

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ): **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**
 Направление подготовки: **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

Профиль: **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование реактора с мешалкой для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек

УДК 615.451.16

Студент

Группа	ФИО (полностью)	Подпись	Дата
3-2К51	Сибирцева Елена Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>доцент</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>	<i>к.т.н.</i>		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Доцент</i>	<i>Креницына З.В.</i>	<i>к.т.н.</i>		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Ассистент</i>	<i>Черемискина М.С.</i>			

По разделу «Механический раздел оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Доцент</i>	<i>Беляев В.М.</i>	<i>к.т.н., доцент</i>		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Доцент</i>	<i>Беляев В.М.</i>	<i>к.т.н., доцент</i>		

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.02 2020г

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1, 3, 9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ): **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**
 Направление подготовки: **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

Профиль: **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Беляев В.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2K51	<i>Сибирцева Елена Владимировна</i>

Тема работы:

Проектирование реактора с мешалкой для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек

Утверждена приказом директора (дата, номер)	<i>02.03.2020 № 62-13/С</i>
---	-----------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<i>19.05.2020</i>
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (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.).</p>	<p><i>Реактор со встроенным теплообменником и перемешивающим устройством для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек. Производительность по продукту, т/год – 6200.</i></p> <p><i>1. Состав сырья: Спирт этиловый (этанол) 70 % готовят из этанола и воды очищенной</i></p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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)</p>	<p><i>Обзор литературы</i></p> <p><i>Описание технологической схемы</i></p> <p><i>Выбор конструкционных материалов</i></p> <p><i>Механический расчет реактора</i></p> <p><i>Поверочный расчет реактора</i></p> <p><i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i></p>

выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Социальная ответственность Заключение Список использованных источников
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Лист 1 - Технологическая схема (A1) Лист 2 – Реактор с рубашкой. Вид обций (A0) Лист 3 –Чертеж общего вида Сборочные единицы (A1) Лист 4 –Экономические показатели (A1)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	<i>Креницына З.В.</i>
Социальная ответственность	<i>Черемискина М.С.</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>Реферат</i>	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<i>3-2К51</i>	<i>Сибирцева Елена Владимировна</i>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
<i>3-2К51</i>	<i>Сибирцева Елена Владимировна</i>

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	<i>Бакалавр</i>	Направление	Машины и аппараты химических производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет производственной мощности Режим работы персонала Расчет амортизационных отчислений Расчет себестоимости
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений. Морфологический анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работ. Определение трудоемкости выполнения работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт общего показателя эффективности научного исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Доцент</i>	<i>Креницына З.В.</i>	<i>к.т.н., доц</i>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<i>3-2К51</i>	<i>Сибирцева Елена Владимировна</i>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К51	Сибирцева Елена Владимировна

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Машины и аппараты химических производств

Тема ВКР:

Проектирование реактора с мешалкой для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является химический реактор с гладкой теплообменной рубашкой и перемешивающим устройством, применяющийся для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ - ГОСТ 12.0.004-2015; - Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. - Федеральный закон № 421-ФЗ от 28.12.2013 г. - Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. - СП 2.2.1.1312-03 с изм. на 17 мая 2010 г.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><i>Химически опасные и вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Повышенный уровень шума - Отклонение показателей микроклимата - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Взрывоопасность - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p><i>Атмосфера: выброс паров химических соединений</i></p> <p><i>Гидросфера: сточные воды</i></p> <p><i>Литосфера: утилизация твердых отходов</i></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p><i>В качестве возможных чрезвычайных ситуаций для производства определены: пожар, взрыв.</i></p> <p><i>В качестве наиболее типичной ЧС выбран пожар.</i></p> <p><i>Даны рекомендации по предупреждению ЧС, порядок действий при возникновении ЧС и мер по ликвидации её последствий.</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К51	Сибирцева Елена Владимировна		

Реферат

Бакалаврская работа состоит из графической части и пояснительной записки, была выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 при помощи системы компьютерной алгебры MathCad, графическая часть выполнена в программе Компас 2016. Графическая часть состоит из трех листов формата А1 и одного листа формата А0.

Пояснительная записка состоит из 145 страниц, содержит 15 таблиц, 14 рисунков, для выполнения работы использованы 39 источников литературы.

Ключевые слова: реактор с мешалкой и гладкой рубашкой, настойки, экстрагент, экстракция, продукт.

Объектом разработки является реактор с перемешивающим устройством и гладкой рубашкой для отстаивания и стандартизации продукта при производстве настоек.

Цель работы – расчет и выбор реактора, который будет удовлетворять всем условиям технологического процесса.

