = 0 \\ \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{vz} - 2 \cdot \delta_{stv}}{d_{vz}} \right)^4 \right] & \text{if } \text{Typev} = 1 \end{cases}$$

3.3.2 Расчет вала на виброустойчивость

$$i := 0..(Z_m - 1)$$

Относительная длина консоли:

$$L_{kot} := \frac{L_k}{L_v}$$

$$L_{kot} = 0.56$$

Относительная координата центра масс детали:

на консоли:

$$l_{kot} := \frac{l_k}{L_k}$$

$$l_{kot} = (0)$$

в пролете:

$$l_{pot} := \frac{l_p}{L_v}$$

$$l_{pot} = (0.601)$$

Угловая скорость вала, рад. /с:

$$\omega := 2\pi \cdot n$$

$$\omega = 219.911 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

$$a_{Y_i} := \begin{cases} \text{if} \left[l_{\text{pot}_i} \leq 0.5, 3 \cdot l_{\text{pot}_i} - 4 \cdot (l_{\text{pot}_i})^3, 3 \cdot (1 - l_{\text{pot}_i}) - 4 \cdot (1 - l_{\text{pot}_i})^3 \right] & \text{if Typerashv} = 0 \\ (1 - L_{\text{kot}}) \cdot l_{\text{kot}_i} + \frac{3}{2} \cdot L_{\text{kot}} \cdot (l_{\text{kot}_i})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{\text{kot}} \cdot (l_{\text{kot}_i})^3 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$a_Y = (0.943)$$

Приведенная масса детали:

$$m_{\text{pr}1_i} := m_{1_i} \cdot (a_{Y_i})^2$$

$$m_{\text{pr}1} = (4.442) \text{ kg}$$

Суммарная приведенная масса деталей:

$$m_{\text{pr}} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} m_{\text{pr}1_i}$$

$$m_{\text{pr}} = 4.442 \text{ kg}$$

Безразмерный коэффициент:

$$f := \begin{cases} \frac{\rho_V \cdot \omega^2 \cdot L_V^2}{3 \cdot E_V} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{16 \cdot \rho_V \cdot \omega^2 \cdot L_K \cdot L_V}{3 \cdot E_V} & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

Приведенная безразмерная масса вала:

$$m_{\text{vpr}} := \begin{cases} 0.5 & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{8 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^5 + 140 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^2 \cdot L_{\text{kot}}^3 + 231 \cdot (1 - L_{\text{kot}}) \cdot L_{\text{kot}}^4 + 99 \cdot L_{\text{kot}}^5}{420 \cdot L_{\text{kot}}^2} & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

Комплексы:

$$A_1 := \begin{cases} m_{vpr} \cdot f \cdot L_v^2 & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ m_{vpr} \cdot f \cdot L_k^2 & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

$$A_1 = 6.392 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_2 := \begin{cases} \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_v}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_k}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases}$$

$$A_2 = 4.881 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Расчетный диаметр вала:

$$d_{vr} := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}}$$

$$d_{vr} = 15.08 \cdot \text{mm}$$

Принятый диаметр вала: $d_v \geq d_{vr}$

$$d_{vrr} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil}\left(\frac{d_{vr}}{\text{mm}}\right) \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases}$$

$$d_{vrr} = 16 \cdot \text{mm}$$

$$d_{vrrr} := \text{input box}$$

$$d_v := \begin{cases} d_{vrrr} \cdot \text{mm} & \text{if } d_{vrrr} \cdot \text{mm} > d_{vrr} \\ d_{vrr} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Линейная масса вала, кг:

$$m_{vl} := \frac{\pi}{4} \cdot d_v^2 \cdot \rho_v$$

$$m_{vl} = 5.584 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Относительная суммарная масса деталей:

$$m_{\text{prot}} := \frac{m_{\text{pr}}}{m_{\text{v1}} \cdot L_{\text{v}}}$$

$$m_{\text{prot}} = 2.121$$

Безразмерная критическая угловая скорость валов:

$$\omega_{1\text{ot}} := \begin{cases} \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2m_{\text{prot}}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{1260}{\sqrt{8 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^5 + 140 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^2 \cdot L_{\text{kot}}^3 + 231 \cdot (1 - L_{\text{kot}}) \cdot L_{\text{kot}}^4 + 99 \cdot L_{\text{kot}}^5 + 420 \cdot L_{\text{kot}}^2 \cdot m_{\text{prot}}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\omega_{1\text{ot}} = 4.28$$

Первая критическая угловая скорость вала, рад/с:

$$\omega_1 := \frac{\omega_{1\text{ot}} \cdot d_{\text{v}}}{4 \cdot L_{\text{v}}^2} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{v}}}{\rho_{\text{v}}}}$$

$$\omega_1 = 1.14 \times 10^3 \frac{1}{\text{s}}$$

Коэффициент запаса виброустойчивости:

$$\xi_{\text{d}} := 0.7$$

Условие виброустойчивости:

$$\text{Uls_vibrv} := \text{if} \left[(\omega \leq \xi_{\text{d}} \cdot \omega_1), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

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

3.3.3 Расчет вала на жесткость

$$j := 0..Z_{\text{S}} - 1$$

Эксцентриситет массы детали:

$$e_{\text{d}} := \frac{10^{-3} \cdot m}{\sqrt{\omega \cdot s}}$$

$$e_{\text{d}} = 6.743 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения:

$$z_{1ot} := \begin{cases} \frac{z_j}{L_v} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{z_j}{L_k} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$z_{1ot} = (0.601)$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$a_{z1_j} := \begin{cases} \left[z_{1ot_j} \leq 0.5, 3 \cdot z_{1ot_j} - 4 \cdot (z_{1ot_j})^3, 3 \cdot (1 - z_{1ot_j}) - 4 \cdot (1 - z_{1ot_j})^3 \right] & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ (1 - L_{kot}) \cdot z_{1ot_j} + \frac{3}{2} \cdot L_{kot} \cdot (z_{1ot_j})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{kot} \cdot (z_{1ot_j})^3 & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

Приведенный эксцентриситет массы детали:

$$e_{pr1_i} := \frac{e_d}{a_{Y_i}}$$

$$e_{pr1} = (7.154 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Приведенная масса вала:

$$m_{v_{pr}} := m_{v_{pr}} \cdot m_{vl} \cdot L_v$$

$$m_{v_{pr}} = 1.047 \text{ kg}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении:

$M_{2v} :=$

	0	1
0	"Диаметр вала минимальный"	"Диаметр вала максимальный"
1	10	40
2	40	50
3	50	65
4	65	80
5	80	100
6	100	120
7	120	140
8	140	160
9	160	180
10	180	200
11	200	225
12	225	250
13	250	280
14	280	315
15	315	...

$M_{3v} :=$

```

for i ∈ 1..18
    if typepod = 0
        if  $M_{2v_i,0} \leq \frac{d_v}{\text{mm}} \leq M_{2v_i,1}$ 
             $x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,2}$ 
             $x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,3}$ 
        if typepod = 1
             $x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,4}$ 
             $x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,5}$ 
        if typepod = 2
             $x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,6}$ 
             $x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,7}$ 
        if typepod = 3
             $x_{0,0} \leftarrow M_{2v_i,8}$ 
             $x_{1,0} \leftarrow M_{2v_i,9}$ 
    return x

```

$$\Delta A := M_{3v_1} \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta B := M_{3v_1} \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta_{z1} := \begin{cases} \frac{(\Delta B - \Delta A) \cdot z_j}{L_v} + \Delta A & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (z_j + L_v)}{L_v} - \Delta A & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\Delta_{z1} = (2.6 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в опасном по жесткости сечении, м:

$$\varepsilon_v := \begin{cases} 0.06 \text{ mm} & \text{if } \frac{L_v}{d_v} < 20 \\ 0.075 \text{ mm} & \text{if } 20 \leq \left(\frac{L_v}{d_v} \right) < 50 \\ 0.09 \text{ mm} & \text{if } \left(\frac{L_v}{d_v} \right) \geq 50 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{z1} := \varepsilon_v \cdot a_{z1}$$

$$\varepsilon_{z1} = (5.655 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах:

$$\Delta V := \begin{cases} \frac{\Delta A + \Delta B}{2} & \text{if Typerashv} = 0 \\ (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{L_k}{L_v} + \Delta B & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\Delta V = 2.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Комплекс:

$$B_2 := \frac{\sum_{i=0}^{Z_m-1} (m_{pr1_i} \cdot e_{pr1_i})}{m_{pr} + m_{v_{pr}}}$$

$$B_2 = 5.79 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с деталями:

$$e_{pr} := B_2 + \Delta V + \varepsilon_v$$

$$e_{pr} = 1.439 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$Y_v := \frac{e_{pr}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1}$$

$$Y_v = 5.562 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба в опасном по жесткости сечении

$$Y_{z1} := Y_v \cdot a_{z1}$$

$$Y_{z1} = (5.243 \times 10^{-6}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{z1} := Y_{z1} + \Delta z_1 + \varepsilon_{z1}$$

$$A_{z1} = (8.78 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Относительное смещение скорости потока:

$$K_1 := 1.2$$

$$s_o(K_1, \psi_1) = 0.27$$

Безразмерная гидродинамическая сила:

$$Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) = -5.69 \times 10^{-3}$$

Поперечная гидродинамическая сила, действующая на одну мешалку:

$$K_{Qm} := \begin{cases} 0.96 & \text{if } \xi_m = 0.56 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 0.88 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 1.28 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 3 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 8.4 \end{cases}$$

$$Q_m := 0.015 \cdot K_{Qm} \cdot Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) \cdot \xi_m \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot d_m^4$$

$$Q_m = -0.719 \text{ N}$$

Приведенная гидродинамическая сила:

$$Q_{pr1_i} := Q_m \cdot a_{Y_i}$$

$$Q_{pr1} = (-0.678) \text{ N}$$

Суммарная приведенная гидродинамическая сила:

$$Q_{pr} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} Q_{pr1_i}$$

$$Q_{pr} = -0.678 \text{ N}$$

Момент инерции поперечного сечения вала:

$$J_v(d_v) = 3.976 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Динамический прогиб вала в точке приведения В от суммарной гидродинамической силы:

$$Y_{vQ} := \begin{cases} \frac{Q_{pr} \cdot L_v^3}{48 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Тyperashv} = 0 \\ \frac{Q_{pr} \cdot L_v \cdot L_k^2}{3 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Тyperashv} = 1 \end{cases}$$

$$Y_{vQ} = -9.504 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{Qz1} := A_{z1} + Y_{vQ} \cdot a_{z1}$$

$$A_{Qz1} = (8.771 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Условие жесткости:

$$A_{z_{\text{доп}}} := 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$Uls_zes := \text{if}(\max(A_{Qz1}) \leq A_{z_{\text{доп}}}, \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"})$$

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

3.3.4 Расчет вала на прочность

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах:

$$\Delta l := \begin{cases} \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot l_p}{L_k} - \Delta A & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (l_k + L_k)}{L_k} - \Delta A & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$\Delta l = (2.984 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости:

$$\varepsilon_{kp} := \varepsilon_v \cdot a_Y$$

$$\varepsilon_{kp} = (5.655 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба:

$$Y_1 := Y_v \cdot a_Y$$

$$Y_1 = (5.243 \times 10^{-6}) \text{ m}$$

Динамическое смещение центра массы детали:

$$A_{lk_i} := Y_{l_i} + \Delta l_i + \varepsilon_{kp_i} + e_{pr1_i}$$

$$A_{lk} = (1.632 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения В:

$$A_v := Y_v + \Delta v + \varepsilon_v$$

$$A_v = 9.156 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на деталь:

$$F_{1_i} := \beta \cdot m_{1_i} \cdot \omega^2 \cdot A_{lk_i}$$

$$F_1 = (39.457) \text{ N}$$

Приведенная центробежная сила, действующая на вал в точке приведения В:

$$F_{vpr} := \beta \cdot m_{vpr} \cdot \omega^2 \cdot A_v$$

$$F_{vpr} = 4.636 \text{ N}$$

Комплексы:

$$B_5 := \begin{cases} \sum_{i=0}^{Z_m-1} \left[F_{1_i} \cdot (L_v - l_{p_i}) \right] + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (L_v - l_{p_i}) & \text{if Typerashv} = 0 \\ 0 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$B_5 = 5.791 \text{ J}$$

$$B_6 := \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} (F_{1_i} \cdot l_{k_i}) \right]$$

$$B_6 = 0$$

Реакция опоры А:

$$R_{AQ} := \begin{cases} \frac{B_5}{L_v} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{B_5}{L_k} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$R_{AQ} = 17.762 \text{ N}$$

Комплексы:

$$B_7 := \begin{cases} \sum_{i=0}^{Z_m-1} (F_{1_i} \cdot l_{p_i}) + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} l_{p_i} & \text{if Typerashv} = 0 \\ 0 & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$B_7 = 8.735 \text{ J}$$

$$B_8 := \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (L_k + l_{k_i})] \right]$$

$$B_8 = 8.286 \text{ J}$$

Реакция опоры Б:

$$R_{BQ} := \begin{cases} \frac{B_7}{L_v} + \frac{F_{vpr}}{2} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{1}{L_v} \cdot (B_8 - B_7 + F_{vpr} \cdot L_v) & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$R_{BQ} = 25.613 \text{ N}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении:

$$v_j := Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (l_{p_i} - z_{j_j})$$

$$M_{mil_j} := \begin{cases} \max \left[\left[(R_{AQ} \cdot z_j) - \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (z_j - l_{p_i})] \right] - v_j \right], \left[(R_{AQ} \cdot z_j) - \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (z_j - l_{p_i})] \right] - [F_{vpr} \cdot (z_j - 0.5 \cdot L_v)] - v_j \right] \right] & \text{if Typerashv} = 0 \\ F_{vpr} \cdot (L_k - z_j) + \sum_{i=0}^{Z_m-1} [F_{1_i} \cdot (l_{k_i} - z_j)] + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (l_{k_i} - z_j) & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases}$$

$$M_{mil} = (4.005) \text{ J}$$

Крутящий момент в опасном по прочности сечении:

$$M_{mkr1_j} := \frac{N_p}{\omega \cdot Z_m}$$

$$M_{mkr1} = (13.642) \text{ J}$$

Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении:

$$\sigma_{ekv1j} := \frac{\sqrt{\left(M_{mi1j}\right)^2 + \left(M_{mkr1j}\right)^2}}{w_z(d_{vz})_j}$$

$$\sigma_{ekv1} = (5.364) \cdot \text{МПа}$$

$$\text{Турпросвал} := \text{if} \left[\left(\max \left(\frac{M_{mi1}}{M_{mkr1}} \right) < 0 \right), \text{"Расчет на статическую прочность"}, \text{"Расчет на усталостную прочность"} \right]$$

$$\text{Турпросвал} = \text{"Расчет на усталостную прочность"}$$

Определение допускаемого напряжения в опасных сечениях:

Определение масштабного коэффициента:

$$k_m := 0.5074 + \left(\frac{12.77}{\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m}} \right) - \left[\frac{185.5}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^2} \right] + \left[\frac{1397}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^3} \right] - \left[\frac{3874}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^4} \right]$$

$$k_m = 0.774$$

Минимально допустимый коэффициент запаса прочности на выносливость:

$$k_z := 1.541$$

Коэффициент учитывающий концентрацию напряжений:

$$k_\sigma := 1$$

Определение допускаемого напряжения:

$$\sigma_{dopv} := k_m \cdot \frac{\sigma_1}{k_\sigma \cdot k_z}$$

$$\sigma_{dopv} = 140.118 \cdot \text{МПа}$$

Условие прочности

$$\text{Uls_просвал} := \text{if} \left[\left(\max(\sigma_{ekv1}) \leq \sigma_{dopv} \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

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

Минимально допустимый диаметр:

$$d_v = 30 \cdot \text{мм}$$

При невыполнении одного из условий необходимо вручную увеличить диаметр вала, рассчитываемый в модуле "Расчет на виброустойчивость".

3.4 Прочность обечайки

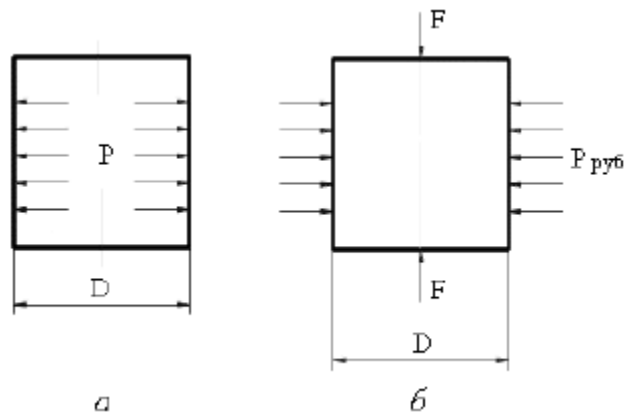


Рисунок 3.3. Модель обечайки для расчета на прочность.

Определение допускаемых напряжений:

так как аппарат изготавливается из листового проката то:

$$h_1 = 1$$

$$\sigma_{\text{dop}} := h_1 \cdot \sigma_{\text{nom}}$$

$$\sigma_{\text{dop}} = 181.5 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{dop20}} := h_1 \cdot \sigma_{\text{nom20}}$$

$$\sigma_{\text{dop20}} = 184 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_i := \text{Floor}\left(\frac{\text{Re20}}{1.1}, 0.5 \cdot \text{MPa}\right)$$

$$\sigma_i = 218 \cdot \text{MPa}$$

Рабочее давление:

$$P_{\text{раб}} = 0.1 \cdot \text{MPa}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

$$P_p := P_{\text{раб}} + \rho \cdot g \cdot H_p = 1.003 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Расчетное значение наружного давления:

$$P_{\text{н.р}} := P_{\text{руб}} + \rho_c \cdot g \cdot H_p = 1.069 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{раб}} \cdot \left[\frac{\sigma_{\text{доп20}}}{(\sigma_{\text{доп}})} \right] = 1.267 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании в рубашке:

$$P_{\text{и.р}} := 1.25 \cdot P_{\text{н.р}} = 1.336 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по табл. Д.1. ГОСТ Р 52857.1-2007[10].

$$\phi := 1$$

коэффициент прочности сварных швов

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Максимальная исполнительная толщина стенки из условия прочности:

$$s_{p1} := \max \left[P_{\text{р}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{\text{доп}}) - P_{\text{р}}}, P_{\text{н.р}} \cdot \frac{D}{[2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{\text{доп}}) - P_{\text{н.р}}]}, P_{\text{и}} \cdot \frac{D}{[2 \cdot \phi \cdot ((\sigma_{\text{i}})) - P_{\text{и}}]} \right]$$

$$s_{p1} = 3.534 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки из условия прочности

$$s1 := \text{Ceil}(s_{p1} + c_{\text{km}}, 1 \cdot \text{mm}) = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Тогда допускаемое внутреннее избыточное давление:

для рабочих условий

$$P_{\text{доп1.1}} := \frac{2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{\text{доп}}) \cdot (s1 - c_{\text{km}})}{D + (s1 - c_{\text{km}})} = 2.569 \times 10^5 \text{ Pa}$$

для условий испытаний

$$P_{\text{доп1.2}} := \frac{2 \cdot \phi \cdot ((\sigma_{\text{i}})) \cdot (s1 - c_{\text{km}})}{D + (s1 - c_{\text{km}})} = 3.086 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Выберем максимальное из внутреннего и наружного давлений:

$$P := \max(P_{н.р}, P_p) = 1.069 \times 10^5 \text{ Па}$$

Максимальная исполнительная толщина стенки из условий устойчивости

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P}{E_a \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_p}{D} \right)^{0.4} \right]$$

$$B = 1$$

$$s_{p2} := \max \left[1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P \cdot H_p}{10^{-5} \cdot E_a \cdot D} \right), \frac{1.2 \cdot P_p \cdot D}{2 \cdot (\sigma_{\text{доп}})} \right]$$

$$s_{p2} = 4.025 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки из условия устойчивости

$$s_2 := \text{Ceil}(s_{p2} + c_{\text{км}}, 1 \cdot \text{мм}) = 1 \times 10^{-3} \text{ м}$$

3.4.1 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость:

Рабочие условия

$$s_{\text{max}} := \max(s_2, s_1) = 1 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$s_{\text{max}} := 4 \cdot \text{мм}$$

$$B1 := \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{H_{\delta}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{км}})}} \right] = 1$$

Допускаемое давление из условия прочности

$$P_{\text{доп}2} := \frac{2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{\text{доп}}) \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{км}})}{D + (s_{\text{max}} - c_{\text{км}})} = 1.161 \times 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости
вычисляются по формуле:

Коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий

$$n_y := 2.4$$

$$P_E := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E_a}{n_y \cdot B1} \cdot \frac{D}{H_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\max} - c_{km})}{D} \right]^{2.5} = 1.706 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Тогда допускаемое наружное давление:

$$P_{\text{dop3}} := \frac{P_{\text{dop2}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{dop2}}}{P_E} \right)^2}} = 1.688 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности от давления на днище:

$$F_{\text{dop}\sigma} := \pi \cdot (D + s_{\max} - c_{km}) \cdot (s_{\max} - c_{km}) \cdot (\sigma_{\text{dop}}) = 2.643 \times 10^6 \text{ N}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

Гибкость

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot H_a}{D + s_{\max} - c_{km}} = 1.763$$

$$F_{\text{dopE}} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_a}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{array}{l} F_{\text{dE1}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_a}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\max} - c_{km})}{D} \right]^{2.5} \\ F_{\text{dE2}} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{\max} - c_{km}) \cdot (s_{\max} - c_{km}) \cdot E_a}{n_y} \\ F_{\text{dE}} \leftarrow \min(F_{\text{dE1}}, F_{\text{dE2}}) \end{array} \right. \\ \left| F_{\text{dE}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_a}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\max} - c_{km})}{D} \right]^{2.5} \end{cases}$$

$$F_{\text{dopE}} = 2.136 \text{ N}$$

$$F_{\text{dop}} := \frac{F_{\text{dop}\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{dop}\sigma}}{F_{\text{dop}E}}\right)^2}} = 2.136 \text{ N}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище:
отверстие в днище

$$D_0 := 95 \cdot \text{mm}$$

$$F_{\text{дн}} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_0^2) \cdot P = 0.12 \text{ N}$$

Проверка условия устойчивости:

$$P_{\text{rov}}_1 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{\text{руб}}}{P_{\text{доп}3}} + \frac{F}{F_{\text{dop}}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{\text{rov}}_1 = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

$$\frac{P_{\text{руб}}}{P_{\text{доп}3}} + \frac{F}{F_{\text{dop}}} = 0.649$$

Для условия испытаний:

Коэффициент запаса

$$n_{\text{н}} := 1.8$$

Допускаемое давление из условия прочности

$$P_{\text{и.исп.}} := \frac{2 \cdot \phi \cdot (\sigma_i) \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{km}})}{D + (s_{\text{max}} - c_{\text{km}})} = 1.394 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

$$B1_{\text{н}} := \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{H_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{km}})}} \right] = 1$$

$$P_{\text{и.дЕ}} := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E_{20}}{n_{\text{н}} \cdot B1_{\text{н}}} \cdot \frac{D}{H_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{km}})}{D} \right]^{2.5} = 2.298 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Тогда допускаемое наружное давление:

$$P_{\text{доп}} := \frac{P_{\text{и.исп.}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{и.исп.}}}{P_{\text{и.дЕ}}}\right)^2}} = 2.268 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности от давления на днище:

$$F_{\text{идор}\sigma} := \pi \cdot (D + s_{\text{max}} - c_{\text{km}}) \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{km}}) \cdot (\sigma_i) = 3.174 \times 10^6 \text{ N}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

$$F_{\text{идорЕ}} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_a}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{array}{l} F_{\text{дЕ1}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_{\text{и}}} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\text{max}} - c_{\text{km}})}{D} \right]^{2.5} \\ F_{\text{дЕ2}} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{\text{max}} - c_{\text{km}}) \cdot (s_{\text{max}} - c_{\text{km}}) \cdot E_{20}}{n_{\text{и}}} \\ F_{\text{дЕ}} \leftarrow \min(F_{\text{дЕ1}}, F_{\text{дЕ2}}) \\ F_{\text{дЕ}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_{\text{и}}} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\text{max}} - c_{\text{km}})}{D} \right]^{2.5} \end{array} \right. \end{cases}$$

$$F_{\text{идорЕ}} = 2.877 \text{ N}$$

$$F_{\text{идор}} := \frac{F_{\text{идор}\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{идор}\sigma}}{F_{\text{идорЕ}}}\right)^2}} = 2.877 \text{ N}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище:

отверстие в днище

$$D_0 := 95 \cdot \text{mm}$$

$$F_{\text{И}} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_0^2) \cdot P_{\text{И}} = 0.142 \text{ N}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{\text{И.р}}}{P_{\text{доп}}} + \frac{F_{\text{И}}}{F_{\text{Идоп}}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

$$\frac{P_{\text{И.р}}}{P_{\text{доп}}} + \frac{F_{\text{И}}}{F_{\text{Идоп}}} = 0.639$$

Если условие устойчивости не выполняется, то необходимо увеличить максимальную толщину стенки S_{max} .

Примем стандартную толщину стенки по ГОСТ 10885-75 [19]:

$$a_1 := (2 \ 4 \ 5 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 22 \ 24 \ 26 \ 28 \ 30)$$

$$s_{s1} := \begin{cases} z \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..14 \\ \quad \text{if } a_{10,j} \cdot \text{mm} \leq (s_{\text{max}}) \leq a_{10,j+1} \cdot \text{mm} \\ \quad \quad \begin{cases} x_{z,0} \leftarrow a_{10,j+1} \\ z \leftarrow z + 1 \end{cases} \\ \text{return } x \end{cases}$$

$$s_s := s_{s1} \cdot \text{mm} = \begin{pmatrix} 4 \times 10^{-3} \\ 5 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$s_{s^*} := 10 \text{ mm}$$

При необходимости, толщину стенки можно увеличить

$$a_1 := \frac{(s_s - c_{\text{km}})}{D}$$

$$a_1 = 8.208 \times 10^{-3}$$

$$\text{Prov}_3 := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } a_1 < 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}_3 = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$$

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

3.5 Прочность крышки

Диаметр отверстия в плоской крышке:

$$d_{\text{otk}} := 125\text{mm}$$

Коэффициент K, зависящий от типа закрепления плоской крышки и обечайки:

$$K_{\text{kk}} := 0.45$$

Коэффициент учитывающий отверстие в плоской крышке:

$$K_{\text{ko}} := \sqrt{1 + \left(\frac{d_{\text{otk}}}{D}\right) + \left(\frac{d_{\text{otk}}}{D}\right)^2}$$

Тип крышки в зависимости от типа аппарата:

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

Определение расчетной толщины стенки плоской крышки:

Для рабочих условий

$$s_{kR1} := \begin{cases} P \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{dop} - 0.5P} & \text{if Typekr} = 0 \\ K_{kk} \cdot K_{ko} \cdot \frac{D}{\sqrt{\frac{P}{\phi \cdot \sigma_{dop}}}} & \text{if Typekr} = 1 \end{cases}$$

Для условий испытания

$$s_{kR2} := \begin{cases} P_{\dot{e}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_i - 0.5 \cdot P_{\dot{e}}} & \text{if Typekr} = 0 \\ K_{kk} \cdot K_{ko} \cdot \frac{D}{\sqrt{\frac{P_{\dot{e}}}{\phi \cdot \sigma_i}}} & \text{if Typekr} = 1 \end{cases}$$

примем большее значение из двух

$$s_{kR} := \max(s_{kR1}, s_{kR2})$$

$$s_{kC} := \frac{s_{kR}}{mm} + \frac{c_{km}}{mm}$$

Расчетная толщина стенки плоской крышки, округленная в большую сторону

$$s_{kS} := \text{ceil}(s_{kC}) = 1$$

Примем стандартную толщину стенки плоской крышки по ГОСТ 12622-78 [18]:

Рекомендуемая толщина:

$$\text{Толщина}_{\text{Плос}} := (10)$$

Если предлагается 2 значения, то выбирается оптимальное:

$$s_{opt} := \begin{matrix} \text{Sks}(i) \\ \text{Sks}(i+1) \end{matrix}$$

$$s_{kS} := \text{Толщина}_{\text{Плос}} \cdot s_{opt} \cdot mm = 0.01 m$$

При необходимости толщину крышки можно увеличить

$$a_{k2} := \frac{(s_{kS} - c_{km})}{D}$$

$$a_{k2} = 8.208 \times 10^{-3}$$

$$\text{Uslov_1} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq a_{k2} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Uslov_1 = "Условие применимости формул выполняется"

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

3.6 Прочность днища

Диаметр отверстия в плоском днище:

$$d_{otd} := 95\text{mm}$$

Коэффициент K, зависящий от типа закрепления плоского днища и обечайки:

$$K_{dk} := 0.45$$

Коэффициент учитывающий отверстие в плоской крышке:

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

Тип днища, в зависимости от типа аппарата:

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

Для рабочих условий

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

$$s_{dR1} = 0.353 \cdot \text{mm}$$

Для условий испытаний

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

$$s_{dR2} = 0.349 \cdot \text{mm}$$

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

Расчетная толщина стенки плоской крышки

$$s_{dC} := s_{dR} + c_{km} = 5.033 \times 10^{-4} \text{ m}$$

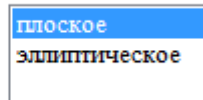
примем стандартную толщину стенки по ГОСТ 12622-78[18]:

$$a := (2 \ 4 \ 5 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 22 \ 24 \ 26 \ 28 \ 30)$$

$$s_{dC2} := 10 \cdot \text{mm}$$

Тип днища:

$type_{dno} :=$



$$s_{dS} := \begin{cases} s_{dS1} \leftarrow s_{dC2} & \text{if } type_{dno} = 1 \\ s_{dS2} \leftarrow s_{kS} & \text{if } type_{dno} = 2 \end{cases}$$

$$s_{dS} = 0.01 \text{ m}$$

$$a_{d2} := \frac{(s_{dS} - c_{km})}{D} = 8.208 \times 10^{-3}$$

$$Uslov_2 := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq a_{d2} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Uslov_2 = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$

При необходимости, толщину стенки можно увеличить.

3.7 Расчет укрепления отверстий

внутренний диаметр цилиндрической обечайки

$$D := 1200 \text{ mm}$$

высота плоской крышки с отбортовкой

$$H := 100 \text{ mm}$$

максимальный внутренний диаметр штуцера

$$d := 150 \text{ mm}$$

расчётное давление в аппарате

$$P_r := 0.13 \text{ MPa}$$

расчётная температура в аппарате

$$t_r := 42.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

исполнительная толщина стенок аппарата

$$s := 10 \text{ mm}$$

x — расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси плоской крышки, мм;

$$x := 200 \text{ mm}$$

Материал корпуса, штуцера и накладного кольца 12X18H10T

Сталь содержанием 0.12% углерода, хрома 18%, никеля 10% и титан меньше 1%

Допускаемые напряжения для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей аустенитного класса:

допускаемое напряжение обечайки при расчётной температуре

$$\sigma_{д} := 180 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала накладного кольца

$$\sigma_{д1} := \sigma_{д}$$

допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера

$$\sigma_{д2} := \sigma_{д}$$

допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера

$$\sigma_{д3} := \sigma_{д}$$

исполнительная длина внешней части штуцера

$$l_1 := 100 \text{ mm}$$

исполнительная ширина накладного кольца

$$l_2 := 10 \text{ mm}$$

исполнительная длина внутренней части штуцера

$$l_3 := 0 \text{ mm}$$

исполнительная толщина накладного кольца

$$s_2 := 3 \text{ mm}$$

Суммарные прибавки к расчётной толщине стенок:

обечайка

$$c_0 := 0.15 \text{ mm}$$

внутренней поверхности штуцера

$$c_s := c_0$$

внешней поверхности штуцера

$$c_{s1} := 0$$

$$\phi := 1$$

Толщина стенки штуцера
внутренней части

$$s_1 := s$$

внешней части

$$s_3 := s$$

3.7.1 Расчет укрепления отверстий в цилиндрической оболочке:

$$n :=$$

Цилиндрическая оболочка
Эллиптическая оболочка

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"Цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"Эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \end{cases}$$

Диаметры укрепляемых элементов вычисляются по формулам:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \frac{D^2}{2H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{D^2 - 4H^2}{D^4} \cdot x^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "Цилиндрическая оболочка"

$$D_p = 1.2 \text{ m}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2c_s & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 0.15 \text{ m}$$

Проверка условий применения формул для расчета необходимости укрепления отверстий:

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{if } n = 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} \quad \text{if } \frac{d_p - 2c_s}{D} > 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \quad \text{if } \frac{s - c_0}{D} > 1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right. \\ \text{if } n = 2 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} \quad \text{if } \frac{d_p - 2c_s}{D} > 0.6 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \quad \text{if } \frac{s - c_0}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right. \end{cases}$$

Usl₁ = "Условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки оболочки

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad \text{if } n = 1 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = 4.335 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Расчётная толщина стенки штуцера

$$s_{p1} := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 5.429 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Расчётные длины штуцеров

$$l_{1p} := \min[l_1, 1.25 \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}] = 0.048 \text{ m}$$

$$l_{3p} := \min[l_3, 0.5 \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - 2c_s)}] = 0 \text{ m}$$

Расчётная ширина накладного кольца

$$l_{2p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c_0)}] = 0.01 \text{ m}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c_0)} = 0.109\text{m}$$

Отношение допускаемых напряжений для внешней части штуцера

$$X1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}}\right) = 1$$

для накладного кольца

$$X2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д2}}{\sigma_{д}}\right) = 1$$

для внутренней части штуцера

$$X3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д3}}{\sigma_{д}}\right) = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия не требующий доп. укрепления

$$d_{ор} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c_0)} = 0.043\text{m}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия не требующий доп. укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c_0}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c_0)}$$

$$d_0 = 4.767 \text{ m}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$\text{Prov} := \left(\begin{array}{l} \text{"необходимо укрепление отверстия"} \quad \text{if } d_0 < d \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right)$$

Prov = "укрепление отверстия не требуется"

Tip = "Цилиндрическая оболочка"

Вывод: Рассчитан вал на жесткость, прочность и виброустойчивость, все необходимые условия выполнены.

Uls_vibrv = "Условие выполняется"

Uls_zes = "Условие выполняется"

Uls_prosva = "Условие выполняется"

Рассчитана обечайка на устойчивость в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях прочность выполняется.

- при рабочих условиях

Prov_1 = "Условие устойчивости выполняется"

- при условиях испытаний

Prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

Так же проверены на прочность крышка и днище, условие прочности выполняется.

Uslov_1 = "Условие применимости формул выполняется"

Uslov_2 = "Условие применимости формул выполняется"

Толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_s = 10 \cdot \text{mm}$$

Толщина стенки крышки:

$$s_{kS} = 10 \cdot \text{mm}$$

Толщина стенки днища:

$$s_{dS} = 10 \cdot \text{mm}$$

Рассчитан, используя ГОСТ Р 52857.3-2007[11] укрепление отверстия в плоской крышке. В данной расчете нет необходимости укреплять отверстия накладными кольцами.

4. Технологический расчет теплообменника

Исходные данные:

Производительность 25 тонн/сутки.

Давление в межтрубном и трубном пространстве 0,1 МПа.

Температура холодного теплоносителя (вода):

- на входе – 24°C;

- на выходе – 30°C.

Температура горячего теплоносителя (вода):

- на входе – 40°C;

- на выходе – 32°C.

4.1 Тепловой баланс

Переведем производительность горячего теплоносителя (G_1) в кг/с:

$$G_1 = 25 \frac{\text{тонн}}{\text{сутки}} = \frac{25 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} = 0,29 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Полная тепловая нагрузка аппарата:

$$Q_{\text{отд}} = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_2 - T_1), \text{Вт.}$$

Общее количество тепла, принятое в теплообменнике:

$$Q_{\text{пр}} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1), \text{Вт.}$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{отд}} - Q_{\text{пр}}.$$

В % от полной тепловой нагрузки:

$$\Delta\% = \frac{Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{отд}}} \cdot 100\%.$$

В данной работе примем тепловые потери в размере 5% от $Q_{\text{отд}}$.

В этих уравнениях:

G_1 – расход горячего теплоносителя, кг/с;

G_2 – расход охлаждающей воды, кг/с;

T_1, T_2 – температура горячего теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °C;

C_{p1}, C_{p2} – соответственно удельная теплоемкость горячего и холодного теплоносителей, Дж/(кг·К);

t_1, t_2 – температура холодного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С.

Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{отд} = Q_{пр} + Q_{пот}.$$

или с учетом $Q_{пот} = 0,05 \cdot Q_{отд}$:

$$0,95 \cdot Q_{отд} = Q_{пр}.$$

Определим расход охлаждающей воды из уравнения теплового баланса:

$$0,95 \cdot G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_2 - T_1) = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1).$$

Выразим G_2 :

$$G_2 = \frac{0,95 \cdot G_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_2 - T_1)}{C_{p2} \cdot (t_2 - t_1)}.$$

Удельную теплоемкость воды C_{p1}, C_{p2} при средней температуре:

$$T_{cp} = (T_1 + T_2)/2 = (40 + 32)/2 = 36^\circ\text{C}.$$

$$t_{cp} = (t_1 + t_2)/2 = (24 + 30)/2 = 27^\circ\text{C}.$$

По рис. XI [1] при T_{cp} имеем:

$$C_{p1} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$C_{p2} = 4186 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Подставим в уравнение найденные величины и вычислим расход охлаждающей воды:

$$G_2 = \frac{0,95 \cdot 0,29 \cdot 4190 \cdot (40 - 32)}{4186 \cdot (30 - 24)} = 0,37 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Определим значение промежуточной температуры t_2 по формуле [3]:

$$t_2 = \frac{Q_2}{G_2 \cdot C_{p2}} + t_1.$$

Рассчитаем Q_2 по формуле:

$$Q_2 = 0,37 \cdot 4186 \cdot (30 - 24) = 9293 \text{ Вт}.$$

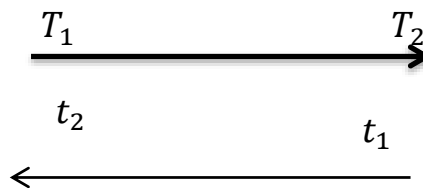
Тогда:

$$t_2 = \frac{9293}{0,37 \cdot 4186} + 24 = 30^\circ\text{C}.$$

4.2 Расчет движущей силы процесса

Расчет движущей силы процесса:

$$\Delta t_{\text{cp}}^{\text{K}} = \frac{A}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{г}} + \Delta t_{\text{м}} + A}{\Delta t_{\text{г}} + \Delta t_{\text{м}} - A}\right)}.$$



$$\Delta t_{\text{г}} = T_1 - t_2 = 40 - 30 = 10^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = T_2 - t_1 = 32 - 24 = 8^\circ\text{C};$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 40 - 32 = 8^\circ\text{C};$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 30 - 24 = 6^\circ\text{C};$$

$$A = \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{10}{\ln\left(\frac{10 + 8 + 10}{10 + 8 - 10}\right)} = 7,98^\circ\text{C}.$$

4.3 Ориентировочный расчет площади теплопередачи. Предварительный выбор теплообменника

Принимаем: трубы $\text{Ø}25 \times 2$;

$Re_{\text{op}} = 1000$ – ламинарное движение.

По рис. V [1] определяем вязкость холодного теплоносителя 27°C :

$$\mu_{\text{см}} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем ориентировочное число труб на один ход:

$$n = \frac{G_2}{0,785 \cdot Re_{\text{op}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot \mu_{\text{см}}} = \frac{0,37}{0,785 \cdot 2300 \cdot 0,021 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}} = 10,84 \approx 11.$$

Рассчитаем ориентировочную поверхность теплообмена на основе основного уравнения теплопередачи. Ориентировочные коэффициенты теплопередачи выберем из табл. 4.8 [1]:

$$K_{\text{оп}}^{\text{min}}=800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); K_{\text{оп}}^{\text{max}} = 1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}.$$

$$F_{\text{оп}}^{\text{min}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}}^{\text{max}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{9293}{1700 \cdot 7,98} = 0,69 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{оп}}^{\text{max}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}}^{\text{min}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{9293}{800 \cdot 7,98} = 1,46 \text{ м}^2.$$

Опираясь на рассчитанные данные, выберем теплообменник из табл. 4.12 [1]:

Подбор стандартного теплообменника на основе ориентировочного значения поверхности теплопередачи

Таблица 4.1. Характеристики теплообменника.

Число ходов, Z	Наружный диаметр, D, мм	Общее число труб, N	Число труб на один ход, n	Длина труб, L, м	Поверхность теплообмена, F, м ²
1	159	13	13	1	1

4.4 Уточненный расчет и выбор теплообменника

Уточняем значение критерия Re:

$$Re = \frac{n'}{n} \cdot Re_{\text{оп}} = \frac{11}{13} \cdot 2300 = 1946.$$

$Re < 2300$ –режим течения жидкости ламинарный.