Произведены материальный, тепловой, конструктивный и механический расчеты. Разработана технологическая схема и конструкция основного реактора. В конструктивно-механическом расчете были произведены расчеты толщин стенок обечайки, крышки и днища, элементов рубашки, штуцеров, фланцевых соединений, а также расчет вала перемешивающего устройства на прочность, жесткость и вибростойкость. Рассчитано шпоночное соединение.

Степень внедрения: В процессе исследования проводилось изучение и расчёт оборудования для производства галеновых препаратов на стадии стандартизации продукта в Производственной фармацевтической компании Обновление (далее по тексту ПФК Обновление). В результате производственной практики было выявлено, что используемое оборудование не имеет тех производственных мощностей, которые необходимы для обеспечения запланированного выпуска и нуждается в модернизации.

Область применения: химическая промышленность.

В результате исследования было подтверждено, что рассчитанный реактор с перемешивающим устройством и гладкой теплообменной рубашкой соответствует всем предъявляемым технологическим характеристикам.

ABSTRACT

Bachelor's work consists of a graphic part and an explanatory note and was executed in the text editor Microsoft Word 2013 using the computer algebra system MathCad, the graphic part is executed in the program «Компас-3D 2016». The graphic part consists of 3 sheets of A1 format and 1 sheet of A0 format. The explanatory note consists of 145 pages, contains 14 tables, 15 figures and was based on 39 sources of literature.

Key words: reactor with a stirrer and a smooth face, tinctures, extracting, extraction, product.

The object of development is a reactor with a mixing device and a smooth jacket for settling and standardizing the product in the production of tinctures.

The purpose of the work is to calculate and select a polypropylene synthesis reactor that will satisfy all the conditions of the technological process.

Material, thermal, constructive and mechanical calculations were made. The technological scheme and design of the main reactor have been developed. In the constructive-mechanical calculation, the wall thicknesses of the shell, cover and bottom, jacket's elements, fittings, flange connections were calculated, and the shaft of the agitator was calculated for strength, rigidity and vibration resistance.

A keyed connection was calculated.

Application: chemical industry.

As a result of the study, it was confirmed that the calculated reactor with a mixing device and a smooth heat exchange jacket meets all the required technological characteristics.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ	16
2.1 Общие сведения	16
2.2 Технологическая схема производств	17
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	19
3.1 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС	20
3.2 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АППАРАТА С ВНУТРЕННИМИ УСТРОЙСТВАМИ	23
3.3 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ	26
3.4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ	30
4 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	32
4.1 ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	32
4.2 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ	33
4.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБАВОК К ТОЛЩИНЕ	35
4.4 РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКИ	36
4.5 РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ДНИЩА	39
4.6 РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРЫШКИ	41
4.7 РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГЛАДКОЙ ТЕПЛОБМЕННОЙ РУБАШКИ	44
4.8 РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ ОБЕЧАЙКИ КОРПУСА С ДНИЩА	48
4.9 РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ РУБАШКИ С КОРПУСОМ	62
4.10 РАСЧЕТ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОРПУСА С КРЫШКОЙ	66
4.11 РАСЧЕТ ВАЛА ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ	76
4.12 РАСЧЕТ МЕШАЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ	79
4.13 РАСЧЕТ ВАЛА	81
4.14 РАСЧЕТ УКРЕПЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ	95
4.15 РАСЧЕТ ШПОНОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ВАЛА С МЕШАЛКОЙ	102
4.16 РАСЧЕТ ОПОР	103
5 ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ РЕАКТОРА	109
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	110
6.1 SWOT-АНАЛИЗ «ПФК ОБНОВЛЕНИЕ»	110

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист 10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.2	АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	112
6.3	РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ПО ДЕЙСТВУЮЩЕМУ ПРОИЗВОДСТВУ	114
6.4	РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ	116
7	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	122
7.1	ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	122
7.2	СПЕЦИАЛЬНЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА	124
7.3	КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ.....	125
7.4	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	126
7.5	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	132
7.5.1	ТВЕРДЫЕ И ЖИДКИЕ ОТХОДЫ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ	132
7.6	БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	133
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	137
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	141
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	144
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	145

Введение

Многие годы в фармацевтической промышленности, да и у населения в целом, сохраняется и с каждым годом возрастает интерес к применению лекарственных растений и лекарств, полученных на их основе, для лечения различных заболеваний. На сегодняшний день лекарственные средства на основе биологически активных веществ растительного происхождения (фитопрепараты) составляют до 50 % от общей номенклатуры лекарственных препаратов, а для лечения сердечно-сосудистых, желудочно-кишечных, нервных заболеваний используется до 90 % таких препаратов от общего количества лекарственных средств.

Такой интерес обоснован тем, что целебные лекарственные растения и препараты из них, при правильной дозировке, практически нетоксичны, безвредны, относительно доступны, эффективны, и, в некоторых случаях, не имеют конкурентов среди синтетических лекарств.