Рассчитаем действительную поверхность теплообмена:

$$F_{\text{дейст}} = \frac{Q}{K_{\text{дейст}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}};$$

$$K_{\text{дейст}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma R},$$

где: α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю;

ΣR – сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений.

4.4.1 Коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке [1]:

$$\alpha_1 = 3,78 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 \cdot N \cdot d_H}{\mu_1 \cdot G_1}},$$

где ρ_1 – плотность горячего теплоносителя, кг/м³;

μ_1 – вязкость горячего теплоносителя, Па · с;

λ_1 – коэффициент теплопроводности горячего теплоносителя, Вт/(м · К).

Теплофизические величины берем при температуре пленки:

$$t_{пл} = \frac{T_1 + t_{ст1}}{2},$$

где

$$t_{ст1} = T_1 - 0,1 \cdot \Delta t_{ср} = 40 - 0,1 \cdot 7,98 = 39,2^\circ\text{C}.$$

$$t_{пл} = \frac{T_1 + t_{ст1}}{2} = \frac{40 + 39,2}{2} = 39,6^\circ\text{C}.$$

Из табл. XXXIX [1] имеем:

$$\rho_1 = 992 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\mu_1 = 657 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\lambda_1 = 0,634 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Коэффициент теплоотдачи равен:

$$\alpha_1 = 3,78 \cdot 0,634 \cdot \sqrt[3]{\frac{992^2 \cdot 13 \cdot 0,025}{657 \cdot 10^{-6} \cdot 0,29}} = 2848 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

4.4.2 Коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю [1]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_2}{d_{\text{ЭКВ}}},$$

где Nu – критерий Нуссельта;

λ_2 – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);

$d_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр; для труб круглого сечения $d_{\text{ЭКВ}} = d_{\text{ВН}}$.

Для ламинарной области критерий Нуссельта рассчитывается по формуле [1]:

$$Nu = 1,55 \cdot (Re \cdot \frac{d}{L})^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\mu_{ст}}\right)^{0,14},$$

где Pr – критерий Прандтля при средней температуре смеси;

$Pr_{ст}$ – критерий Прандтля при температуре стенки.

$$\mu_2 = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Теплофизические параметры для расчета при $t_{см2}$:

$$t_{ст2} = t_{ср} + 0,8 \cdot \Delta t_{ср} = 27 + 0,8 \cdot 7,98 = 33,4^\circ\text{C}.$$

Из табл. IX [1] определяем вязкость холодного теплоносителя:

$$\mu_{ст} = 0,75 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Критерий Нуссельта равен:

$$Nu = 1,55 \cdot 1,18 \left(1946 \cdot \frac{0,021}{1}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{0,86}{0,75}\right)^{0,14} = 6,42,$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к смеси:

$$\alpha_2 = \frac{6,42 \cdot 0,53}{0,021} = 162 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

4.4.3 Определение поверхности теплообмена зоны конденсации

Рассчитаем коэффициент теплопередачи по уравнению, где [1]:

$$\frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{r_{31} + r_{32} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}}},$$

где r_{31} – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны горячего теплоносителя;

r_{32} – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны холодного теплоносителя;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м · К);

δ – толщина стенки трубок, м.

Из табл. XXXI [1] выберем тепловые проводимости загрязнений:

со стороны органических паров

$$\frac{1}{r_{31}} = 11600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

со стороны воды

$$\frac{1}{r_{32}} = 11600 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Из табл. XXVIII [1] для стали:

$$\lambda_{\text{ст}} = 17,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Сумма термических сопротивлений:

$$\frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{\frac{1}{11600} + \frac{1}{11600} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{17,5}} = 3488 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K_{\text{действ}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma R} = \frac{1}{\frac{1}{2848} + \frac{1}{162} + \frac{1}{3488}} = 147 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхность теплопередачи:

$$F_{\text{действ}} = \frac{Q}{K_{\text{действ}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{9293}{147 \cdot 7,98} = 7,92 \text{ м}^2$$

Запас поверхности:

$$\Delta F = \frac{F_{\text{ап}} - F_{\text{действ}}}{F_{\text{действ}}} \cdot 100 = \frac{1 - 7,92}{7,92} \cdot 100 = 87\%$$

4.5 Конструктивно расчет

4.5.1 Расчет обечайки

Толщина стенки обечайки s в мм с учетом прибавок определяется по формуле [4]:

$$s = s' + C.$$

C – суммарная прибавка на коррозию-эрозию (принимается 2 мм).

По значению выражения

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi$$

определяем расчетную формулу номинальной расчетной толщины стенки s' .

Коэффициент φ учитывает ослабление обечайки в продольном направлении, которое может быть за счет сварного, паяного или клееного швов и, кроме того, за счет наличия неукрепленных отверстий в обечайке.

Из табл. 14.7 [4] имеем:

$$\varphi = 1.$$

Окончательные допускаемые напряжения, которые должны приниматься при расчете на прочность узлов и деталей, в общем виде следует определять по формуле [4]:

$$\sigma_{\partial} = \eta \cdot \sigma_{\partial}^*,$$

где η – поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата;

σ_{∂}^* – номинальное допускаемое напряжение в МН/м².

Примем $\eta=1$ [4].

По рис. 14.2 [4] определим номинальное допускаемое напряжение для стали марки 12Х18Н10Т при $T = 40^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_{\partial}^* = 180 \text{ МПа.}$$

Тогда:

$$\sigma_{\partial} = 1 \cdot 180 = 180 \text{ МПа.}$$

Определим значение выражения:

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi = \frac{180}{0,1} \cdot 1 = 1800.$$

Так как

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi \geq 25,$$

то для определения номинальной расчетной толщины стенки s' воспользуемся следующей формулой [4]:

$$s' = \frac{D_{\text{в}} p}{2 \sigma_{\partial} \varphi} = \frac{0,159 \cdot 0,1}{2 \cdot 180 \cdot 1} = 0,0004 \text{ м} = 0,4 \text{ мм.}$$

Толщина обечайки равна:

$$s = 0,4 + 2 = 2,4 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину стенки обечайки $s=4$ мм.

4.5.2 Подбор крышки и днища

Из табл. 16.1 [4] выберем эллиптическое отбортованное днище и крышку теплообменного аппарата:

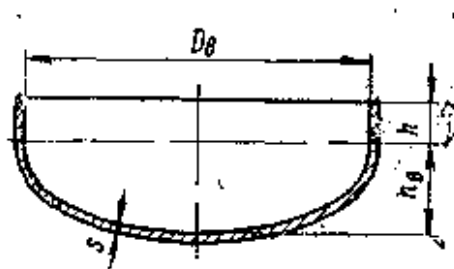


Рисунок 4.1. Эллиптическая крышка.

Таблица 4.2. Характеристики эллиптической крышки.

D_B	h_B	h
мм		
151	40	10

4.5.3 Расчет и подбор штуцеров и фланцев

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

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

где w - скорость, для жидкости принимаем 2 м/с, для пара – 25 м/с;

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

ρ – плотность при соответствующих условиях, кг/м³.

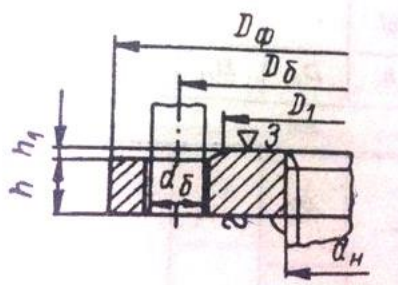


Рисунок 4.2. Фланец приварной в стык.

4.4.3.1 Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров для подвода охлаждающей воды:

из табл. IV [1] определим плотность воды при начальной температуре ($t_H=24^\circ\text{C}$):

$$\rho_B = 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,37}{3,14 \cdot 1 \cdot 998}} = 0,021 \text{ м} = 21 \text{ мм}.$$

Рассчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубчатых теплообменников [5].

Принимаем $d = 40$ мм.

Таблица 4.3. Характеристики фланца $d = 40$ мм.

D_y	d_H	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм							h , мм	Масса, кг
40	45	130	100	80	M12	4	13	1,36

4.4.3.2 Диаметр условного прохода (внутренний диаметр) штуцеров для отвода охлаждающей воды:

Плотность воды при $t_3 = 27^\circ\text{C}$ равна:

$$\rho_B = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,29}{3,14 \cdot 1 \cdot 1000}} = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм}.$$

Рассчитанный диаметр округляем до ближайшего большего значения в соответствии с нормализованным диаметром условного прохода штуцеров кожухотрубчатых теплообменников [5].

Принимаем $d = 20$ мм.

Таблица 4.4. Характеристики фланца $d = 20$ мм.

D_y	d_n	D_ϕ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев – 1	
					d_6	z	ГОСТ 1255-67	
мм							$h, \text{мм}$	Масса, кг
20	25	90	65	50	M10	4		

Из расчета подобран теплообменник [3]:

$$D_{\text{наруж}} = 159 \text{ мм}$$

$$d_{\text{труб}} = 25 \times 2 \text{ мм}$$

$$N_{\text{общ}} = 13$$

Число ходов – 1

Длина труб – 1 м

Поверхность теплообмена – 1 м^2

4.6 Гидравлический расчет

Гидравлический расчет состоит из двух частей. В первой определим потерю давления в трубном пространстве выбранного стандартного теплообменника. Во второй – потерю давления в трубопроводе, соединяющем резервуар с водой и теплообменник.

Общую потерю давления определим из уравнения:

$$\Delta p_{\text{общ}} = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p.$$

4.6.1 Расчет потерь давления в трубном пространстве теплообменника

Расчетная формула для определения гидравлического сопротивления в трубном пространстве [3]:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L \cdot Z}{d_{\text{экв}}} \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_{\text{в}}}{2} + (2,5 \cdot (Z - 1) + 2 \cdot Z) \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_{\text{в}}}{2} + 3 \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^{\text{шт}^2} \cdot \rho_{\text{в}}}{2},$$

где λ – коэффициент трения;

L – длина одного хода, м;

Z – число ходов по трубам;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при средней температуре, кг/м^3 ;

$\omega_{\text{тр}}$ – скорость смеси в трубном пространстве теплообменника, м/с;

$\omega_{\text{тр}}^{\text{шт}}$ – скорость воды в штуцере ввода и вывода теплообменника, м/с.

Скорость движения воды в трубном пространстве:

$$\omega_{\text{тр}} = 1 \text{ м/с.}$$

Рассчитаем относительную шероховатость трубок [3]:

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}},$$

где Δ – абсолютная шероховатость трубы (средняя высота выступов на поверхности трубы).

Из [3] для стальных труб с незначительной коррозией $\Delta=0,2$ мм.

Тогда:

$$e = \frac{0,2}{21} = 0,0095.$$

Для зоны смешанного трения ($10/e < Re < 560/e$) коэффициент трения [3]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$
$$\lambda = 0,11 \cdot \left(0,0095 + \frac{68}{1946} \right)^{0,25} = 0,05.$$

Скорость воды в штуцере ввода в теплообменник равна 1,51 м/с.

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,05 \cdot \frac{1 \cdot 1}{0,021} \cdot \frac{1^2 \cdot 998}{2} + (2,5 \cdot (1 - 1) + 2 \cdot 1) \cdot \frac{1^2 \cdot 998}{2} + 3 \cdot \frac{1^2 \cdot 998}{2}$$
$$= 3683 \text{ Па.}$$

4.6.2 Расчет потерь давления в трубопроводе

Общее гидравлическое сопротивление трубопровода по уравнению [1]:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \left(1 + \frac{\lambda \cdot L}{d} + \Sigma \zeta \right) + \rho \cdot g \cdot h_{\text{под}} + \Delta p_{\text{доп.}}$$

Длина всего трубопровода, включая местные сопротивления, 25 м. На трубопроводе установлены: две задвижки, отвод под углом 90° с радиусом изгиба 120 мм. Высота подъема жидкости 10 м.

Плотность воды при начальной температуре $t_{\text{н}}=24^\circ\text{C}$:

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

Трубопровод выполнен из стальных труб диаметром:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,37}{3,14 \cdot 1 \cdot 998}} = 0,021 \text{ м} = 21 \text{ мм.}$$

где ω – скорость движения жидкости в трубопроводе, принимаем $\omega=2$ м/с [1].

Примем диаметр трубопровода 40 мм.

Тогда скорость потока будет:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_2}{\pi d^2 \cdot \rho_B} = \frac{4 \cdot 0,37}{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 998} = 0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса Re :

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0,3 \cdot 0,04 \cdot 998}{0,657 \cdot 10^{-3}} = 1946$$

Для зоны смешанного трения ($10/e < Re < 560/e$) коэффициент трения [3]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

где $e = \Delta/d$ – относительная шероховатость труб;

Δ – высота выступов шероховатостей (в расчетах можно принять $\Delta = 0,2$ мм).

Рассчитаем относительную шероховатость и значение коэффициента трения:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,2}{40} = 0,005.$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(0,005 + \frac{68}{1946} \right)^{0,25} = 0,0049.$$

По табл. XIII [1] находим коэффициенты местных сопротивлений.

Таблица 4.5. Коэффициенты местных сопротивлений.

Вид сопротивления	$\Sigma \zeta$
Вход жидкости из бака в трубопровод (труба с острыми краями)	0,5
Задвижка	$2 \cdot 0,5 = 1$
Отвод ($\phi = 90^\circ$, $R_0/d = 2$)	$1 \cdot 0,15 = 0,15$
Итого:	1,65

Потери давления в трубопроводе равны:

$$\Delta p = \frac{998 \cdot 0,3^2}{2} \left(1 + \frac{0,0049 \cdot 25}{0,04} + 1,65 \right) + 998 \cdot 9,81 \cdot 10 + 0,1 \cdot 9,81 \cdot 10^4$$

$$= 107970 \text{ Па.}$$

Найдем общие потери давления:

$$\Delta p_{\text{общ}} = 3683 + 107970 = 111653 \text{ Па.}$$

Расчет мощности, потребляемой двигателем насоса [1]:

$$N = \frac{G_2 \cdot \Delta p_{\text{общ}}}{\rho_{\text{в}} \cdot 1000 \cdot \eta'}$$

где η – КПД, (принимаем =60%).

$$N = \frac{0,37 \cdot 111653}{998 \cdot 1000 \cdot 0,60} = 0,068 \text{ кВт.}$$

Объемный расход смеси равен:

$$V = \frac{G_2}{\rho_{\text{в}}} = \frac{0,37}{998} = 0,0004 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Определяем общую высоту всасывания насосом:

$$\Delta p_{\text{общ}} = 111653 \text{ Па} = \rho \cdot g \cdot H_{\text{общ}}.$$

$$H_{\text{общ}} = \frac{\Delta p_{\text{общ}}}{\rho \cdot g} = \frac{111653}{998 \cdot 9,81} = 11,4 \text{ м. ст. ж.}$$

По рассчитанным данным выбираем насос [2]

Таблица 4.6. Характеристики насоса.

Насос					Электродвигатель		
Марка	Q, м ³ /с	H, м.ст.ж	n, 1/с	$\eta_{\text{н}}$	тип	N _н , кВт	$\eta_{\text{н}}$
X280/29	8 · 10 ⁻²	21	24,15	0,78	АО2-81-4	40	0,89

5. Механический расчет кожохотрубчатого теплообменного аппарата

Исходные данные:

Для изготовления аппарата выбираем марку стали 12Х18Н10Т

Внутренний диаметр аппарата:

$$D := 151 \cdot \text{mm}$$

Длина цилиндрической обечайки:

$$l := 1000 \cdot \text{mm}$$

Основные конструктивные параметры крышек определяем согласно [4]:

Диаметр крышки:

$$D_{\text{кр}} := 159 \cdot \text{mm}$$

Высота отбортованной части крышки:

$$h_2 := 25 \cdot \text{mm}$$

Высота крышки:

$$H_{\text{к}} := 40 \cdot \text{mm} + h_2 = 0.065 \text{m}$$

Длина аппарата согласно:

$$L := 1130 \text{mm}$$

Длина распределительной камеры:

$$L_{\text{камеры}} := L - 2H_{\text{к}} - l = 0 \text{m}$$

5.1 Расчётные параметры

5.1.1 Расчётное напряжение

Так как разность температур холодного и горячего теплоносителей составляет 160°C , то можно не выполнять расчет температурных деформаций, а принять теплообменник типа ТН, диаметром 159 мм.

Основные характеристики стали 12Х18Н10Т определяем согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 [9]: допусковое напряжение, предел текучести, модуль упругости.

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{\text{хол}} := 24\text{C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

$$t_{\text{гор}} := 40\text{C}$$

Материал корпуса 12X18H10T

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 градусов:

$$\sigma_{\text{Д20}} := 184\text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при рабочей температуре холодного теплоносителя:

$$\sigma_{\text{Д24}} := 183.5\text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при рабочей температуре горячего теплоносителя:

$$\sigma_{\text{Д.40}} := 181.5\text{МПа}$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{\text{ср}} := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Давление рабочее в межтрубном пространстве

$$P_{\text{MT}} := 0.1\text{МПа}$$

Давление рабочее трубном пространстве

$$P_{\text{тр}} := 0.1\text{МПа}$$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%

$$\phi := 1$$

Коэффициент запаса устойчивости

$$n_y := 2.4$$

Для рабочих условий

$$n := 1.1$$

$$\sigma_{\text{T}} := 230\text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{н}} := \frac{\sigma_{\text{T}}}{n} = 2.091 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно [10]

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П := 0.015 \frac{\text{mm}}{\text{yr}}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 10 \text{ yr}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ mm}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ mm}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c_{\text{ww}} := c_1 + c_2 + c_3 = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

5.1.2 Расчет давлений:

Давление в трубном пространстве:

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{\text{рас1}} := 0.13 \text{ MPa}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{\text{и1}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас1}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д24}}} \right) = 1.629 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Условное давление

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас1}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д24}}} = 1.304 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Давление в межтрубном пространстве:

Расчетное давление:

$$P_{рас2} := 0.13 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{и2} := 1.25 \cdot P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д.40}} = 1.647 \times 10^5 \text{ Па}$$

Условное давление

$$P_{усл2} := P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д.40}} = 1.318 \times 10^5 \text{ Па}$$

5.2 Расчет толщины стенок корпуса аппарата

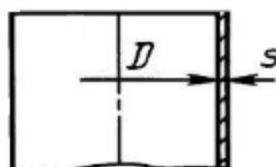


Рисунок 5.1. Расчетная схема обечайки аппарата.

Согласно ГОСТ Р 52857.2-2007 [10], определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата, рубашки.

5.2.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(\frac{P_{рас2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.40} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - P_{и2}} \right) = 5.951 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стеки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 2.095 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учётом ряда стандартных толщин

$$s_1 := 4 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁ = "Условия применения формул выполняются"

Допускаемого внутреннего избыточного давления:

При рабочих

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д24} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.125 \times 10^6 \text{ Pa}$$

При гидроиспытаний

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.149 \times 10^6 \text{ Pa}$$

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

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{д2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

5.2.2 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки, нагруженной внутренним избыточным давлением межтрубного пространства

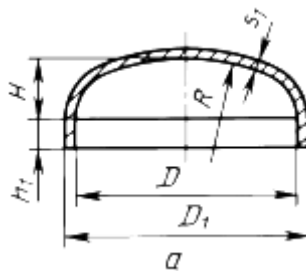


Рисунок 5.2. Основные размеры эллиптической крышки

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R := D$$

для эллиптических днищ с

$$H := 40 \text{ mm}$$

$$S_{p2} := \max\left(\frac{P_{рас2} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д24} - 0.5 P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - 0.5 P_{и2}}\right) = 5.95 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$s_{э.к} := S_{p2} + c = 2.095 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Принимаем

$$s_2 := 4 \text{ mm}$$

Проверка условия применения формул для эллиптической крышки:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₃ = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

Для рабочих условий

$$P_{доп.с} := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.40}}{R + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = 9.139 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Для условий испытаний

$$P_{доп.с} := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д20}}{R + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = 9.265 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и2} \leq P_{доп.с} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₄ = "условие прочности выполняется"

5.3 Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата

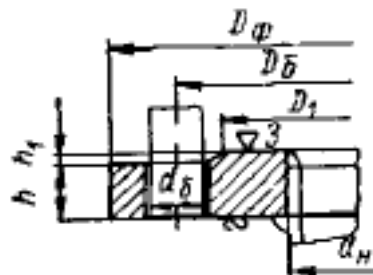


Рисунок 5.3 Фланцевое соединение, тип плоский.