Одной из самых простых форм применения лекарственных растений остаются водные извлечения, среди преимуществ которых следует отметить простоту приготовления, комплексное действие и высокую биодоступность биологически активных веществ, содержащихся в растительном сырье, а также более мягкое действие на организм. Водные извлечения (настои и отвары) имеют широкое применение в медицинской практике в виде микстур, полосканий, примочек, промываний, ванн, ингаляций.

Одним из крупнейших производителей галеновых препаратов является ПФК «Обновление». Эта компания сегодня не только одна из лучших в России. По качеству она на уровне передовых зарубежных фармацевтических компаний. До 2008 года компания выпускала в основном только твердые лекарственные средства (таблетки). С 2008 года было приобретено новое оборудование по производству и розливу стерильных препаратов. В 2018 г запустили производство галеновых препаратов. За счет запуска производства

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

компания смогла нарастить свою долю на рынке в этом спектре продукции в упаковках с 10-15 % до 25 %.

Для реализации данных перспектив необходимо разработать и подобрать оборудование для оптимизации и повышения эффективности процесса производства галеновых препаратов.

Основными задачами в рамках реализации данного проекта были анализ состояния производства Валерианы настойки, изучение технологий производства, выбор подходящей технологической схемы и расчёт основного аппарата – реактора с перемешивающим устройством и гладкой теплообменной рубашкой.

При подведении итогов работы были даны оценка экологичности принятых в процессе разработки реактора решений, а также экономического и научного потенциала разработки.

Результатом научно-исследовательской разработки стал проект реактора для отстаивания и стандартизации продукта при производстве Валерианы настойки, оформленный в виде расчётно-пояснительной записки с приложениями в виде технологической схемы процесса и чертежей.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Обзор литературы

В настоящее время в повседневной жизни мы все больше узнаем, что продукты природного происхождения заключают в себе неисчерпаемый запас сложных и разнообразных веществ, многие из которых индивидуальны и не могут быть получены синтетически. Природой этих веществ является растительное сырье. Именно переработка растительного сырья можно получить большинство биологически активных соединений природного происхождения, известных в фармакологии как галеновые препараты.

Галеновые препараты представляют собой группу лекарственных средств, которые наряду с другими препаратами входят в состав лекарств. Галеновыми они называются по фамилии знаменитого римского врача и фармацевта Клавдия Галена, жившего в 131-201 гг. н.э.

Настойки – это жидкие спиртовые или водно-спиртовые извлечения, полученные обычно из высушенного или свежего растительного или животного сырья без нагревания и удаления экстрагента.

Настойки могут быть простыми, получаемыми из одного вида сырья и сложными, представляющими смесь извлечений из нескольких растений, иногда с добавлением лекарственных веществ.

Большинство настоек получают с использованием 70 % этанола, реже 40 % (настойка барбариса, зверобоя) и крайне редко других концентраций: 90 % (настойка мяты, стручкового перца), 95 % (настойка лимонника) и др.

В настоящее время различают три способа производства настоек: мацерация, перколяция и растворение экстрактов. Настойки обычно готовятся в соотношении 1:5 и 1:10. Они должны обладать запахом и вкусом, характерным для сырья, из которого их получают.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Для настоек используется следующая технологическая схема производства: экстракция, очистка, стандартизация.

Мацерация – наиболее простой метод настаивания. Высушенные части растений измельчают и помещают в закрытый сосуд, заливают определенным количеством экстрагента и настаивают в течении 7 суток при температуре 15-20°C перемешивая несколько раз в день. После настаивания жидкость сливают, остаток отжимают и затем промывают новой порцией экстрагента и снова отжимают. Полученную вытяжку объединяют с основой и проводят настаивание.

Данный метод имеет ряд недостатков:

- длительный технологический процесс;
- испарение экстрагента, что приводит к уменьшению количества настойки;
- слеживание набухшего сырья на дне емкости.

Перколяция – способ, который заключается в непрерывной фильтрации экстрагента через слой извлекаемого сырья. Сырье так же измельчают, укладывают в перколяторы и заливают небольшим количеством экстрагента для набухания в течение 4-6 часов. После истечения времени набухания снова заливают экстрагент до уровня образования, так называемого зеркала, и оставляют настаиваться 1-2 суток. По окончании времени настаивания продукт сливают в емкость, сырье отжимают. Продукт объединяют с вытяжкой и отстаивают в течение 4-8 часов при температуре 8-10°C.