Фланцы с уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для обеспечения герметичности аппарата при условно давлений среды до 0,6 МПа.

Исходные данные:

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T.

Материал болтов - сталь 08X18H10.

Материал прокладки - фторопласт.

$D := 159 \text{ mm}$

$D_{\phi} := 260 \text{ mm}$

Рабочая температура

$t := 40 \text{ C}$

материал для болтов: Сталь 08X18H10

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болтов:

Допускаемое напряжение

$\sigma_{д.б} := 165 \text{ МПа}$

Толщина прокладки

$h_{\Pi} := 2 \text{ mm}$

Диаметр болта (рекомендуемый) [4]

$d := 16 \text{ mm}$

Ширина прокладки

$b_{\Pi} := 11.5 \text{ mm}$

Толщина втулки фланцев [4]

$S_0 := 3 \text{ mm}$

Толщина тарелки фланца [4]

$h := 17 \text{ mm}$

Диаметр окружности расположения болтов [4]

$D_{\phi} := 225 \text{ mm}$

Расчетный диаметр прокладки [4]

$D_{сП} := 202 \text{ mm}$

Количество болтов [4]

$$n := 8$$

Толщина втулки фланка в месте присоединения к тарелке [4]

$$S_1 := 3\text{mm}$$

Длина конической втулки фланца [4]

$$l := 0\text{mm}$$

Расчетное давление

$$P := 0.13\text{MPa}$$

Прибавка на коррозию

$$c_0 := 0.15\text{mm}$$

$$M := 0\text{N}\cdot\text{m}$$

5.3.1 Определение расчетных параметров.

Расчетная температура неизолированных, приваренных в стык фланцев $t_{\phi} = 0,96 t$

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

$$t_{\phi} = 38.4\text{C}$$

Расчетная температура шпилек:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\sigma} = 34\text{C}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T и 08X18H10 при рабочей температуре:

$$E_{\sigma} := 2.15 \cdot 10^5\text{MPa}$$

$$E := 2.15 \cdot 10^5\text{MPa}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T и 08X18H10 при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_{20\sigma} := 168\text{MPa}$$

$$\sigma_{20} := 184\text{MPa}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T и 08X18H10 при температуре испытания $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{20\sigma} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_{20} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12X18H10T и 08X18H10 при $t = 20 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$:

Для болтов.

$$\alpha_{\sigma} := 16.6 \cdot 10^{-6} \cdot \text{C}^{-1}$$

$$\sigma_t := 243 \text{ МПа}$$

Для фланца.

$$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{кр}} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.}\phi} := \eta \cdot \sigma_t$$

$$\sigma_{\text{д.}\phi} = 2.43 \times 10^8 \text{ Па}$$

5.3.2 Расчет фланцевого соединения

$$b_{\text{п}} := 0.011$$

Эффективная ширина плоской прокладки.

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

$$b_0 = 0.011$$

$$b_0 := 0.011 \text{ м}$$

$$b_{\text{п}} := 0.011 \text{ м}$$

Таблица 5.1. - Характеристики основных типов прокладок.

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление q_d , МПа	Коэффициент обжатия, $K_{обж}$	Условный модуль сжатия прокладки, $E_{п} \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоская неметаллическая прокладка из:					
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20	130	0,9	0,02
фторопласта 4 по ТУ 6-05-810 при толщине 1—3 мм	2,5	10	40	1	0,02

По таблице 5.1, выбираем характеристики прокладки, изготовленной из фторопласта по ГОСТ 481-80 [19].

Прокладочный коэффициент

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки, МПа

$$q_{обж} := 10 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление, МПа

$$q_d := 40 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия

$$K_{обж} := 1$$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа

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

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 3.49 \times 10^4 \text{ N}$$

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

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

$$R_{п} = 2.269 \times 10^3 \text{ N}$$

Площадь поперечного сечения болтов по ГОСТ 1759.0-87 [20]:

$$f_b := 157 \text{ mm}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b = 1.256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P = 4.166 \times 10^3 \text{ N}$$

Осевое сжимающие усилие

$$F := - \left[0.6 \cdot \left[\frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{1000} \right)^2}{4} \right] \cdot 10^6 \right] \cdot P_a = -0.012 \text{ N}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{FM} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right| \right) = 0.012 \text{ N}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} = 1.433 \times 10^{-7} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{60} := 50 \text{ mm}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := (L_{60} + 0.56 \cdot d) = 0.059 \text{ m}$$

Податливость шпилек:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_b} = 2.183 \times 10^{-7} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

5.3.3 Расчетные параметры фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 0.022 \text{ m}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_\phi}{D} = 1.635$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.651$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 4.534$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 4.158$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 2.195$$

Коэффициенты для фланцевых соединений, зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяем по графикам:

В зависимости от отношений:

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 1$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0$$

$$D \cdot S_0 = 4.77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

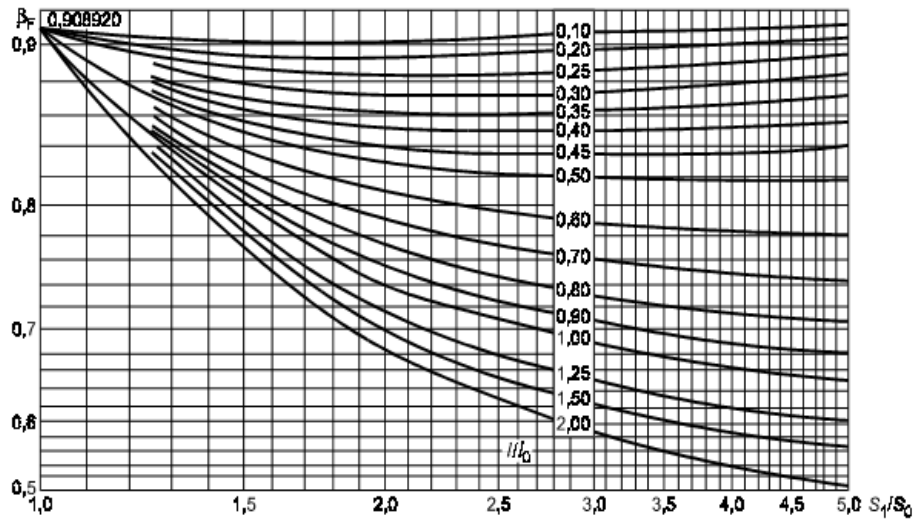


Рисунок 5.4. Определению коэффициента β_F

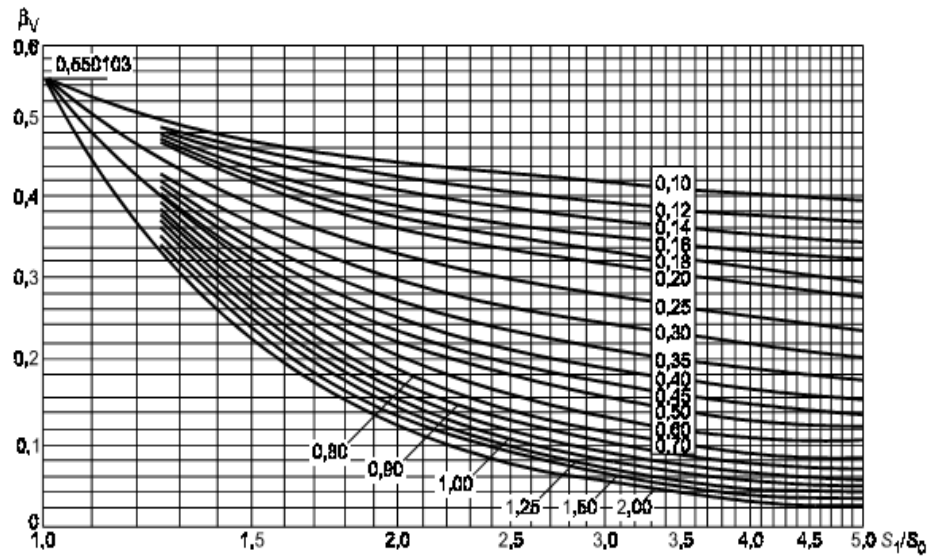


Рисунок 5.5. Определению коэффициента β_V

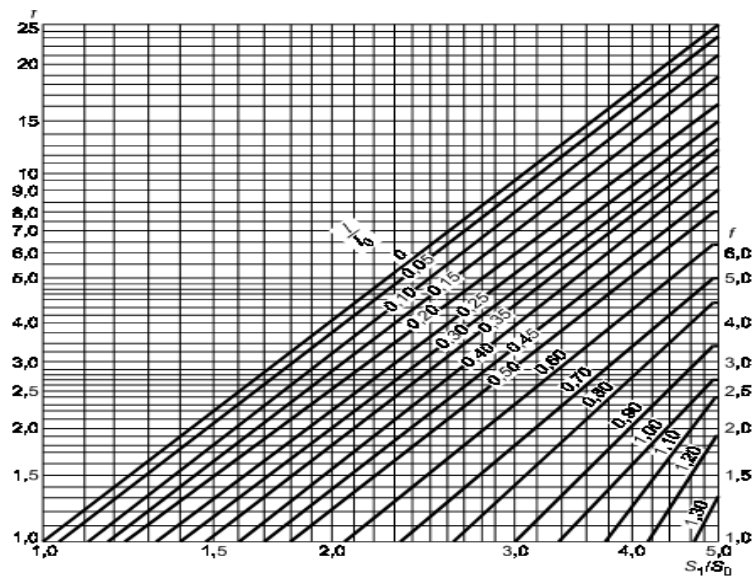


Рисунок 5.6. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца

Из рисунков определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

$$\beta_F := 0.9$$

$$\beta_V := 0.55$$

$$f := 1$$

коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 4.062$$

5.3.4 Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 2.916 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{J}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_\phi} = 3.969 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{J}}$$

Угловую податливость плоской крышки вычисляют по формуле:

$$K_{кр} := \frac{D_\phi}{D_{сп}} = 1.287$$

$$h_K := 65 \text{ mm}$$

$$\delta_{кр.} := 39 \text{ mm}$$

$$X_{кр} := 0.67 \cdot \frac{\left[K_{кр}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{кр})) - 1 \right]}{\left(K_{кр} - 1 \right) \cdot \left[K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \frac{h_K^3}{\delta_{кр.} \cdot \text{mm}^2} \right]}$$

$$X_{кр} = 1.796 \times 10^{-4}$$

$$y_{кр} := \frac{X_{кр}}{\delta_{кр}^3 \cdot E_{20}} = 1.408 \times 10^{-11} \frac{1}{J}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1.157$$

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D' := D \text{ т.к. } D \geq 20 \cdot S_1 = 1$$

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык фланцев:

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 0.012 \text{ m}$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) = 0.02 \text{ m}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1$$

$$S_2 := \xi \cdot S_0 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для соединения фланца с крышкой:

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + b^2 \cdot \left(y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{кр} \cdot \frac{E_{20}}{E} \right)} = 1.338 \times 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{п} - (e \cdot y_{ф} + y_{кр} \cdot b)b}{y_{п} + y_6 + b^2 \cdot (y_{ф} + y_{кр})} = 1.706$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} = 0.974$$

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

$$t_{\text{кр}} := t = 40 \text{ C}$$

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20\text{C}) + \alpha_{\text{кр}} \cdot h_{\text{к}} \cdot (t_{\text{кр}} - 20\text{C}) - \alpha_{\delta} \cdot (h + h_{\text{к}}) \cdot (t_{\delta} - 20\text{C}) \right]$$

$$Q_t = 1.728 \times 10^4 \text{ N}$$

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

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

$$P_{\delta 1} = 9.375 \times 10^3 \text{ N}$$

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

$$P_{\delta 2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot \sigma_{20\delta}) = 8.44 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P_{\text{обж}} = 3.49 \times 10^4 \text{ N}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\text{бМ}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 8.44 \times 10^4 \text{ N}$$

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

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

$$P_{\text{бр}} = 9.874 \times 10^4 \text{ N}$$

5.3.5 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах:

при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бМ}}}{A_{\text{б}}} = 6.72 \times 10^7 \text{ Pa}$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} = 7.861 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{20\text{б}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 6.72 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 7.861 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{20\text{б}} = 1.68 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 1.65 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\bar{\sigma}_M}, P_{\bar{\sigma}_p})}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_{\text{П}}} = 1.414 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

5.3.6 Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\bar{\sigma}_M} \cdot b = 1.123 \times 10^3 \text{ J}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

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

$$M_p = 1.41 \times 10^3 \text{ J}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке.

плоского фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{f \cdot M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D'} \div 10 = 2.141 \times 10^7 \text{ Pa}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 1.162 \times 10^7 \text{ Pa}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TМ} := \frac{\beta \cdot Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta \cdot Z \cdot \sigma_{RМ} = 7.612 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{f \cdot M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D'} = 2.688 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

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

$$\sigma_{0ММр} = 2.872 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0Мор} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 3.626 \times 10^6 \text{ Pa}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta \cdot F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 1.46 \times 10^7 \text{ Pa}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta \cdot Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta \cdot Z \cdot \sigma_{Rp} = 9.558 \times 10^7 \text{ Pa}$$

5.3.7 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\vartheta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 4.112 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

Допускаемый угол поворота приварного встык фланца принимаем 0.07

$$\vartheta_{\text{д}} := 0.07$$

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

UsI_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

5.4 Расчет штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:

$$d_{\text{хол}} := 40\text{mm}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя:

$$d_{\text{гор}} := 25\text{mm}$$

Материал для патрубков назначаем конструктивно: 12X18Н10Т (корпус аппарата изготовлен из такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии).

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{\text{хол}} = 24\text{C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

$$t_{\text{гор}} = 40\text{C}$$

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

Длина патрубка для горячего теплоносителя:

$$l_{\text{гор}} := 50\text{mm}$$

Длина патрубка для холодного теплоносителя:

$$l_{\text{хол}} := 50\text{mm}$$

5.4.1 Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении, согласно [11]:

$$s_{p4} := \max \left(\frac{P_{рас1} \cdot d_{хол}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д24} - P_{рас1}}, \frac{P_{и1} \cdot d_{хол}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - P_{и1}} \right) = 1.559 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 1.656 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Принимаем толщину патрубка:

$$s_{штуц.Ду40} := 2 \text{ mm}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{штуц.Ду40} - c}{d_{хол}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров1 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допустимого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д24} \cdot \phi \cdot (s_{штуц.Ду40} - c)}{d_{хол} + (s_{штуц.Ду40} - c)} = 1.622 \times 10^7 \text{ Pa}$$

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

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"

5.4.2 Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя, согласно [11]:

$$s_{p5} := \max \left(\frac{P_{рас2} \cdot d_{гор}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.40} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot d_{гор}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - P_{и2}} \right) = 9.852 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 1.599 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Принимаем толщину патрубка:

$$s_{\text{штуц.Ду25}} := 2\text{mm}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{штуц.Ду25}} - c}{d_{\text{гор}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д5}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д.40}\phi} \cdot (s_{\text{штуц.Ду25}} - c)}{d_{\text{гор}} + (s_{\text{штуц.Ду25}} - c)} = 2.501 \times 10^7 \text{Pa}$$

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

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"} & \text{if } P_{\text{д5}} > P_{\text{и2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"

5.5 Укрепление отверстий патрубков

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 0.151 \text{m}$$

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

$$d_{\text{рхол}} := d_{\text{хол}} + 2 \cdot c_1 = 0.04 \text{m}$$

$$d_{\text{ргор}} := d_{\text{гор}} + 2 \cdot c_1 = 0.025 \text{m}$$

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

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{1\text{хол}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{хол}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{штуц.Ду40}} - c_1)} = 0.011 \text{m}$$

$$l_{1\text{гор}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{гор}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{штуц.Ду25}} - c_1)} = 8.552 \times 10^{-3} \text{m}$$

Укрепление отверстий штуцеров.

Укрепление отверстий производим с помощью накладного кольца, толщина которого равняется толщине обечайки.

-для цилиндрической обечайки:

Толщина накладного кольца, мм

$$s_{2.цилиндр.обеч} := s_1 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

5.5.1 Расчетные длины штуцеров

Расчетные длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий.

Принимаем исполнительную длину внешней части штуцера, мм:

$$l_1 := 50 \text{ mm}$$

Принимаем исполнительную длину внутренней части штуцера, мм:

$$l_2 := 0 \text{ mm}$$

-для штуцера Ду25:

$$l_{1р.штуц.Ду25} := \min \left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{рхол} + 2c_1) \cdot (s_{штуц.Ду25} - c_1)} \right]$$

$$l_{1р.штуц.Ду25} = 0.011 \text{ m}$$

$$l_{2р.штуц.Ду25} := \min \left[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{рхол} + 2c_1) \cdot (s_{штуц.Ду25} - c_1)} \right]$$

$$l_{2р.штуц.Ду25} = 0 \text{ m}$$

Принимаем:

$$l_{1.штуц.Ду40} := \max(l_{1р.штуц.Ду25}, l_1) = 0.05 \text{ m}$$

$$l_{3.штуц.Ду25} := \max(l_{2р.штуц.Ду25}, l_2) = 0 \text{ m}$$

$$X := l_{1р.штуц.Ду25} \cdot (s_{штуц.Ду40} - s_{р4} - c_1) + l_{2р.штуц.Ду25} \cdot (s_{штуц.Ду25} - c_1)$$

$$X = 1.987 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления отверстий вычисляются по формуле:

-для цилиндрической обечайки:

$$d_{ор.цилиндр} := 0.4 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c_1)} = 9.644 \times 10^{-3} \text{ m}$$

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

$$\text{Пров5} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{\text{ор.цилиндр}} \geq d_{\text{рхол}} \\ \text{"Необходимо укрепления отверстия штуцера"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров5 = "Необходимо укрепления отверстия штуцера"

Так как диаметры штуцеров для подачи холодного и горячего теплоносителя одинаковы, следовательно, штуцер для подачи горячего теплоносителя тоже необходимо укрепить.

5.5.2 Расчетная ширина зоны укрепления

Ширина зоны укрепления в обечайках:

-для цилиндрической обечайки:

$$L_{0.\text{цилиндр}} := \sqrt{D \cdot (s_1 - c_1)} = 0.024 \text{ m}$$

В случае укрепления накладным кольцом, ширина зоны укрепления принимается:

-для цилиндрической рубашки:

$$l_{\text{р.цилиндр}} := L_{0.\text{цилиндр}} = 0.024 \text{ m}$$

Отношения допускаемых напряжений.

Исходя из условия, что внешняя часть штуцера и накладное кольцо состоят из одно и то же материала, что и рубашка.

Принимаем:

-для внешней части штуцера

$$\sigma_1 := \sigma_{\text{Д.40}} = 1.815 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{Д.40}}}\right) = 1$$

-для накладного кольца

$$\sigma_2 := \sigma_{\text{Д.40}} = 1.815 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{Д.40}}}\right) = 1$$

-для внутренней части штуцера

$$\sigma_3 := \sigma_{Д.40} = 1.815 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_3}{\sigma_{Д.40}}\right) = 1$$

5.5.3 Расчет диаметра отверстия не требующего укрепления

Условие укрепления одиночных отверстий.

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

Принимаем укрепление штуцеров накладным кольцом.