Получение настоек растворением экстрактов. Небольшую группу настоек готовят растворением готовых экстрактов в спирте соответствующей концентрации. Этот способ изготовления настоек, являющийся, как и описанные выше методы, официальным, применяется в тех случаях, когда растительное сырье по тем или иным причинам не может быть подвергнуто экстрагированию методами, характерными для получения настоек, но может экстрагироваться методами, применяющимися при производстве экстрактов.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Описание технологической схемы

2.1 Общие сведения

Валерианы настойка вызывает умеренно выраженный седативный эффект. Действие обусловлено содержанием эфирного масла, большую часть которого составляет сложный эфир борнеола и изовалериановой кислоты. Седативными свойствами обладают также валепотриаты и алкалоиды - валерин и хотенин. Валериана облегчает наступление естественного сна. Седативный эффект проявляется медленно, но достаточно стабильно. Валериановая кислота и валепотриаты обладают слабым спазмолитическим действием. Кроме того, комплекс биологически активных веществ валерианы лекарственной оказывает желчегонное действие, усиливает секреторную активность слизистой ЖКТ, замедляет сердечный ритм и расширяет коронарные сосуды. Регуляция сердечной деятельности опосредуется через нейрорегуляторные механизмы и прямое влияние на автоматизм, и проводящую систему сердца. Лечебное действие проявляется при систематическом и длительном курсовом лечении.

Описание и состав препарата:

Валерианы корневища с корнями -200 г

Этанол 70 % до получения 1000 мл настойки.

Прозрачная жидкость красновато-коричневого цвета с характерным запахом. Темнеет под влияние солнечного света. При хранении допускается образование налета на стенках первичной упаковки.

Валерианы настойка принадлежит к группе седативных средств растительного происхождения.

Показания к применению.

Состояния возбуждения; расстройства сна, связанные с перевозбуждением; мигрень; легкие функциональные нарушения со стороны сердечно-сосудистой и пищеварительной системы (как правило, в составе комбинированной терапии).

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2.2 Технологическая схема производств

Производство Валерианы настойки осуществляется методом перколяции.

Перколяция относится к динамическим методам, заключается в пропускании через сырье непрерывного потока экстрагента, т. е. представляет собой процесс его фильтрования через слой растительного материала. Экстрагирование осуществляется в емкостях различной конструкции, называемых перколяторами

Технологический процесс производства Валерианы настойки организован в соответствии с технологической схемой, представленной в приложении 1.

На стадии вспомогательных работ (далее по тексту-ВР) ВР.1 и ВР.2 осуществляют подготовку инженерных систем, оборудования и персонала в соответствии с утвержденным перечнем контрольных точек производства.

На стадии ВР.3.1 осуществляется приготовление этилового спирта 70 % (этанол) в емкости для приготовления экстрагента.

На стадии ВР.3.2 растительное сырье валерианы корневища с корнями взвешивают в помещении расфасовки растительного сырья, одновременно расфасовывая в мешки тканевые и передают, на стадию технологического процесса (далее по тексту - ТП) ТП.4.

На стадии ВР.3.3 осуществляют санитарную подготовку флаконов темного стекла и направляют на стадию ТП 5.

На стадии ВР.3.4 осуществляют санитарную подготовку укупорочных средств и направляют на стадию ТП 5.

На стадии ТП.4 осуществляют приготовление Валерианы настойки в батареях из нескольких перколяторов методом перколяции.

На стадии ТП.4.1 в перколяторы загружают мешки с растительным сырьем. В каждый перколятор подают экстрагент и оставляют для настаивания сырья. По окончании времени настаивания начинают процесс перколяции. В первый перколятор осуществляют непрерывную подачу экстрагента с заданной скоростью перколяции. В этот же момент открывают нижний кран первого перколятора для подачи извлечения в следующий перколятор. Аналогичную процедуру повторяют для всех последующих перколяторов. Извлечение из последнего перколятора

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

подается в промежуточную емкость и далее с помощью мембранного насоса на стадию ТП 4.3. Отработанное сырье передают на стадию ТП.4.2.

На стадии ТП.4.2 осуществляют отжим растительного сырья на центрифуге. По окончании процесса фугат перекачивают в емкость для обедненного сырья.

На стадии ТП.4.3 проводят стандартизацию настойки в отстойнике, затем отстаивание при заданных параметрах.

На стадии ТП.4.4 проводят отделение осадка методом осветляющей фильтрации настойки, далее настойка поступает в сборник. Полученную настойку передают на стадию ТП.5.

На стадии ТП 5.1 осуществляют розлив из передвижного сборника в канистры полимерные.

На стадии ТП.5.2 осуществляют розлив Валерианы настойки во флаконы темного стекла по 25 мл из канистр на установке типа «Контур-П4».

На стадии упаковки, маркировки и обондероливания (далее по тексту – УМО) УМО.6 осуществляют наклеивание этикеток самоклеющихся на флаконы. Упаковка в пачку и в транспортную тару.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

3 Технологический расчет

В данном разделе мы приведем технологический расчет реактора для отстаивания и стандартизации настоек. Технологический расчет состоит из следующих частей:

- материальный баланс;
- гидродинамический расчет реактора;
- конструктивный расчет реактора.