Исполнительная толщина накладного кольца (при условии, что толщина накладного кольца равна толщине стенки обечайки) равна:

Толщина накладного кольца, мм.

$$s_{\text{кольца}} := 6 \text{ mm}$$

-для штуцера Ду40:

$$A''_1 := l_{1\text{р.штуц.Ду25}} \cdot (s_{\text{штуц.Ду40}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_1 = 1.825 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A''_2 := L_{0.\text{цилиндр}} \cdot (s_{\text{кольца}}) \cdot \chi_2 = 1.447 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A''_3 := l_{2\text{р.штуц.Ду25}} \cdot (s_{\text{штуц.Ду25}} - s_{\text{и4}} - c_1) \cdot \chi_3 = 0 \text{ m}^2$$

$$A''_4 := L_{0.\text{цилиндр}} \cdot (s_1 - s_{\text{р1}} - c_1) = 9.139 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A''_5 := 0.5 \cdot (d_{\text{хол}} - d_{\text{ор.цилиндр}}) \cdot s_1 = 6.071 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Усл}_{\text{укр}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } A''_1 + A''_2 + A''_3 + A''_4 \geq A''_5 \\ \text{"Требуется увел. толщ. стенки сосуда или штуцера либо накл. кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{укр}} = \text{"Условие выполняется"}$$

5.6 Расчет трубной решетки [13]:

Исходные данные:

$$l_{\text{труб}} := 1\text{m}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 13 \text{ труб}$$

Для трубной решетки используем материал 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение трубной решетки:

$$\sigma_{\text{реш34}} := 180\text{MPa}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{реш70}} := 195 \cdot 10^3 \text{MPa}$$

Для труб используется материал: 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$\sigma_{\text{тр}} := 180\text{MPa}$$

Модуль упругости:

$$E_{\text{тр5}} := 1.95 \cdot 10^{11} \text{Pa}$$

Внутренний диаметр аппарата:

$$D_{\text{вн}} := 151 \text{mm}$$

Диаметр трубы внутренний:

$$d_{\text{тр}} := 21\text{mm}$$

Толщина стенки трубы:

$$s_{\text{тр}} := 2\text{mm}$$

Диаметр отверстия в решетке:

$$d_0 := 21.2\text{mm}$$

Диаметр трубы наружный:

$$d_{\text{нр}} := 25\text{mm}$$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 0.076 \text{ m}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:

$$a_1 := 75 \text{ mm}$$

Расчет трубной решетки:

Относительную характеристику бес трубного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.007$$

Шаг расположения труб, располагаются по равнобедренному квадрату:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{тр}} + 2 \text{ mm} = 0.032 \text{ m}$$

Эффективный диаметр отверстия в трубной решетке или задней стенке для решеток с трубами, закреплёнными на всю толщину решетки, мм

$$d_E := d_0 - s_{\text{тр}} = 0.019 \text{ m}$$

Эффективный коэффициент ослабления

$$\phi_E := 1 - \frac{d_E}{t} = 0.4$$

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_P := \frac{t - 21 \text{ mm}}{t} = 0.344$$

Толщина трубной решетки:

$$s_{p11} := \frac{D_{\text{сп}}}{3.4} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{рас1}}}{\phi_E \cdot \sigma_{\text{реш34}}}} = 2.525 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 15 \text{ mm}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формулам:

- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{тр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.639$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.745$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_{\text{тр}} \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l_{\text{труб}}} = 2.073 \times 10^{10} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

Модуль упругости кожуха при температуре 40⁰С:

$$E_{\text{кож}} := 2.07 \cdot 10^{11} \text{Pa}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 1.878$$

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками $K_{1p} = K_{1q} = 0$

$$K_{1p} := 0$$

$$K_{1q} := 0$$

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

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

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

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

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

$$\eta_T = 0.745$$

Таблица. 5.2. Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0 .

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

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0.7 \\ 0.75 \end{pmatrix}$$

$$\psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0.44 \\ 0.51 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{interp}[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}, (\eta_T)], 0.005] = 0.5$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta_{\text{мм}} := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{\text{реш70}}}} = 28.834 \frac{1}{\text{m}}$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляются по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2.163$$

5.6.1 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

- Максимальное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{мак1}} := 0.13 \text{ МПа}$$

- Максимальное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{мак2}} := 0.13 \text{ МПа}$$

R1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_{\phi} + D}{4} = 0.103 \text{ m}$$

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

$$K_{\phi} := 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

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

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.038$$

α_K - коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре 40 °C, 1/°C;

$$\alpha_K := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$$

α_T - коэффициент линейного расширения материала труб при температуре 24 1/°C;

$$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$$

Приведенное давление p_0 вычисляют по формуле:

$$p_{01} := [\alpha_K \cdot (t_{\text{гор}} - 20\text{C}) - \alpha_T \cdot (t_{\text{хол}} - 20\text{C})] \cdot K_y \cdot m = 5.506 \times 10^6 \text{Pa}$$

$$p_{02} := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{мак1}} = 2.265 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$p_{03} := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)] \cdot P_{\text{мак2}} = 1.635 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$p_0 := p_{01} + p_{02} - p_{03} = 5.569 \times 10^6 \text{Pa}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1 \cdot m}{\beta^2 \cdot K_\Phi \cdot R_1} = 1.374 \times 10^9$$

Коэффициенты, учитывающие влияние бес трубного края и поддерживающие влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 определяют по таблице 5.3.

Таблица. 5.3. Коэффициенты Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

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

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

Безразмерный параметр системы решетка - трубы.

$$\omega = 2.163$$

$$\omega_{-1} := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{1_таб} := \begin{pmatrix} 2.79 \\ 3.58 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_{-1}, \Phi_{1_таб}, \omega), 0.05) = 3$$

$$\omega_2 := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{2_таб} := \begin{pmatrix} 1.32 \\ 2.16 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_2, \Phi_{2_таб}, \omega), 0.05) = 1.55$$

$$\omega_3 := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{3_таб} := \begin{pmatrix} 2.75 \\ 3.76 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{Floor}(\text{linterp}(\omega_3, \Phi_{3_таб}, \omega), 0.05) = 3.05$$

Значения T_1, T_2, T_3 вычисляются по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 1.02$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 3.081$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 1.581$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 3.07$$

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

- для изгибающего момента:

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

$$s_{1k} := 6 \text{ мм}$$

$$s_{2k} := 6 \text{ мм}$$

β_{1x} - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм;

$$\beta_{1x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 61.079 \frac{1}{\text{м}}$$

β_{2x} - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_{2x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 61.079 \frac{1}{\text{м}}$$

$h_{1\phi}$ - толщина тарелки фланца кожуха, мм;

$$h_{1\phi} := 17\text{mm}$$

m_1 - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_{1x} \cdot h_{1\phi}}{\beta_{1x}^2} = 5.464 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

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

$$m_2 := \frac{1 + \beta_{2x} \cdot h_{1\phi}}{\beta_{2x}^2} = 5.464 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

p_1 - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) \cdot m = 0 \text{Pa}$$

расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{мак2}} = 1.3 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$M_{\Pi} := \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{[p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot m - p_0 \cdot T_2] \cdot m}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -3.361 \times 10^{-6} \text{J}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{[p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2] \cdot m}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 8.422 \times 10^4 \text{N}$$

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

- для изгибающего момента:

$$M_a := M_{\Pi} + (a - a_1) \cdot Q_{\Pi} = 42.112 \text{J}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = 8.479 \times 10^4 \text{N}$$

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

- для осевой силы:

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

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 \cdot m + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right]$$

$$N_T = 1.804 \times 10^5 \text{ J}$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 0.021 \text{ m}$$

J_T - момент инерции поперечного сечения трубы, мм⁴;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 9.628 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

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

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

$$l_{\text{пр}} := l_{\text{труб}} = 1 \text{ m}$$

$$M_T := \frac{E_{\text{тр5}} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 4.705 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{s}^2}$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{и2}} \cdot m - Q_{\text{п}} = -7.8 \times 10^4 \text{ N}$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_{\text{п}} + T_3 \cdot \beta \cdot M_{\text{п}}) \cdot N - \frac{P_{\text{мак1}}}{2 \cdot \beta \cdot l_x} = 2.46 \times 10^6 \text{ N}$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = -3.7 \times 10^4 \text{ J}$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции.

D_n - наружный диаметр фланца, м;

$$D_\phi = 0.26 \text{ m}$$

s_p - толщина трубной решетки, м;

$$s_{1p} := s_p = 0.015 \text{ m}$$

b_1 - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_\phi - D}{2} = 0.055 \text{ m}$$

R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 = 0.103 \text{ m}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках.

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

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_{\Pi}|}{(s_{1p} - c)^2 \cdot m} = 0.091 \text{ Pa}$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_{\Pi}|}{(s_{1p} - c) \cdot m} = 5.672 \times 10^6 \text{ Pa}$$

m_A , n_B - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.014$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 69.825$$

A — коэффициент, определяемый по приложению Г [13] в зависимости от ω и m_A ;

B — коэффициент, определяемый по приложению Г [13] в зависимости от ω и n_B ;

$$A := 0.724$$

$$B := 1.3$$

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

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ m_A > 1 \end{cases} \end{cases} = 2.129 \times 10^3 \text{ J}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 5.792 \times 10^7 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 5.709 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 1.333 \times 10^7 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 4.313 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{\max 1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 1.678 \times 10^6 \text{ Pa}$$

изгибные:

$$\sigma_{\text{иФ}} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{иХ}} = 1.294 \times 10^{11} \text{ Па}$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2\tau} := \frac{(d_{\text{нр}} - s_{\text{тр}}) \max(|P_{\text{мак2}}|, |P_{\text{мак1}}|, |P_{\text{мак2}} - P_{\text{мак1}}|)}{2 \cdot s_{\text{тр}}}$$

$$\sigma_{2\tau} = 7.475 \times 10^5 \text{ Па}$$

$\sigma_{\text{др}}$ - допускаемое напряжение для материала решетки, МПа;

$$\sigma_{\text{др}} := 181.5 \text{ МПа}$$

Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\tau_{2p} := 5.709 \text{ МПа}$$

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

Пров_{труб_реш} = "Условие прочности выполняется"

Проверка прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке: допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$$\sigma_{\text{Д24}} = 1.835 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\text{МХ}} := 13.33 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{МХ}} \leq 1.3 \cdot \sigma_{\text{Д24}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_{кож} = "Условие выполняется"

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

условие статической прочности труб

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

Пров_{ст_прочности} = "Условие выполняется"

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если:

K_T - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

Задаем конструктивно:

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

$$l_{1R} := 1000\text{mm}$$

l_{2R} — максимальный пролет трубы между перегородками, мм;

$$l_{2R} := 1000\text{mm}$$

l_R - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

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

λ - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условий:

$$\lambda_1 := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр}}}{E_{\text{тр}5}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 2.079$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_2 := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{тр}}}{E_{\text{тр}5}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{\text{тр}} - s_{\text{тр}})} = 1.801$$

ϕ_x - коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый по графику на рисунке 6, в зависимости от λ .

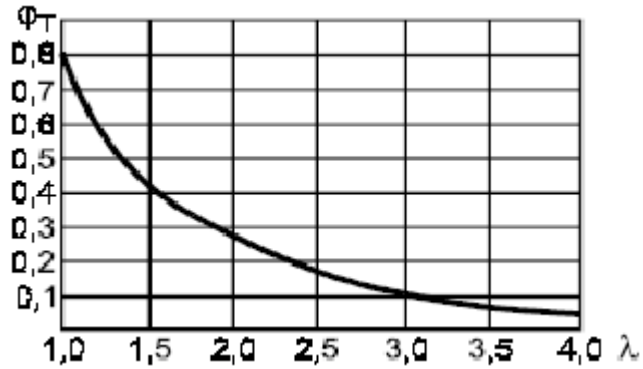


Рисунок 5.7. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе.

$$\varphi_T := 0.15$$

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

Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой:

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 5.404 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Трубная нагрузка:

$$q := P_{\text{рас1}} \cdot f = 70.255 \text{ N}$$

$$Q := 6.357 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$q := \frac{Q}{n_{\text{тр}}} = 4.89 \times 10^3 \text{ N}$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_T := 4.1 \text{ MPa}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_H := 0.025 \text{ m}$$

$$d_B := 0.021 \text{ m}$$

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

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T = 592.504 \text{ N}$$

Суммарное усилие:

$$q_c := q - q_T = 4.297 \times 10^3 \text{ N}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H \cdot m} = 6.226 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{0д} := 0.04 \cdot 10^6 \text{ MPa}$$

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

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

Вывод: принимаем тип крепления, труб к трубной решетки, гладкой развальцовкой.

5.7 Расчет массы аппарата

Расчет веса корпуса аппарата:

Вес обечайки:

Наружный диаметр корпуса

$$D_H := 0.159 \text{ m}$$

Внутренний диаметр аппарата

$$D_{BK} := 0.15 \text{ m}$$

Внутренний диаметр крышки

$$D_{кр} := 0.15 \text{ m}$$

Внутренний диаметр труб

$$D_{BT} := 0.021 \text{ m}$$

Наружный диаметр труб

$$D_{HT} := 0.025 \text{ m}$$

Толщина стенки эллиптической крышки межтрубного пространства

$$s_{Э.К.М.П} := 0.004 \text{ m}$$

Плотность воды

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Толщина стенок труб

$$s_{\text{T}} := 0.002\text{m}$$

Толщина стенки корпуса

$$s_{\text{корп}} := 0.004\text{m}$$

Прибавка на коррозию

$$c := 0.015 \text{ m}$$

Длина корпуса

$$L_{\text{корп}} := 1\text{m}$$

Длина камеры

$$L_{\text{камеры}} := 0\text{m}$$

Длина труб

$$L_{\text{труб}} := 1\text{m}$$

Количество труб

$$n := 13$$

Ускорение свободного падения

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Плотность стали

$$\rho_{\text{мет}} := 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Толщина трубной решетки

$$s_{\text{тр}} := 15\text{mm}$$

Диаметр трубной решетки

$$D_{\text{T.p1}} := 0.151\text{m}$$

Вес корпуса аппарата:

$$G_{\text{корп}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 150.952 \text{ N}$$

Вес распределительной камеры аппарата:

$$G_{\text{кам}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{камеры}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 0$$

Вес трубного пучка:

$$G_{\text{труб.п}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{НТ}}^2 - D_{\text{ВТ}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot n = 145.595 \text{ N}$$

Вес трубной решетки 1:

$$G_{\text{труб.р1}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{Т.р1}}^2}{4} \right) \cdot s_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 20.818 \text{ N}$$

Вес эллиптической крышки межтрубного пространства:

Высота эллиптической крышки:

$$H_{\text{Э.к.м.п}} := 65 \text{ mm}$$

Вес эллиптической крышки:

По ГОСТ 6533-78

$$G_{\text{Э.к.м.п}} := 1.2 \text{ kg} \cdot g = 11.772 \text{ N}$$

Вес фланцевого соединения с $D_{\text{вн}} = 313$:

$$G_{\text{фланц159}} := 5 \text{ kg} \cdot g = 49.05 \text{ N}$$

Вес пустого аппарата:

$$A := G_{\text{корп}} + G_{\text{кам}} + G_{\text{труб.п}} + G_{\text{труб.р1}} = 317.364 \text{ N}$$

$$A_1 := 2G_{\text{Э.к.м.п}} + 2G_{\text{фланц159}} = 121.644 \text{ N}$$

$$G_{\text{ап1}} := (A + A_1) \cdot 2 = 878.017 \text{ N}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{жид1}} := \left(\pi \cdot \frac{D_{\text{вк}}^2}{4} \cdot L_{\text{корп}} \right) \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 175.325 \text{ N}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 1.053 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F := G_{\text{ап2}} = 1.053 \times 10^3 \text{ N}$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F_1 := \frac{F}{1000000} = 1.053 \times 10^{-3} \text{ N}$$

5.7.1 Расчет седловых опор.

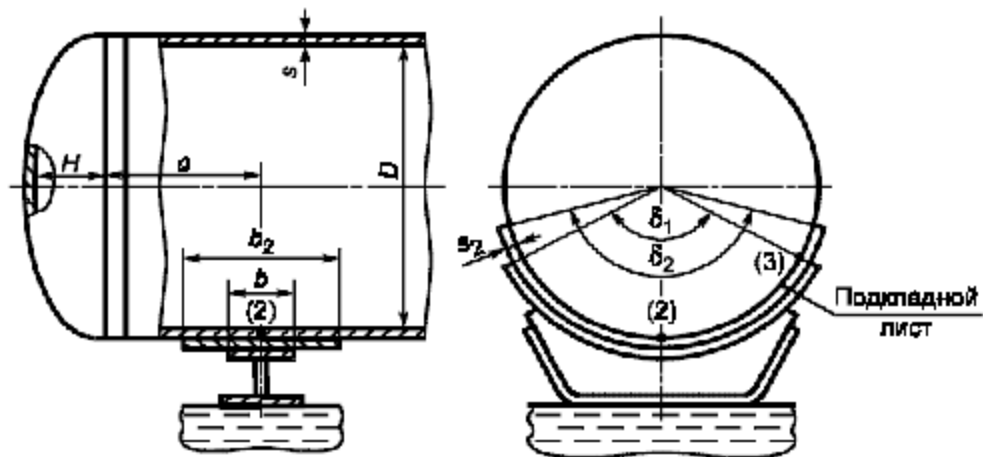


Рисунок 5.8. Расчетная схема обечайки, не подкрепленной кольцами жесткости.

Определение расчетных усилий

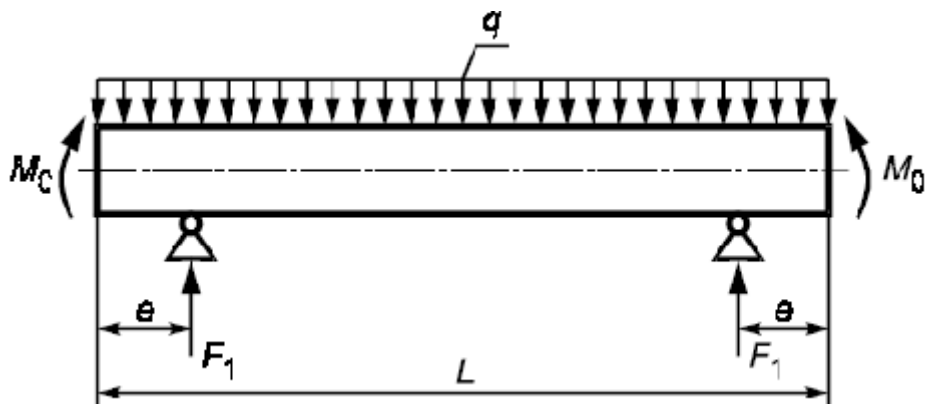


Рисунок 5.9. Расчетная схема определения усилий.

Длина цилиндрической обечайки:

$$L_{об} := 1000 \text{ m}$$

$$q := \frac{G_{ап2}}{L_{об} + H_{Э.к.м.п} \cdot \frac{4}{3}} = 1.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D_{вк}^2}{16} = 1.501 \times 10^{-3} \text{ J}$$

Нагрузка на одну опору:

$$F_1 := \frac{G_{ап2}}{2} = 526.671 \text{ N}$$

Переводим в кН:

$$\frac{F_1}{1000} = 0.527 \text{ N}$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий.

Расстояние от края цилиндрической обечайки до центра опоры:

$$e := 0.3 \text{ m}$$

$$a := 0.3 \text{ m}$$

Момент над опорой:

$$M_1 := \left| \left(\frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right) \right|$$

$$M_2 := M_1 = 0.046 \text{ J}$$

Максимальный момент между опорами:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L_{об}}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left[\frac{L_{об}}{2} + \frac{2}{3} \cdot (H_{Э.к.м.п}) \right]^2$$

$$M_{12} = 1.315 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q_1 := \frac{L_{об} - 2 \cdot a}{L_{об} + \frac{4}{3} \cdot (H_{Э.к.м.п})} \cdot F_1 = 526.309 \text{ N}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_{нес.сп.} = "Выполняется"

Таблица 5.4. Характеристики опоры.

Диаметр аппарата D _n	Допускаемая нагрузка на опору, кН	S ₁	S ₂	R	L	L ₁	l	B	B ₁	h	h ₁	A ₁	Масса, кг	Масса листа подкладного, кг
159	16	6	10	84	180	200	80	120	200	65	75	140	3.6	1.8

Таким образом, подбираем седловую опору типа 1 для сосудов и аппаратов диаметром 159 мм, 2-го исполнения (нагрузки 16 кН) согласно ОСТ 26-2091-93 [21].

6. Исследование сыпучести порошкообразных материалов

6.1 Процессы, составляющие изготовление лекарственных препаратов

При изготовлении лекарственных форм из порошкового материала, помимо смешения и прессования, проводятся операции измельчения, грануляции и таблетирования.

Измельчение препарата используется для достижения однородности смешения, устранения крупных агрегатов в комкующихся и склеивающихся материалах, увеличения технологических и биологических эффектов.

Измельчение порошков приводит к определенному увеличению прочности и числа контактов между частицами и в результате – к образованию прочных конгломератов. Используя это свойство, в угольной промышленности получают методом обкатки прочные гранулы из измельченного порошка.

Тонкое измельчение лекарственных порошков, несмотря на возможные преимущества биодоступности, не нашло применения, за исключением отдельных случаев, широкого применения в технологии производства твердых лекарственных форм. Это обусловлено тем, что кристалл представляет собой жестко сформированную структуру с минимальной свободной и высокой внутренней энергией. Поэтому для его разрушения требуются значительные внешние усилия. При этом в системе кристаллов одновременно с измельчением усиливается трение, которое уменьшает прилагаемую внешнюю нагрузку до величин, способных вызвать только эластическую или незначительную пластическую деформацию. Поэтому эффективность измельчения, особенно в кристаллических веществах с высокой температурой плавления, быстро падает.

Для увеличения пластической деформации в измельчаемый порошок вводят некоторое количество жидкой фазы.