В соответствии с этим целями технологического расчёта являются:

- для материального баланса – определение основных материальных потоков и объёма реактора, выбор соответствующего внутреннего диаметра;
- для гидродинамического расчёта – определение параметров гидродинамического режима аппарата в соответствии с процессом, выбор перемешивающего устройства, стойки, типа привода и мотор-редуктора;
- для теплового расчёта – определение основных тепловых потоков и требуемой поверхности теплообмена, выбор соответствующего теплообменного устройств;
- для конструктивного расчёта – выбор диаметров основных технологических штуцеров для ввода и отвода веществ.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.1 Материальный баланс

Материальный баланс Валерианы настойки представлен в таблице 1, рассчитанный по абсолютному этиловому спирту.

Таблица 1 - Материальный баланс Валерианы настойки

Израсходовано		Получено	
Наименование сырья и полупродуктов	Содержание основного вещества, кг	Наименование конечного продукта, отходов и потерь	Содержание основного вещества, кг
Валерианы корневища с корнями	140	Настойка Валерианы 70 %	868
Спирт этиловый 96 %	1186	Спирт – рекуперат 28%	233
Вода очищенная	565	Потери	790
Итого:	1891	Итого:	1891

Взято: 140 кг Валерианы корневища с корнями.

Перевод массы спирта в кг:

$$X=A*B \quad (3.1)$$

Где X- масса спирта в кг, А-масса спирта в л, В - плотность спирта кг/м³

Спирта этилового 96 % — 1521 л, плотность спирта 96 % = 0,812 г/см³
находим массу спирта.

$$X= 1521 \text{ л} *0,812 \text{ г/см}^3 = 1235 \text{ кг}$$

$$X=1891 \text{ л}*0,886 \text{ г/см}^3 = 1675,4 \text{ кг}$$

В пересчете на абсолютный спирт:

$$D= \frac{C*X}{100 \%} \quad (3.2)$$

Где С- количественное содержание спирта, %;

$$D= \frac{96 \%*1235 \text{ кг}}{100 \%} = 1186 \text{ кг}$$

Получено: Настойки Валерианы 70 % — 1400 л,
плотность спирта 70% = 0,886 г/см³.

$$X= 1400 \text{ л} *0,886 \text{ г/см}^3 = 1240 \text{ кг}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В пересчете на абсолютный спирт:

$$D = \frac{70 \% \cdot 1240 \text{ кг}}{100 \%} = 868 \text{ кг}$$

Спирта-рекуперата 28 % — 870 л, плотность спирта 28 % = 0,9580 г/см³.

$$X = 870 \text{ л} \cdot 0,9580 \text{ г/см}^3 = 833 \text{ кг}$$

В пересчете на абсолютный спирт:

$$D = \frac{28 \% \cdot 833 \text{ кг}}{100 \%} = 233 \text{ кг}$$

Потери рассчитаны исходя из формулы материального баланса:

$$1891 = 868 + 233 + 790 \text{ кг}$$

Технологический выход по абсолютному спирту:

$$\text{Тех. вых.} = \frac{(\text{настойка, кг} + \text{рекуперат, кг})}{\text{общее кол., кг}} \cdot 100 \% \quad (3.3)$$

$$\text{Тех. вых.} = \frac{(868 \text{ кг} + 233 \text{ кг})}{1891 \text{ кг}} \cdot 100 \% = 58,2 \%$$

Технологическая трата по абсолютному спирту:

$$\text{Тех. трата.} = \frac{\text{потери, кг}}{\text{общее кол., кг}} \cdot 100 \% \quad (3.4)$$

$$\text{Тех. трата.} = \frac{790 \text{ кг}}{1891 \text{ кг}} \cdot 100 \% = 41,8 \%$$

Рассчитаем объём реактора необходимый для производства.

Для удобства расчетов проведем расчет некоторых констант, горячему экстракту индекс «2», охлаждающей воде в рубашке индекс «1». По условиям доля этилового спирта в экстракте 70 %, доля водного раствора сухого вещества корней валерианы 30 %:

Динамическая вязкость спирта:

$$\mu_2 = \mu_{\text{спирта}} \cdot X_{\text{спирта}} + \mu_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3.5)$$

$$\mu_2 = 1,074 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 + 1,071 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 = \text{м Па} \cdot \text{с}$$