Увеличение свободной энергии кристаллов при измельчении может служить причиной механохимической деструкции препаратов и уменьшения их стабильности при хранении.

Измельчение высокопластичных материалов с низкими температурами плавления, таких как скользящие и смазывающие вещества, может привести к значительному увеличению их эффективности при изготовлении таблеток.

Некоторые мягкие конгломераты порошков могут быть устранены просеиванием их или протираанием через перфорированные пластины или сита с определенным размером отверстий. В других случаях просеивание является неотъемлемой частью измельчения для получения смеси с определенным гранулометрическим составом.

Измельчение применяется также для переработки некондиционных гранул и таблеток.

Для осуществления измельчения порошков и гранул предложен ряд аппаратов с различными рабочими органами. Нередко измельчающие агрегаты входят в комплекс оборудования для обработки исходных субстанций и конечной продукции – гранул (грануляторы, смесители-грануляторы, классификаторы и др.).

В связи с небольшими количествами измельчаемых материалов на заводах для этих целей, в частности, для измельчения некондиционных гранул, используются грануляторы, шаровые и молотковые мельницы, микромельницы и др.

Выбор оптимальной технологической схемы производства таблеток зависит от физико-химических и технологических свойств лекарственных веществ, их количества в составе таблетки, устойчивости к воздействию факторов внешней среды и др.

В настоящее время известно два основных метода получения таблеток: путем прямого прессования веществ и через гранулирование.

6.2 Смешение твердых сыпучих материалов

Смешение сыпучих материалов является процессом перегруппировки частиц компонентов, проходящим под внешним воздействием до достижения заданной степени однородности смеси.

Смешение широко используется в практике переработки твердых отходов для усреднения состава дисперсных отходов, приготовления на их основе шихтовых материалов и получения различных масс, обеспечивающих возможность переработки вторичных материальных ресурсов в товарные продукты.

Для перемешивания твердых сыпучих (порошкообразных) и пастообразных материалов, т. е. взаимного перемещения частиц обрабатываемых материалов, применяют пневматический, гравитационный и механический способы.

Пневматическое перемешивание состоит в пропускании воздуха или газа через слой перемешиваемых порошков во взвешенном (псевдооживленном) слое.

Гравитационное перемешивание осуществляется различными механическими приспособлениями, которые поднимают твердый сыпучий материал на определенную высоту и затем он опускается под действием силы тяжести, описывая более или менее сложные траектории.

Механическое перемешивание сыпучих и пастообразных материалов достигается вращением различных перемешивающих устройств.

Механическое перемешивание наиболее широко используются при переработке сыпучих и пастообразных твердых отходов.

Процессы смешения могут быть охарактеризованы степенью однородности (или коэффициентом неоднородности), интенсивностью и эффективностью.

Качество механических смесей, состоящих из двух компонентов, можно оценить при помощи коэффициента неоднородности K_c :

$$K_c = \frac{100}{C_0} \sqrt{\frac{\sum_i (C_i - C_0)^2 n_i}{n-1}},$$

Степень однородности смешения i характеризует взаимное распределение вещества в процессе смешения:

$$i = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n},$$

Интенсивность смешения, выражаемая скоростью изменения степени смешения в единицу времени τ , оценивается отношением мощности P , затрачиваемой на перемешивание, к единице объема V смеси:

$$\frac{di}{d\tau} = \frac{P}{V}.$$

Эффективность процесса смешения может быть оценена количеством энергии, необходимой для достижения заданной величины степени однородности смешения i или качества смесей K_c .

Смешивание сухих сыпучих материалов и порошкообразных веществ, а также густых и вязких масс и пастообразных материалов производится в смесителях разнообразных конструкций. Смесители могут быть разделены на следующие группы:

- 1) смесители с вращающимся корпусом;
- 2) смесители с вращающимися лопастями различной формы;
- 3) циркуляционные смесители интенсивного действия.

Для перемешивания порошковых материалов применяются следующие основные типы машин:

- а) периодического действия: барабанные и лопастные горизонтальные;
- б) непрерывного действия: шнековые горизонтальные и центробежные.

6.3 Исследование сыпучести порошков

Дисперсный состав порошковых материалов имеет большой разброс по величине. Высоко и низко дисперсные порошки имеют свои достоинства и недостатки. Высокодисперсные порошки сильнее увлажняются. Предпочтение следует отдавать порошкам с узким фракционным составом.

Хорошая сыпучесть – одно из необходимых требований, предъявляемых к порошкам. Сыпучесть, как известно, зависит от внутреннего трения между частицами и оценивается чаще всего по скорости истечения порошка из отверстий или по углу естественного откоса, который колеблется в пределах 36–45°. При отсутствии требуемой сыпучести затрудняется дозирование порошков в полимерную матрицу.

Сыпучесть материалов зависит от дисперсности порошка; формы его частиц; электризации частиц порошка за счет сил трения, вызывающей прилипание частиц к стенкам воронки и друг к другу; влажности материала и др. [22]. Наихудшей текучестью обладают мелкодисперсные порошки с большой контактной поверхностью и с неправильной формой частиц, контуры которой создают возможность взаимных зацеплений.

Сыпучесть порошков является важным свойством, обеспечивающим возможность нанесения их равномерным по толщине слоем. Сыпучесть зависит от внутреннего трения между частицами порошка и определяется по углу естественного откоса. Степень сыпучести порошков представлена в табл. 6.1.

Таблица 6.1. – Степень сыпучести порошков и соответствующий угол естественного откоса

Степень сыпучести	Угол естественного откоса, градус
Очень хорошая	25 – 30
Хорошая	31 – 35
Удовлетворительная	36 – 45
Неудовлетворительная (требуется дополнительное перемешивание или вибрация)	46 – 55
Плохая	56–65
Очень плохая	более 66

Необходимо отметить, что способность порошка к протеканию через отверстие подвержена влиянию посторонних факторов, а не только зависит от структуры и характеристик самого порошка.

К этим факторам относятся форма, материал, из которого изготовлен контейнер для образца, диаметр и высота насыпанного образца, а также форма и диаметр отверстия, через которое проводится протекание.

Фармакопеи предполагают, что употребление кругового цилиндра вызывает взаимодействие частиц порошка между собой, в отличие от взаимодействия частиц порошка со стенками контейнера. Таким образом, можно свести к минимуму влияние, вызванное различиями в материале, из которого изготавливается контейнер для порошка.

Таблетуемый материал должен равномерно под силой собственной тяжести поступать из загрузочной воронки в матрицу в заданном для одной таблетки количестве в соответствии с ритмом работы таблеточной машины. Если материал имеет плохую сыпучесть, он задерживается в воронке, прилипает к ее стенкам, вследствие чего нарушается ритм его поступления в матрицу: он поступает туда неравными порциями, поэтому заданный вес и плотность таблеток будут колебаться.

При движении в загрузочной воронке частицы порошка сближаются; в местах сближения возникают дополнительные контактные участки, увеличивается общая площадь контактов. Между контактными поверхностями частиц возникает трение, которое препятствует скольжению частиц по отношению друг к другу, сдвигу таблетуемой массы и ее сыпучести.

Разная сыпучесть порошков объясняется следующими причинами: 1) разной дисперсностью порошка; 2) разной формой его частиц; 3) электрическими явлениями вследствие электризации частиц порошка трением, что вызывает прилипание частиц к стенкам воронки и друг к другу; 4) влажностью материала. Наихудшей текучестью обладают мелкодисперсные порошки с большой контактной поверхностью и с неправильной формой частиц, контуры которой создают возможность взаимных зацеплений; влажный материал имеет худшую текучесть, чем сухой.

Сила сцепления частиц зависит от степени влажности, пористости, размера и формы частиц и так как сила сцепления пропорциональна суммарной площади контактов между частицами материала, то чем мелкозернистый порошок, то тем больше силы поверхностного сцепления между ними.

Если порошок загрузить в бункер, то под действием сил тяжести верхних слоёв в нижних материал уплотняется, сила сцепления увеличивается и текучесть уменьшается, что приводит к увеличению насыпной плотности и числа точек контакта между частицами. При этом из зазоров между частицами частично вытесняется воздух и возникают точки контакта между частицами, в которых действуют межмолекулярные силы. В результате этого затрудняется истечение порошка из отверстия бункера, в трубопроводах возникают зоны уплотнения порошка и пробки, полость пресс-формы, имеющая сужения, не заполняется.

Зависание и сводообразование – нежелательные явления, которые приводят к нарушению процессов дозирования, транспортировки и прессования порошков и которые следует учитывать при проектировании бункеров, трубопроводов и пресс-форм.

Угол естественного откоса. При истечении сыпучего материала на горизонтальную плоскость образуется горка с некоторым углом откоса, соответствующим равновесию частиц. Угол между горизонтальной плоскостью и линией откоса называют углом естественного откоса. Он является наибольшим углом, который может быть образован плоскостью естественного откоса с горизонтальной плоскостью, и служит одним из основных показателей подвижности материала. Его величина определяется силами трения, которые зависят от формы, размера частиц и влажности. Увлажнение материала приводит к увеличению угла естественного откоса. В большинстве случаев угол естественного откоса сыпучих материалов не превышает 55—60°.

Наибольшая подвижность частиц сыпучего материала соответствует минимальному углу естественного откоса, по мере увеличения этого угла подвижность частиц уменьшается.

Угол естественного откоса необходимо учитывать при определении поперечного сечения ленточного питателя и полезной емкости бункера.

Различают угол естественного откоса материала в покое и в движении на поверхностях транспортирующих устройств. При движении опорная горизонтальная плоскость колеблется, величина угла естественного откоса уменьшается. Таким образом, угол естественного откоса в покое всегда больше угла естественного откоса в движении ($f_{дв} \ll 0,7f$). Угол естественного откоса обычно определяют с помощью специальных приборов. Иногда, если это необходимо, угол естественного откоса с достаточной точностью может быть определен следующим образом: отрезок цилиндрической трубы устанавливают вертикально на горизонтальной плоскости и заполняют испытуемым материалом (рис. 6.1). Затем трубу медленно поднимают. Высыпавшийся материал располагается на плоскости под углом естественного откоса.

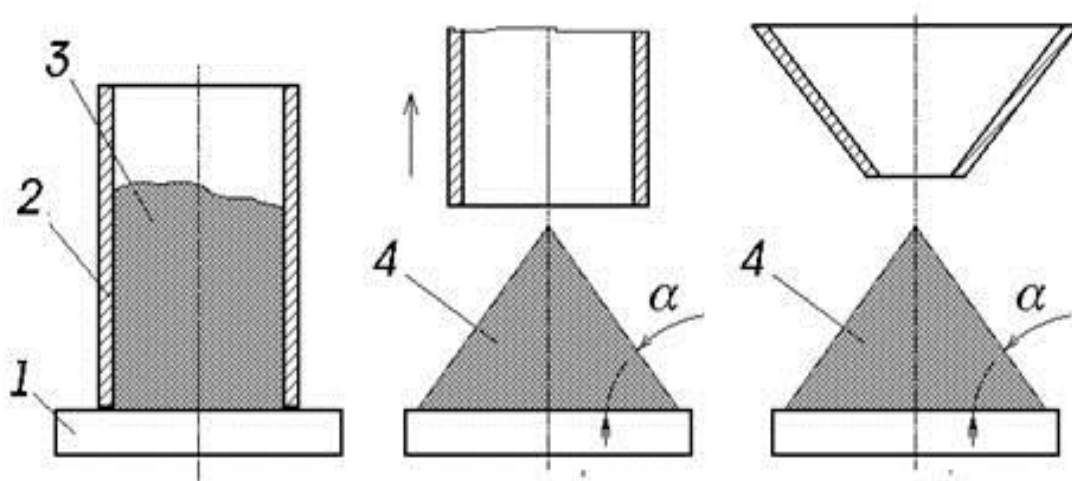


Рис.6.1. Способы определения угла естественного откоса. А – с помощью убираемой трубы, Б – при свободном истечении из воронки. 1 – гладкая плита, 2 – труба, 3 – порошок, 4 – свободно отсыпанный порошок, α – угол естественного откоса.

Целью исследовательской работы является определение угла естественного откоса порошкообразных материалов, входящих в состав цитрамона в зависимости от их влажности и степени уплотнения.

Объектом исследования являются порошкообразные компоненты, входящие в состав цитрамона: ацетилсалициловая кислота, парацетамол, кофеин и аскорбиновая кислота. Кроме перечисленных выше веществ в состав цитрамона входят также наполнители, это может быть крахмал картофельный, кальция стеарат, повидон низкомолекулярный, мел, тальк, оксид титана или микрокальцит.

Угол естественного откоса определялся с помощью цилиндрической трубы, установленной вертикально на горизонтальной плоскости и заполненной испытуемым материалом. При медленном поднимании трубы высыпающийся материал располагался на плоскости под углом естественного откоса. Замерялась высота и диаметр основания конуса порошка относительно горизонтальной поверхности, и рассчитывался угол. Порошкообразный материал использовали с естественной влажностью, высушенный до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С и увлажненный в эксикаторе до максимальной гигроскопичности (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Угол естественного откоса порошков различной влажности.

Порошок	Относительная влажность порошков, %					
	абсолютно сухой		естественной влажности		увлажненный	
	Угол естественного откоса, град					
	свободная	уплотненная	свободная	уплотненная	свободная	уплотненная
Мел	38	40	38	41	37	37
TiO ₂	27	31	32	29	29	29
Тальк	33	33	27	32	30	26
Микрокальцит	22	21	24	24	24	27
Стеарат кальция	30	36	32	37	28	47
Парацетамол			48			

Ацетилсалицил овая кислота			27			
Кофеин			33			

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что не все исследуемые порошки обладают хорошей и очень хорошей степенью сыпучести, при которой угол естественного откоса составляет 25–35 °. Так порошок мела при любой влажности имеет удовлетворительную степень сыпучести. Предельное увлажнение стеарата кальция приводит к неудовлетворительной сыпучести, которая требует дополнительного перемешивания или вибрации при дозировании материала. Практически для всех порошков, кроме микрокальцита и TiO_2 , увеличение влажности материала значительно повышает угол естественного откоса и снижает его сыпучесть.

Исследован гранулометрический состав порошков и определена насыпная плотность от степени уплотнения порошка.

Фракционный состав исследуемых порошков представлен на рис.6.11, из которого видно, что самым тонкодисперсным материалом является тальк, размер частиц которого менее 0,25 мм. Самым крупными частицами обладает порошок TiO_2 : 75 % составляют частицы размером менее 1 мм и 25 % – частицы от 1 до 2 мм.

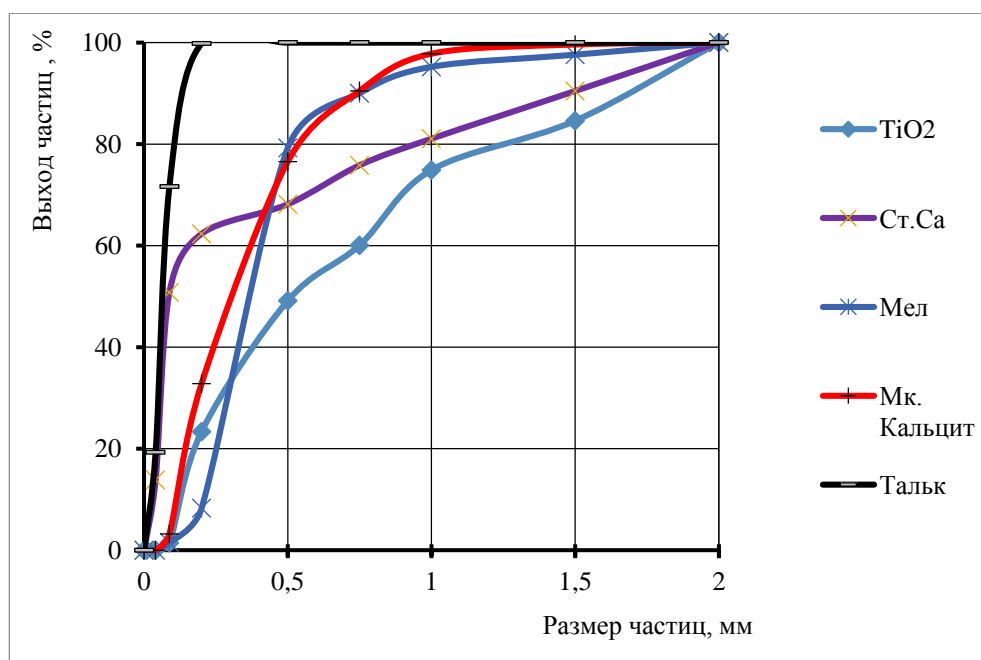


Рис. 6.2. Фракционный состав порошков.

Для исследования использовались трубы из стекла, алюминия и полипропилена. Засыпка порошка в трубу была свободная без уплотнения. Полученные результаты сведены в табл. 6.3.

Таблица. 6.3. Насыпная плотность и угол откоса порошков при свободной засыпке

Вещество	Алюминиевая труба		Полипропиленовая труба		Стеклоянная труба	
	Насыпная плотность, г/см ³	Угол откоса, град	Насыпная плотность, г/см ³	Угол откоса, град	Насыпная плотность, г/см ³	Угол откоса, град
Микрокальцит	1,61	25	1,45	21	1,56	24
TiO ₂	0,67	30	0,59	24	0,64	32
Тальк	0,45	34	0,42	36	0,44	27
Стеарат кальция	0,42	35	0,38	30	0,32	32
Мел	0,31	40	0,27	36	0,31	38
Парацетамол			0,50	48		
Ацетилсалициловая кислота			0,75	27		
Кофеин			0,43	33		

Анализируя полученные данные по углу естественного откоса, можно сделать выводы. Угол естественного откоса большинства порошков находится в пределах 22–35°, что говорит о хорошей и очень хорошей сыпучести. И только порошок парацетамола обладает неудовлетворительной

степенью сыпучести. Таким образом, при загрузке парацетамола требуется дополнительное перемешивание либо вибрация. Поверхность труб также играет важную роль для угла откоса. Для порошков, высыпавшихся из стеклянной трубки, значительно меньше угла откоса для материала, высыпавшегося из алюминиевой трубки. Это объясняется различным коэффициентом трения порошка по поверхности трубы. Так как полипропиленовая и стеклянная поверхность обладает низким коэффициентом трения, то исследуемый материал быстрее высыпается, поэтому угол откоса уменьшается.

Насыпная плотность порошков также влияет на угол откоса: так для микрокальцита, обладающего самой большой насыпной плотностью, угол откоса составляет 25° , а для мела с малой насыпной плотностью угол откоса 40° .

В производственных условиях порошок, находящийся в бункере, под действием силы тяжести верхних слоев уплотняется, сила сцепления увеличивается и текучесть уменьшается, что приводит к увеличению насыпной плотности и числа точек контакта между частицами. Исследован угол откоса и насыпная масса уплотненного порошкообразного материала.

**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ61	Николаев Николай Васильевич

Институт	ИШНПТ	Кафедра	ОХХТ
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 научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов – 1412 руб.; Стоимость трудовых ресурсов – 715,8 тыс.руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Коэффициент выполнения нормы = 1; Коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ = 1,2; Районный коэффициент = 1,3; Накладные расходы ТПУ = 80% от суммы основной и дополнительной заработной платы</i>
3. <i>Ставки отчислений</i>	<i>Тариф страховых взносов – 27,1%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение пред проектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Планирование комплекса работ на создание проекта, построение графика выполнения работ</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Определение трудоемкости работ, расчет плановой себестоимости разработки</i>
1. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности разработки</i>	<i>Расчет интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Причинно-следственная диаграмма.
2. Иерархическая структура исследовательской работы.
3. Иерархическая структура проектной работы.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Николаев Николай Васильевич		

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Предпроектный анализ

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования.

Определим основные сегменты рынка продаж медикаментов:

- размер медицинских компаний;
- стоимость препарата;
- сезон.

Таблица 7.1. Карта сегментации рынка продаж медицинских препаратов.

		Стоимость препарата		
		Низкая	Средняя	Дорогая
Размер компании	Крупная	Крупная поставка	Крупная поставка	Мелкая поставка
	Средняя	Крупная	Мелкая	Редко

		поставка	поставка	заказывают
	Мелкая	Крупная поставка	Редко заказывают	Не заказывают

Сезон: Лето - , Осень - , Зима - , Весна - .

Результаты сегментирования:

1. Определили основные сегменты рынка продаж препаратов;
2. По карте сегментирования, можно определить, что препараты низкой стоимости быстрее окупятся, вне зависимости от сезона и величины компании;
3. На данном этапе, предприятие работает преимущественно на препараты низкой стоимости. Что касается препаратов средней стоимости, их запускают в производство в определенный сезон. Более дорогие препараты в будущем будут осваиваться.

7.2 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.
- Выявление причин возникновения проблемы:

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Проблема – зависание сырья в оборудовании, что приводит к остановке производства препарата, возможной починки или устранению неполадки.

- Сырье;
- Технология проведения работ;

- Производственная среда;
- Оборудование;
- Персонал.

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

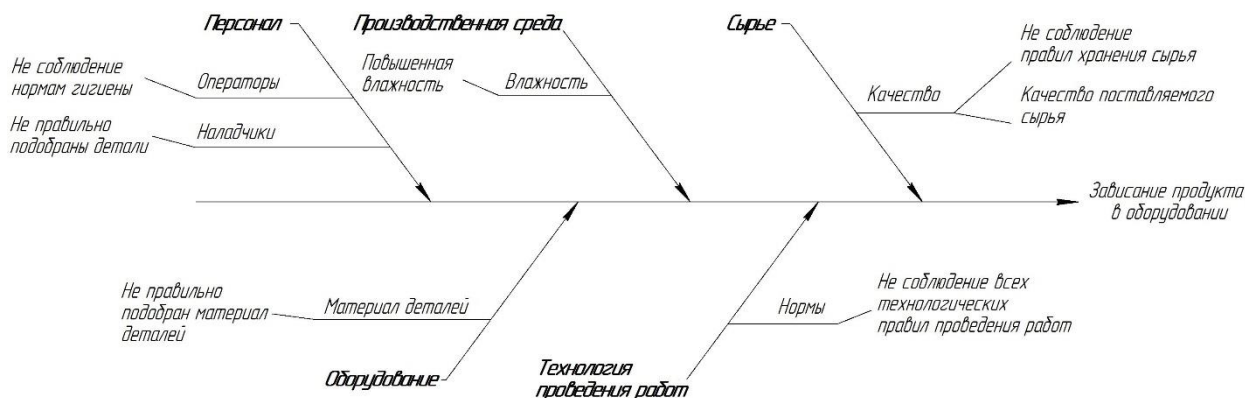


Рисунок 7.1. Причинно-следственная диаграмма.

7.3 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия*.

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, я выбрал 3 метод, инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций.

Выбор обоснован тем, что исследовательская работа основана на заказе предприятием. Заказчик заказал комплекс инженерно-технических услуг, для решения проблемы на предприятии.

7.4 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

7.5 Цели и результат проекта.

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В данной работе есть две заинтересованные стороны, заказчик - АО «ПФК Обновление» и исполнитель.

В ходе работы оборудования, была выявлена проблема зависание смеси, что приводит к цели проекта. Исходя из проблемы, были поставлены цели моей работы, проектирование оборудования для смешивания и гранулирования смеси и решение проблемы зависания продукта.

Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 7.2.

Таблица 7.2. Заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчик - АО «ПФК Обновление»	Решение проблемы зависания продукта в аппаратуре, что бы избежать простоев оборудования.
Исполнитель - Николаев Николай Васильевич	Решение проблемы, публикации научных статей, реализация проекта.

В табл. 7.3 представлена информация о иерархии целей проекта и критерии достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 7.3. Цели и результаты проекта.

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование оборудования для смешения и гранулирования. 2. Решить проблему зависания продукта в оборудовании.
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ввод в эксплуатацию оборудования. 2. Избежание простоев оборудования, по причине данной проблемы.
Критерии приемки результата проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спроектированное оборудование должен отвечать всем техническим требованиям и требованиям Ростехнадзора, дешев, прост в исполнении. 2. Максимально избежать проблемы зависания в ключевых точках оборудования.
Требования к результату проекта:	Требование:
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Соответствие требованиям Ростехнадзора.
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Испытать аппарат под нагрузкой. 3. Материал аппарата 08X18H10.

7.6 Организационная структура проекта.

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в табличной форме (таблица 7.4).

Таблица 7.4. Рабочая группа проекта.

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Хазеев Владимир Викторович, АО «ПФК Обновление», главный механик цеха №1	Заказчик	Формулировка целей проекта	50
1.	Николаев Николай Васильевич, АО «ПФК Обновление», наладчик технологического оборудования	Исполнитель проекта	Исследование, расчет и проектирование оборудования	4000
2.	Семакина Ольга Константиновна, НИИ ТПУ, кандидат технических наук	Научный руководитель проекта	Исследование, проверка проекта на стадии сдачи	300
ИТОГО:				4350

7.7 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 7.5. Ограничения проекта.

Фактор	Ограничения/ допущения
2.3.1. Бюджет проекта	0/0
2.3.2. Сроки проекта:	
2.3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10 февраля 2017 г.
2.3.2.2. Дата завершения проекта	20 июня 2018 г.

7.8 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

7.8.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. 7.2 представлена иерархическая структура работы по исследованию и проектированию оборудования СГЦ 1000.

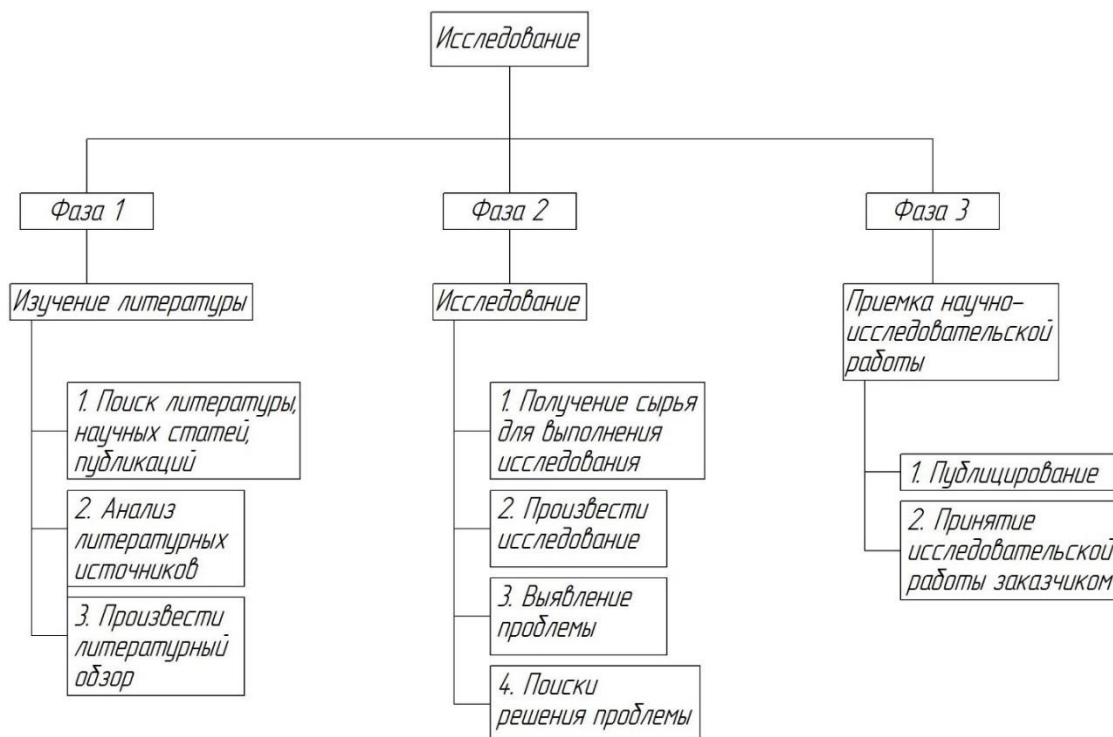


Рисунок 7.2. Иерархическая структура исследовательской работы.

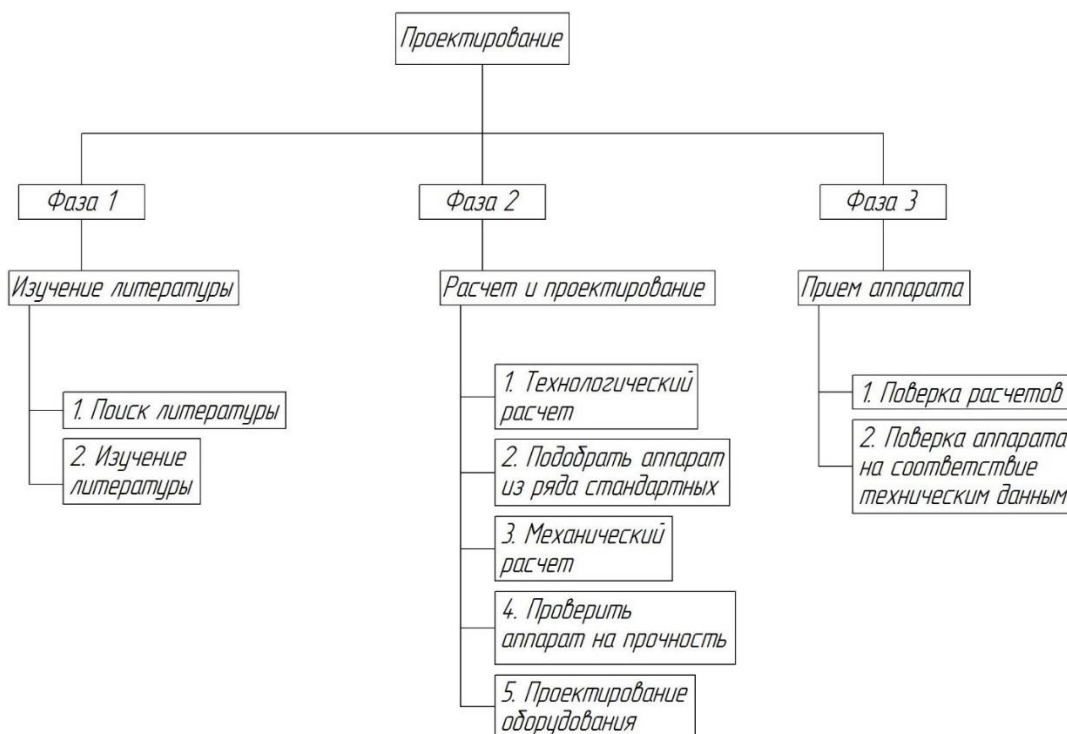


Рисунок 7.3. Иерархическая структура проектной работы.

7.8.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Все события указаны в таблице 7.6.

Таблица 7.6. Контрольные события проекта.

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Получение задания	3.02.2017	Техническое задание
2	Литературный обзор проблематики	20.02.2017	Литературный обзор ВКР
3	Постановка целей и задач	22.02.2017	Раздел цели и задачи ВКР
4	Разработка плана экспериментальных работ	12.03.2017	План работ
5	Исследование сырьевых материалов	6.04.2017	Результаты экспериментов, представлены в ВКР
6	Проведение эксперимента	15.05.2017	Результаты экспериментов, представлены в ВКР
7	Обработка экспериментальных данных	25.05.2017	Результаты экспериментов, представлены в ВКР
8	Оформление графической части (таблицы, графики)	10.06.2017	Результаты экспериментов, представлены в ВКР
9	Разработка плана проектной работы	30.09.2017	План работ
10	Изучение литературы	30.10.2017	Результаты изучения, представлены в ВКР

11	Расчет оборудования	31.12.2017	Результаты расчета, представлены в ВКР
12	Проектирование оборудования	15.04.2018	Результаты проектирования, представлены в ВКР
13	Разработка презентаций и раздаточного материала	25.05.2018	Результаты представлены в ВКР
14	Оформление пояснительной записки	1.06.2018	ВКР

7.8.3 План проекта

Календарный план-график выполнения научно-исследовательской работы, представлен в календарном плане-графике (таблица 7.7) и календарном плане-проекте (таблица 7.8).

Код работ ы	Вид работы	Исполнители	Тк	Продолжительность выполнения работ																	
				Январь			февраль			Март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление технического задания	Семакина О.К.	3				■														
2	Обзор литературы	Николаев Н.В. Семакина О.К.	17				■	■	■												
3	Постановка цели и задач	Николаев Н.В.	2						■												
4	Разработка плана экспериментальных работ	Семакина О.К.	20						■	■	■										
5	Исследование сырьевых материалов	Николаев Н.В.	24								■	■	■								
6	Проведение эксперимента	Николаев Н.В.	39										■	■	■	■	■				
7	Обработка полученных данных	Николаев Н.В. Семакина О.К.	10														■	■			
8	Оформление графической части	Николаев Н.В.	15															■	■	■	

Таблица 7.7. Календарный план- график.

Таблица 7.8. Календарный план проекта.

Код рабо ты	Наименование работ	Длитель ность, дни	Дата		Состав участников (ФИО)
			начало	заверше ние	
1	Составление технического задания.	3	1.02.17	3.02.17	Семакина О.К.
2	Обзор литературы	17	3.02.17	20.02.17	Николаев Н.В. Семакина О.К.
3	Постановка цели и задач	2	20.02.17	22.02.17	Николаев Н.В.
4	Разработка плана экспериментальных работ	20	22.02.17	12.03.17	Семакина О.К.
5	Исследование сырьевых материалов	24	12.03.15	6.04.17	Николаев Н.В.
6	Проведение эксперимента	39	6.04.17	15.05.17	Николаев Н.В.
7	Обработка полученных данных	10	15.05.17	25.05.17	Николаев Н.В. Семакина О.К.
8	Оформление графической части	15	25.05.17	10.06.17	Николаев Н.В.
Итого		130			

7.9 Бюджет научного исследования

Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательской работы рассчитывается по статьям калькуляции, которые включают две группы затрат прямые затраты и накладные затраты.

Прямые затраты – это затраты на сырье, энергию, амортизацию оборудования.

Накладные затраты включают лабораторные затраты, связанные с освещением, отоплением, содержанием персонала.

Основными статьями калькуляции являются:

1. Затраты на сырье и материалы, покупные изделия.
2. Фонд заработной платы исполнителей.
3. Амортизация оборудования.
4. Накладные расходы, включающие затраты на содержание на административно-управленческий аппарат, по охране труда и т.п.
5. Прочие затраты.

7.9.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Затраты на сырье и материалы определяются по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_i$$

где Z_m – сумма затрат на сырье и материалы, руб.;

G_i – расход i -го компонента, ед.;

C_i – цена i -го компонента, руб./ед.

Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НТИ представлены в таблице 7.9.

Таблица 7.9. Затраты на сырье для проведения НТИ.

Наименование материалов	Цена за единицу, руб/кг	Потребляемое количество, кг	Сумма, руб
АЦСК	480	0,3	144
Парацетамол	360	0,3	108
Кофеин	3500	0,3	1050
Кальций стеарат	93	0,3	28

Тальк	41	0,3	12
Всего за материалы			1342
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			70
Итого по статье Z_m			1412

7.9.2 Расчет затрат на оборудование

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование не требует электроэнергии, то затраты не будут учитываться.

7.9.3 Расчет фонда заработной платы

Зарботная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом.

Для инженера оклад составляет $Q_{инж} = 14874$ руб/мес, для руководителя (доцента кафедры, кандидата наук) $Q_{рук} = 26300$ руб/мес. На выполнение НИР понадобилось 130 дней.

Основная зарботная плата руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

где $Z_{осн}$ – основная зарботная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная зарботная плата работника, руб.

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M = 5,2$ – количество месяцев работы без отпуска;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала представлен в таблице 7.10.

Среднедневная ЗП:

$$Z_{\text{дн.рук.}} = 26300 \cdot 11,2/201 = 1465,5 \text{ руб.} \quad Z_{\text{дн.инж.}} = 14874 \cdot 11,2/201 = 828,8 \text{ руб.}$$

Основная ЗП:

$$Z_{\text{осн.рук.}} = 1465,5 \cdot 130 = 190515 \text{ руб.} \quad Z_{\text{осн.инж.}} = 828,8 \cdot 130 = 107744 \text{ руб.}$$

Таблица 7.10. Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	46	46
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	201	201

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице 7.11.

Таблица 7.11. Фонд заработной платы.

Исполнители	Число исполнителей	Трудоемкость работы, ч	Среднедневная ЗП, руб	Основная ЗП, руб
Инженер	1	856	828,8	709452,8
Руководитель	1	400	1465,5	586200
Итого:	2	624	–	1295652,8

Отчисления на социальные нужды составляет 27,1 % от суммы заработной платы всех сотрудников. Отчисления на социальные нужды составляет: отчисления в пенсионный фонд 22 %, отчисление на социальное страхование 2,9%, отчисление на медицинское страхование 5,1 %.

Рассчитываем затраты на отчисление на социальные нужды по формуле:

$$Z_{o.c.n.} = 0,271 \cdot (Z_{осн.рук.} + Z_{осн.инж.})$$

где $Z_{o.c.n.}$ – затраты на отчисления на социальные нужды, руб.

$$Z_{o.c.n.} = 0,271 \cdot (709452,8 + 586200) = 351121$$

Накладные затраты составляют 80% от суммы основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных затрат ведется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = k_{накл} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$Z_{o.c.n.} = 0,8 \cdot (1295652,8) = 1036522$$

7.9.4 Затраты на проведение НИИ

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляем калькуляцию плановой себестоимости НИИ. Общие затраты приведены в таблице 7.12.

Таблице 7.12. Смета затрат на выполнение НИИ.

Статьи затрат	Затраты, руб
Материалы и сырье	1412
Фонд заработной платы	1295652,8
Отчисления на социальные нужды	351121
Накладные расходы	1036522
Амортизация оборудования	0
Затраты на научно и производственные командировки	0
Контрагентские расходы	0
Итого:	2684707,8

7.10 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 7.13). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 7.13. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
			1. Способствует росту производительности	0,2	5
2. Энергосбережение	0,1	2	3	3	
3. Надежность	0,2	4	4	4	
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	4	3	3	
5. Материалоемкость	0,1	3	3	3	
6. Помехоустойчивость	0,1	4	4	4	
ИТОГО		1		1	

$$I_{\text{тп}} = 5*0,2+2*0,1+4*0,2+4*0,3+3*0,1+4*0,1 = 3,9$$

$$\text{Аналог 1} = 3*0,2+3*0,1+4*0,2+3*0,3+3*0,1+4*0,1 = 3,3$$

$$\text{Аналог 2} = 4*0,2+3*0,1+4*0,2+3*0,3+3*0,1+4*0,1 = 3,5$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{ТЭ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{ТЭ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 7.14. Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,6
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,5	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	0,29	0,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,52	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ61	Николаев Николай Васильевич

Институт	Физики Высоких Технологий	Кафедра	Общей химической технологии
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды; - опасных проявлений факторов производственной среды; - негативного воздействия на окружающую природную среду; - чрезвычайных ситуаций. 	<p>Закрытое сухое отапливаемое помещение с хорошими условиями освещённости. Технологический процесс измерения естественного угла откоса сыпучих материалов включает в себя следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредные факторы: недостаточная освещённость, неблагоприятный климат в рабочей зоне; - опасные факторы: поражение электрическим током, возникновение пожара; - негативные воздействия: твердые отходы, запыленность помещения; - чрезвычайные ситуации: техногенного, стихийного характера.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>2. Анализ выявленных вредных факторов в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (с начала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Проанализированы основные вредные факторы, действия факторов на организм человека, предложены основные средства защиты.</p>
<p>3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>При выполнении работ с лабораторным оборудованием, возможно короткое замыкание электропроводок. В связи с этим предложены основные решения избегания поражения электрическим током.</p> <p>В химических лабораториях используется большое количество различных органических веществ, т.к. большое количество растворителей при контакте с воздухом образуют взрывоопасную смесь, приведены основные противопожарные меры.</p>
<p>4. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу; - анализ воздействия объекта на гидросферу; 	<p>Направление утилизации отходов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - В атмосферу. Утилизация пыли в помещении. - В литосферу. Утилизация твердых отходов.

<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу; - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> - В гидросферу. Жидкие компоненты не предусматривались. - Разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.
<p>5. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> - Приведен перечень основных ЧС. - Приведены меры безопасности при ЧС. - Разработаны действия при возникновении ЧС.
<p>6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Особенности законодательного регулирования проектных решений; - Пожарная безопасность.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Р. Р.	д.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Николаев Николай Васильевич		

8. Социальная ответственность

8.1 Введение

Исследовательская работа проводилась в лаборатории кафедры общей химии и химической технологии. В ходе проведения эксперимента использовались безвредные вещества. В связи с использованием лабораторной аппаратуры, проведения определенных операций на них, работники лаборатории должны уделять особое внимание вопросам безопасности в лаборатории.