Теплоемкость смеси будет равна сумме произведений теплоемкости чистого растворителя на его долю и теплоемкости сухого вещества на его долю:

$$c_2 = c_{\text{спирта}} \cdot X_{\text{спирта}} + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3.6)$$

$$c_2 = 2400 \cdot 0,7 + 4220 \cdot 0,3 = 2946 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Плотность смеси:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\rho_2 = \rho_{\text{спирта}} \cdot X_{\text{спирта}} + \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3.7)$$

$$\rho_2 = 789 \cdot 0,7 + 1000 \cdot 0,3 = 852,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Теплопроводность смеси будет равна сумме произведений теплопроводности чистого растворителя на его долю и теплопроводности сухого вещества на его долю:

$$\lambda = \lambda_2 = \lambda_{\text{спирта}} \cdot X_{\text{спирта}} + \lambda_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3.8)$$

$$\lambda_2 = 0,1705 \cdot 0,7 + 0,59 \cdot 0,3 = 0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Масса экстракта составляет 1891 кг (по материальному балансу). Значит объем экстракта составит:

$$V_2 = \frac{M_2}{\rho_2} \quad (3.9)$$

$$V_2 = \frac{1891}{852,3} = 2,22 \text{ м}^3$$

Выбор стандартизованного реактора с мешалкой

Степень заполнения реактора составит:

$$V_{\text{зап}} = \frac{V_2}{V_{\text{техн}}} \quad (3.10)$$

где:

$V_{\text{техн}}$ – это паспортная емкость реактора в соответствии с каталогом производителя.

$$V_{\text{зап}} = \frac{2,22}{3,2} = 0,7 \text{ м}^3$$

Выберем из каталога ООО «Курганхиммаш» стандартизованный по ТУ 3615-110-00217298-98 реактор с мешалкой исполнения 0103, тип «0103(23)(10)-хх» (рисунок 1) со следующими характеристиками таблица 2:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

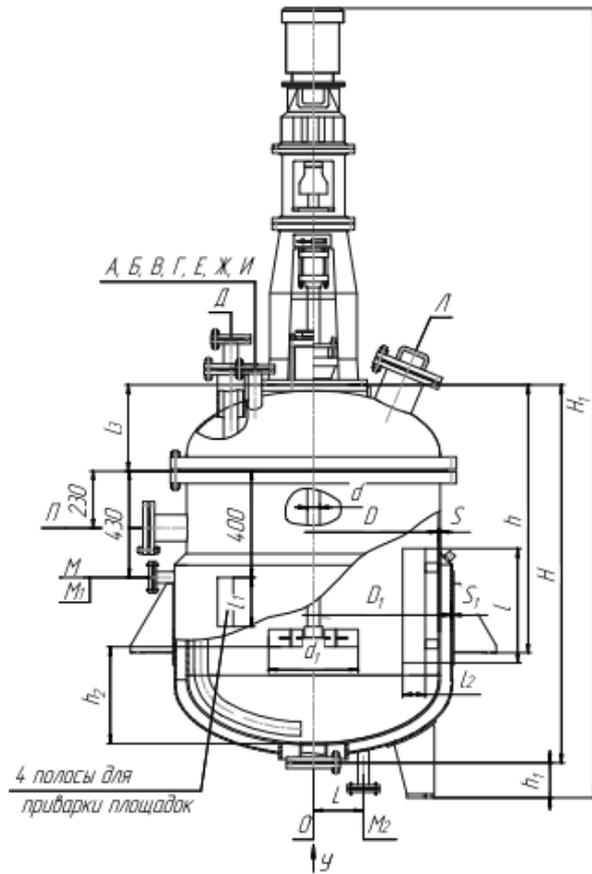


Рисунок 1 – Реактор с эллиптическим днищем и съемной эллиптической крышкой с гладкой приварной рубашкой

Таблица 2 – Основные характеристики реактора

Объем, м ³	Рабочее давление, МПа	D	D_1	D_2	D_3	d_1	l	H	$F, м^2$	s
3,2	0,6	1600	1700	1050	1510	450	1000	1915	6,2	12

3.2 Гидродинамический расчет аппарата с внутренними устройствами

Целью гидродинамического расчета является определение усредненных характеристик поля скоростей в объеме аппарата, значений осевой и радиальной сил, действующих на мешалку, глубины воронки и мощности перемешивания.

Расчет производим согласно рекомендациям пособия [9].

Согласно пособию [9], при перемешивании в аппарате экстрагента при помощи быстроходных мешалок рекомендуется в конструкцию аппарата не включать отражательные перегородки.

Согласно рекомендациям технологического процесса для интенсивного перемешивания полученной настойки на стадии отстаивания и стандартизации необходимо использовать быстроходную мешалку. Выбираем трехлопастную мешалку, внешний вид представлен на рисунке 2. [9].

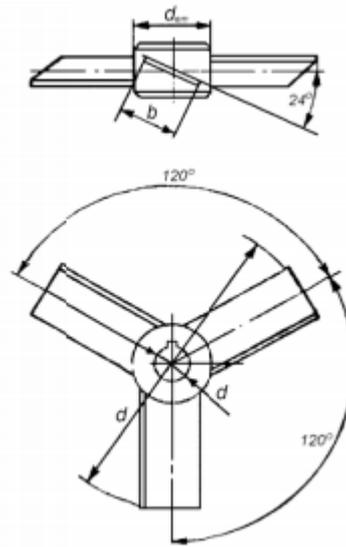


Рисунок 2 - Конструкция трёхлопастной мешалки [9]

Основные параметры мешалки [9]:

Диаметр мешалки, мм $d_m = 450$

Ширина лопасти, мм $b = 0,2 \cdot d_m = 90$

Тогда:

Отношение диаметров аппарата и мешалки [9]

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_m} = 3,5 \quad (3.11)$$

Динамическая вязкость экстракта при температуре стенки:

$$\mu_{2ст} = \mu_{сп.ст.} \cdot \mathcal{N}_{спирта} + \mu_{в.ст.} \cdot \mathcal{N}_{H_2O} \quad (3.12)$$

$$\mu_{2ст} = 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 + 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Динамическая вязкость экстракта при средней температуре:

$$\mu_{2ср} = \mu_{сп.ср.} \cdot \mathcal{N}_{спирта} + \mu_{в.ср.} \cdot \mathcal{N}_{H_2O} \quad (3.13)$$

$$\mu_{2ср} = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерий Рейнольдса при перемешивании экстракта быстроходной мешалкой [9]:

$$Re = \frac{\rho_2 \cdot n \cdot d_1^2}{\mu_{2ср}} = \frac{852,3 \cdot 19 \cdot 0,45^2}{1,27 \cdot 10^{-3}} = 2582066 \quad (3.14)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

где n – частота вращения мешалки, $1/\text{с}$; ν – кинематическая вязкость перемешиваемой среды, $\text{м}^2/\text{с}$.

Поскольку мешалка быстроходная, примем её частоту вращения n равной 19 с^{-1} .

Параметры высоты заполнения аппарата [9]:

$$\gamma = 8 \frac{H}{D} + p \quad (3.15)$$

где H – высота заполнения аппарата средой, м ; $p = 1$ – для аппаратов со свободной поверхностью жидкости; $p = 2$ – для полностью заполненного аппарата.

$$\gamma = 8 \frac{1,532}{1,6} + 1 = 8,66$$

Осредненное значение скорости потока [9]:

$$V_{cp} = 4,35 \cdot n \cdot d_m \left(\frac{z \cdot \zeta_m}{\Gamma_D^2 \cdot \gamma} \right)^{1/3} \quad (3.16)$$

где ζ_m – коэффициент сопротивления трёхлопастной мешалки, равный $0,56$ [9]; z – число мешалок на валу (конструктивно принимаем равной 1).

Отсюда:

$$V_{cp} = 4,35 \cdot 2 \cdot 0,45 \left(\frac{1 \cdot 0,56}{3,5^2 \cdot 8,66} \right)^{1/3} = 1,03 \text{ м/с}$$

Коэффициент мощности K_N по [16] принимаем равным $0,52$. Тогда мощность, потребляемая мешалкой при перемешивании [9]:

$$N = K_N \cdot \rho_{cm} \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,52 \cdot 886 \cdot 2^3 \cdot 0,45^5 = 664,9 \text{ Вт} \quad (3.17)$$

Необходимая мощность привода с учетом пусковых нагрузок принимается на 20% больше [9], то есть

$$Nn = 1,3 \cdot N = 864,5 \text{ Вт} \quad (3.18)$$

По результатам расчета из ближайших нормативных значений справочника [16] выбираем привод типа VIII: вертикальный с угловой передачей, мотор редуктором типа ВО и электродвигателем серии АО₂.

Частота вращения вала $n = 120$ об/мин, угловая скорость вращения $\omega = 15,9 \text{ с}^{-1}$.

Номинальная мощность $N_{ном} = 1,5 \text{ кВт}$.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.3 Тепловой расчет

Целью теплового расчета аппарата является определение теплового потока Q через теплообменные устройства аппарата и последующее определение площади поверхности теплообмена F . Тепловой расчет производится в соответствии с рекомендациями пособия [9].

Основное уравнение теплопередачи для реакторов периодического действия имеет вид:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}} \cdot \tau \quad (3.19)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²*К); F – площадь поверхности теплообмена, м²; $\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур между перемешиваемой средой и охладителем, К.

Согласно условиям технологического процесса на стадии отстаивания и стандартизации настойки продукт охлаждать до температуры 10°C. Температуру воды, поступающую в рубашку, примем равной 10°C, а температуру смеси 20°C. Температуру воды на выходе примем равной 15°C.