В данном разделе описываются безопасная эксплуатация установок, рассматриваются возможные производственные аварии, способы защиты, порядок применения спецодежды, защита работающих в чрезвычайных ситуациях, то есть выделяются возможные опасные ситуации и разрабатываются меры их предупреждения и ликвидации.

8.2 Перечень вредных факторов.

При выполнении работы в химической лаборатории на человека воздействует ряд опасных и вредных факторов:

Вредные факторы [33]:

- недостаточная освещенность;
- неблагоприятный микроклимат в рабочей зоне.

Опасные факторы:

- поражение электрическим током;
- самовозгорание органических растворов.

Негативное воздействие на окружающую среду:

- воздействие на атмосферу;
- воздействие на литосферу;
- воздействие на гидросферу.

Чрезвычайные ситуации:

- техногенного характера;
- стихийного характера.

Экспериментальная часть данной научно-исследовательской работы проводилась в лаборатории кафедры ТПУ «Общей химии и химической технологии» и заключалась в исследовании естественного угла откоса сыпучих материалов (компонентов лекарства «Цитрамон П»).

Данная работа относится к работе легкой степени, так как для ее выполнения перенос предметов свыше 15 кг не осуществляется. В лаборатории поддерживалась температура 18-22 °С с влажностью 45-50 %, что соответствует нормам ГОСТа 12.1.005 – 88, согласно которому температура в лаборатории должна быть 18-22 °С [30].

8.3 Анализ вредных факторов

8.3.1 Вредные вещества

Большой опасностью при работе в лаборатории кафедры «Общей химии и химической технологии» является возможное присутствие в воздухе различных вредных веществ, а также запыленность воздуха при работе с сыпучими материалами. Пыль может вызвать раздражение кожи, слизистых оболочек полости рта, легких и глаз, а также отравления.

Предельно допустимые концентрации материалов согласно ГН 2.2.5.1313. – 03 [31] используемых в работе приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Предельно допустимые концентрации материалов.

Материалы	ПДК, мг/м ³ [8]	Класс опасности [8]
АЦСК	0,5	2
Парацетамол	0,5	2
Кофеин	0,5	2
Кальций стеарат	10	4
Тальк	4	3

Для защиты в лаборатории предусмотрены как индивидуальные (перчатки резиновые, респираторы, халаты, очки защитные), так и коллективные средства защиты (вытяжной шкаф).

8.3.2 Недостаток освещенности

Успешное выполнение рабочих операций требует рационального освещения помещений и рабочих мест, что часто достигается совмещением естественного и искусственного освещения.

Недостаточность освещения влияет на зрительный аппарат, то есть определяет его зрительную работоспособность. Также недостаток освещения может влиять на эмоциональное состояние и психику человека, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

По освещенности лаборатория относится к III разряду зрительной работы (работа с высокой точностью), наименьший размер объекта различения свыше 0,3-0,5 мм, величина нормируемой освещенности составляет 200 лк и соответствует требованиям СНИП 23 – 05 – 95. [35]

Для освещения помещения в соответствии с характером выполняемых работ применяют люминесцентные лампы низкого давления дневного света ЛБ - 40.

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год. Для этого используется портативный люксметр "ТКА-Люкс".

8.3.3 Микроклимат

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны регламентированы ГОСТ 12.1.005 – 88 [30].

Неблагоприятные микроклиматические условия могут привести к снижению производственных показателей в работе, и стать причиной таких заболеваний как радикулит, различные формы простуды, тонзиллит, хронический бронхит и др.

Для лаборатории кафедры «ОХХТ» существует оптимальная и допустимая норма температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Для холодного и переходного периодов года оптимальные параметры микроклимата следующие: оптимальная температура воздуха 20-23°C (допустимая 19-25°C), оптимальная относительная влажность 40-60% (допустимая 75%), оптимальная скорость движения воздуха до 0,2 м/с (допустимая до 0,2 м/с).

Для теплого периода оптимальные параметры микроклимата следующие: температура воздуха 18-22°C, относительная влажность 40-60%, скорость движения воздуха до 0,2 м/с.

Все показатели микроклимата в лаборатории соответствуют стандартным нормам СанПиН 2.2.4.548 – 96 [34].

Температуру в рабочей зоне в холодное время поддерживается отопление, а в теплое, вентиляцией.

Температуру и относительную влажность воздуха при наличии источников теплового излучения и воздушных потоков на рабочем месте следует измерять аспирационными психрометрами.

8.4 Анализ опасных факторов

8.4.1 Электробезопасность

Электробезопасность в лабораторных и производственных помещениях обеспечивается: конструкцией электроустановок, средствами защиты различными техническими способами, проведением организационных и технических мероприятий [32].

Для целей обеспечения электробезопасности в лаборатории применяют технические способы и средства защиты как отдельно, так и в сочетании: зануление, выравнивание потенциалов, защитное заземление, защитное отключение, изоляцию токоведущих частей, малое напряжение, оградительные устройства, блокировку, предупредительную сигнализацию, знаки безопасности; предупредительные плакаты; электрозщитные средства, в соответствии с ГОСТ 12.1.038 – 82 [32].

8.4.2 Пожаровзрывоопасность

В химических лабораториях используется большое количество различных органических веществ. Большинство органических растворителей легко воспламеняются на воздухе, многие легколетучие вещества образуют с воздухом взрывоопасные смеси. В связи с этим химические лаборатории – это места повышенной взрывопожароопасности. Лабораторные помещения согласно ст. 27 п. 5 [36] отнесены к категории А – «Повышенная взрывопожароопасность».

В лаборатории, где производились исследования, представленные в данной работе, предприняты все необходимые противопожарные меры согласно нормативным документам. В лабораториях организован свободный проход между лабораторными столами, в коридоре, доступ к пожарным лестницам [36].

Лаборатории оснащены противопожарным инвентарем и оборудованием:

- 1) Огнетушитель типа ОУ-2 (углекислотный, газовый) для тушения всех видов горючих веществ и электроустановок;
- 2) Пенный огнетушитель типа ОХП для тушения оборудования, элементов оборудования, находящихся под напряжением;
- 3) Асбестовое одеяло, которое используется для тушения одежды, обесточенных электропроводов;
- 4) Ящик с песком для тушения огня на горизонтальной поверхности.

8.5 Анализ воздействия вредных факторов на окружающую среду.

При выполнении научно-исследовательской работы используются вещества, обеспечивающие минимальное воздействие на окружающую среду. Используемые вещества расходуются в минимальных количествах. Пыль, образующаяся при выполнении работы, уносится в вентиляцию, где установлены циклоны, рукавные фильтры и вентиляторы, в которых происходит очистка воздуха.

Направление утилизации отходов:

– В атмосферу. При выполнении работы, использование воздушного бассейна, можно поддерживать с помощью применения эффективных очистных аппаратов или посредством местных отсосов вытяжкой вентиляционной системы (зонтов, рукавов, кожухов, вытяжных шкафов) с последующей очисткой запыленного воздуха (газов) в аппаратах пылеуловителях.

– В литосферу. Здесь имеют место твердые отходы. Брак может использоваться вторично, вводится в состав основной массы после соответствующего измельчения.

– В гидросферу. В ходе выполнения работы компоненты взвешивались в сухом виде, никаких растворов не предусматривалось.

8.6 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации возникают:

- в результате стихийных бедствий и особо опасных факторов;
- при воздействии технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений;
- при проектно-производственных дефектах сооружения.

Помещение лаборатории находится в 19 учебном корпусе ТПУ. Здание корпуса находится в черте города Томска. Стены здания сложены из керамического кирпича и обладают большой прочностью. Здание устойчиво к воздействию природных опасностей – ураганов, наводнений и способно обеспечить защиту находящихся в нем людей от природных опасностей. Во избежание затопления подвальных помещений талыми водами своевременно производится очистка прилегающей территории от снега. В здании предусмотрено несколько аварийных выходов.

Во время военных конфликтов при угрозе нападения противника по телерадиационной сети передают сигнал тревоги «воздушная тревога». По сигналу тревоги необходимо отключить свет, все работающее электрооборудование, выключить рубильники, закрыть окна и покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации [29].

При стихийном бедствии необходимо оповестить всех работников лаборатории об угрозе его возникновения, отключить все электроприборы. Если возникает угроза для жизни, то следует эвакуировать людей по плану эвакуации.

8.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.7.1 Особенности законодательного регулирования проектных решений

В целях сохранения и повышения работоспособности, ускорения адаптации к действию неблагоприятных условий труда, профилактики заболеваний, работающим в контакте с химическими веществами следует два раза в год проводить витаминизацию.

Каждому работнику лаборатории выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие вещества в соответствии с нормами выдачи на 1 работника в месяц [25]. Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда.

Одной из гарантий реализации права работников на здоровые и безопасные условия труда является надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде и охране труда.

К числу специально уполномоченных государственных органов, осуществляющих надзор и контроль за соблюдением законодательства об охране труда и не зависящих в своей деятельности от работодателей, относятся Федеральная инспекция труда (Рострудинспекция), Госгортехнадзор, Госатомнадзор, Госэнергонадзор, Государственная экспертиза условий труда, общественный контроль.

8.8 Пожарная безопасность

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-2, так как в нем присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии (в ред. Федерального закона от 10.07.2012 N 117-ФЗ).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера [36]:

- 1) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- 2) самовоспламенение и самовозгорание веществ;
- 3) Статическое электричество.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- 1) сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж;
- 2) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;
- 3) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования;
- 4) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте.

Для тушения пожаров, в случае их возникновения, в лаборатории имеются следующие средства [36]:

- огнетушитель ОХП-10, предназначенный для тушения пожаров твердых горючих материалов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей;
- для обесточивающих горячих электрических приборов на горизонтальной поверхности применяют песок;
- листовой асбест используется для тушения горючих жидкостей, обесточенных приборов, горячей одежды.

В лаборатории имеется огнетушитель марки ОХП-10, предназначен для тушения возгорания различных веществ и материалов. При загорании снять огнетушитель, поднести к очагу возгорания, не менее 1 метра, прочистить спрыск иглой или гвоздем, повернуть рычаг до отказа до 180°, перевернуть огнетушитель вверх дном и направить струю на огонь. Действие огнетушителя 60 секунд, длина струи пены 6-8 метров. Выход пены из огнетушителя 50 литров [36].

Заключение

Спроектировано оборудование для получения лекарственного препарата «Цитрамон П». Рассчитан смеситель-гранулятор центробежный объемом 1000 литров и теплообменник для охлаждения воды, циркулирующей в рубашке смесителя-гранулятора, диаметром 159 мм.

Произведен расчет валов мешалок на виброустойчивость, жесткость и прочность, так же рассчитана обечайка на устойчивость. Подобран теплообменник для охлаждения воды в рубашке смесителя. Теплообменник проверен на прочность, проверена прочность фланцевых соединений, укрепление отверстий патрубков, расчет трубной решетки, расчет трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Рассчитана и подобрана седловая опора для теплообменника.

Исследован фракционный состав порошкообразных материалов, входящих в состав лекарственного препарата «Цитрамон-П».

Определены углы естественного откоса и насыпная плотность порошков различной влажности при свободной и уплотненной засыпке. Угол естественного откоса большинства порошков находится в пределах 22–35 °, что говорит о хорошей сыпучести. И только порошок парацетамола обладает неудовлетворительной степенью сыпучести, т.к. угол откоса равен 48 °.

Исследовано влияние различной поверхности труб на угол откоса порошков при свободной засыпке.

Произведен финансовый расчет, для выполнения исследовательской работы, и был произведен анализ вредных факторов, на рабочем месте.

**СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Николаева Николая Васильевича**

№	Наименование научного труда	Рукописн. или печ.	Издательство, журнал (номер, год)	Номер стр.	Кол-во стр.	Фамилии соавторов
1	Определение угла естественного откоса добавок и наполнителей для полимеров	Печ.	Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2016.	107– 108	2	Семакина О.К.
2	Исследование поверхностных свойств наполнителей для полимерной композиции	Печ.	Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2016.	137– 138	2	Фоменко А.Н., Семакина О.К.
3	Исследование угла естественного откоса порошкообразных наполнителей для полимерных композиций	Печ.	Материалы V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ–16)». – Томск, 2016	342– 343	2	Семакина О.К.

Список используемых источников

1. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – репринтное издание. – Москва: Альянс, 2013. – 576 с.: ил. – Библиогр.: с. 502–509. – ISBN 978-5-91872-031-8.
2. Пьянков А.Г., Тихонов В.В. Кожухотрубный теплообменник. Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов всех специальностей ХТФ - Томск: Изд. ТПУ, 2006 – 20 с.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. – М.: Альянс, 2007. – 495 с.
4. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
5. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лащинский; под ред. А. Р. Толчинского. – 2-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2008. – 384 с.: ил. – Библиогр.: с. 379. – ISBN 978-5-903034-37-6.
6. Беляев В.М., Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли- 3-е изд./Томск: Изд. ТПУ, 2016 – 313 с.
7. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – 3-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2008. – 752 с.: ил. – Библиогр.: с. 749-752. – ISBN 978-5-903034-24-6.
8. Михалева М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.
9. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования, 2007.
10. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета на прочность, 2007.
11. ГОСТ Р 52857.3-2007. Укрепление отверстий в обечайках и днищах привнутреннем и внешнем давлениях, 2007.
12. ГОСТ Р 52857.4-2004. Расчет фланцевых соединений, 2007.
13. ГОСТ Р 52857.7-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты, 2007.
14. ГОСТ Р 52857.8-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками, 2007.

15. РДРТМ 26-01-72-82. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета, 1982.
16. ГОСТ 12622-78. Днища плоские отбортованные. Основные размеры (с Изменением N 1), 1978.
17. ГОСТ 10885-75. Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионностойкая, 1975.
18. ОСТ 26-291-94. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия, 1994.
19. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. Технические условия (с Изменениями N 1-5, с Поправкой), 1980
20. ГОСТ 1759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83). Болты, винты, шпильки и гайки. Технические условия (с Изменением N 1), 1987.
21. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция, 1993.
22. Першина С.В., Каталымов А.В., Однолько В.Г. и др. Весовое дозирование зернистых материалов. – М.: Машиностроение, 2009. – 260 с.
23. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Учебно-методическое пособие ТПУ – 2014. – 73 с.
24. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд- во Юрайт, 2013. – 671с.
25. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химической в химических лабораториях. – Л: Химия. – 1985. -98с.
26. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
27. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. - Томск: Изд – во ТПУ, 2001. – 83с.
28. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. проф. В.Ф.Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. -284с.
29. Дашковский А.Г., Романцов И.Г. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2008 – 19с.
30. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, 1988.

31. ГН 2.2.5.1313. – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998.
32. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, 1982.
33. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы, 1974.
34. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
35. СНиП 23 – 05 – 95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
36. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования, 1991.

Приложение 1

Раздел магистерской диссертации выполненный на иностранном языке

Раздел 1

Описание технологической схемы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Николаев Н.В.		

Консультант – лингвист кафедры отделение ИЯ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения иностраннных языков	Игна О.Н.	к.п.н.		

1. Description of technological scheme

1.1 General information

The history of the origin of the drug "Citramon" is quite long. During the Soviet Union, the drug with the same name was produced. The composition included such components: acetylsalicylic acid-0.24 g, phenacetin-0.18 g, caffeine-0.03 g, cocoa-0.015 g, citric acid-0.02 g, sugar-0.5 g. Phenacetin, a derivative of aniline, has analgesic and antipyretic properties, as well as a side effect, toxicity. For this reason, the drug was developed "Citramon Plus" or "Citramon P", in the drug phenacetin was replaced by paracetamol.

Description and composition of the drug.

The pain-killer contains: acetylsalicylic acid, paracetamol, caffeine, ascorbic acid.

Their content:

Acetylsalicylic acid-0.24 g.

Paracetamol-0.18 g.

Caffeine-0.03 g.

The release form of citramone in the form of flat-cylindrical round tablets of light brown color. In the packaging of the tablets is 6 or 10. In addition to the main substances in the preparation also includes various fillers: potato starch, calcium stearate, low molecular weight medical povidone. Do not have contraindications, need to increase the weight of the tablet to the standard of 1 gram.

The tablets belong to analgesic drugs. It has no narcotic properties.

Indications for use.

With febrile syndrome (acute respiratory infections, flu), when expressed pain syndrome of different etiology (migraine, headache or toothache, myalgia, neuralgia, algodismenorea, arthralgia).

1.2 Manufacturing of tablets

Citramone is made by mixing components: acetylsalicylic acid, paracetamol, caffeine, ascorbic acid and fillers. The scheme of manufacture of the drug is shown in figure 1.1.

The main stages of production and the equipment used in this case.

For grinding raw materials using a rotary mill 1. The dispersed raw material enters the mixer 2, where it is mixed to a homogeneous mixture. 3 and 6 vacuum pumps, by means of pumps movement of raw materials from one device in another is made. The mixture, after mixing, enters the granulator 4, also, in the granulator, water, gelatin or starch solution is loaded to moisten the mixture. The granules obtained in the granulator are dried in the dryer 5. Drying is carried out by a stream of heated dry air. The granules are fed into the dryer, where they are a thin layer of crumble on the surface of the sieves, with the help of a compressor from below the flow of warm air. The dried granules are fed into the press machine (7), for pressing into the tablet form. After pressing, the tablets enter the packaging machine (9), where they are Packed in a blister and Packed in packs.

Next, we consider in more detail the manufacture of tablets of citramone, the characteristics of the equipment, also note the nuances of the manufacturing process.

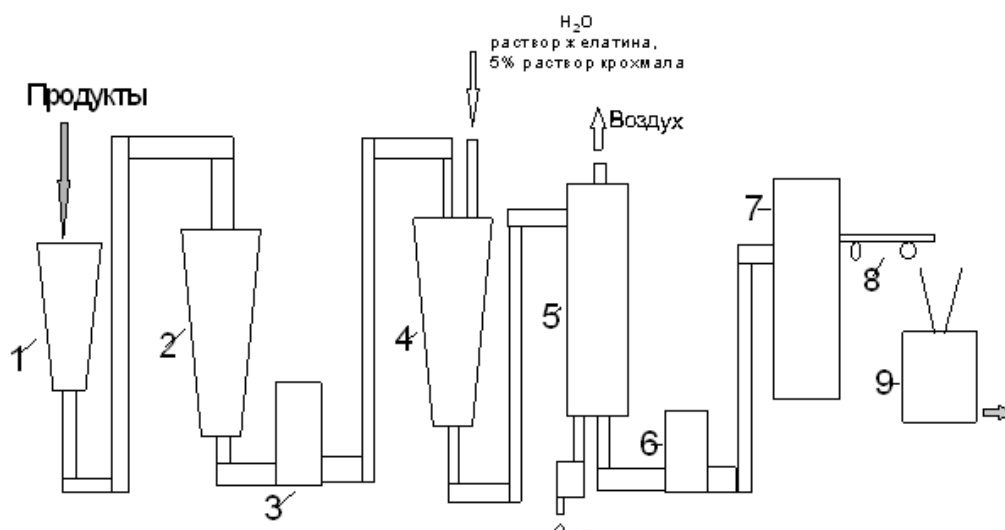


Рисунок 1.1. Схема изготовления цитрамона.

The first stage of manufacturing tablets will be grinding raw materials. Milled raw materials, then sieved through a sieve to filter out lumps of larger diameter.

After the preparation of raw materials for the manufacture of tablets and excipients must be thoroughly mixed mixture for uniform distribution of

components in the mixture. Since powders have different physico-chemical properties: humidity, dispersity, bulk density, etc. At the mixing stage is applied, often lobed mixers of periodic action.

The second step in the manufacture of tablets is granulation. For tablets using wet granulation.

Granulation consists of:

- 1) grinding;
- 2) moisturizing with binder;
- 3) rubbing the mass through a sieve;
- 4) drying.

To link use a solution of gelatin or starch paste 5%.

Granulation is carried out through a sieve of 3-5 mm. Use sieves made of brass, stainless steel or bronze.

The resulting mixture is sent to the dryer. Where it is dried to a residual moisture content not exceeding 2%.

The granules have a surface roughness, which complicates the manufacture of tablets. The roughness carries a hang in the funnel, sticking to the punches of the press, which violates the weight of the tablet, the surface. To avoid this, use "dusting" granulate. Dusting in the total mass introduced disintegrants and sliding substances.

Tableting is carried out on special machines – rotary tablet presses. Pressing is carried out by a press tool consisting of a matrix, the upper and lower punch.

Tableting in press machines is carried out in several stages: dosing, pre-pressing, pressing, ejection and discharge. All stages follow sequentially, one after another. To prevent dusting of the surface of the tablets, dust removers are used.

After pressing, the tablets are fed to the primary and secondary packaging.