Движущая сила процесса теплопередачи для реактора периодического действия, с учетом постоянного охлаждения горячего теплоносителя и падения эффективности теплопередачи, будет рассчитываться по формуле:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{2\text{нач}} - t_{2\text{кон}}}{\ln \frac{t_{2\text{нач}} - t_{1\text{нач}}}{t_{2\text{кон}} - t_{1\text{нач}}}} \cdot \frac{A - 1}{A \cdot \ln A} \quad (3.20)$$

где:

$$A = \frac{t_{2\text{кон}} - t_{1\text{нач}}}{t_{2\text{кон}} - t_{1\text{кон}}} \quad (3.21)$$

$$A = \frac{10 - 1}{10 - 7} = 3$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{20 - 10}{\ln \frac{20 - 1}{10 - 1}} \cdot \frac{3 - 1}{3 \cdot \ln 3} = 13,38 \cdot 0,61 = 8,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Примем время стандартизации (охлаждения) экстракта τ равным 8 часам или 28800 секунд.

Уравнение теплового баланса примет вид (без учета потерь тепла):

$$Q_{\text{вх}} = Q_{\text{вых}} \quad (3.22)$$

		г.д.с.			ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{вх}} = C_2 \cdot M_2 \cdot (t_{2\text{нач}} - t_{2\text{кон}}) \quad (3.23)$$

Без учета потерь тепла:

$$Q_{\text{вх}} = 2946 \cdot 1891 \cdot (20 - 10) = 55708,9 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{вых}} = C_2 \cdot G_2 \cdot (t_{2\text{нач}} - t_{2\text{кон}}) \quad (3.24)$$

Количество воды в рубашке за время τ , необходимое для охлаждения экстракта:

$$G_2 = \frac{Q_{\text{вх}}}{C_1 \cdot (t_{1\text{сп}} - t_{1\text{нач}})} \quad (3.25)$$

где:

$$t_{1\text{сп}} = \Delta t_{\text{сп}} \cdot \ln A + t_{1\text{нач}} \quad (3.26)$$

$$t_{1\text{сп}} = 8,2 \cdot 1,1 + 1 = 10,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G_2 = \frac{55708900}{4220 \cdot (10,02 - 1)} = 1463,54 \text{ кг} = 0,051 \text{ кг/с}$$

$$V_2 = 0,051 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{\text{пот}} \approx 0,03 \div 0,05 \cdot Q \quad (27)$$

$$Q_{\text{пот}} = 0,05 \cdot 55708900 = 2785,4 \text{ кДж}$$

$$Q = 55708900 - 2785400 = 5292,5 \text{ кДж}$$

Необходимо рассчитать коэффициент теплопередачи K .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum(R_{\text{ст}}) + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.28)$$

$$\sum(R_{\text{ст}}) = \frac{1}{r_1} + \frac{s}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_2} \quad (3.29)$$

где:

α_1 – коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды к стенке теплообменного устройства, Вт/(м²*К);

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменного устройства охлаждающему агенту, Вт/(м²*К); r_c – теплопроводность стенки со стороны перемешиваемой среды принимаем равной в соответствии с пособием [39] как для органической жидкости 5800 Вт/(м²*К);

r_T – теплопроводность стенки со стороны охлаждающей среды принимаем равной в соответствии с пособием [39] как для воды хорошего качества 5800

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Вт/(м²*К); s – толщина теплопередающей стенки, принимаемая равной, м; λ – коэффициент теплопроводности стали 12Х18Н10Т, равный 16,5 Вт/(м*К) [9];

где:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_{ст}}{D} \quad (3.30)$$

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\mu_{2ст}}\right)^{0,14} \cdot \left(\frac{D}{d_1}\right)^{-1} \quad (3.31)$$

Температура стенки:

$$t_{ст} = \frac{t_{1ср} + t_{2ср}}{2} \quad (3.32)$$

$$t_{ст} = \frac{10,02 + 15}{2} = 12,51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура экстракта:

$$t_{2ср} = \frac{t_{2нач} + t_{2кон}}{2} \quad (3.33)$$

$$t_{2ср} = \frac{20 + 10}{2} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Критерий Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu_2 \cdot c_2}{\lambda_2} \quad (3.34)$$

$$Pr = \frac{1,0731 \cdot 10^{-3} \cdot 2946}{0,3} = 10,54$$

Критерий Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot (t_{ст} - t_{1ср})}{\nu_1^2} \quad (3.35)$$

$$Gr = \frac{9,8 \cdot 1^3 \cdot 0,54 \cdot 10^{-4} \cdot (12,51 - 10,02)}{(0,89 \cdot 10^{-6})^2} = 1,5 \cdot 10^9$$

$$\nu_1 = \frac{\mu_1}{\rho_1} \quad (3.36)$$

$$\nu_1 = \frac{0,89 \cdot 10^{-3}}{1000} = 0,89 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Критерий Нуссельта при перемешивании экстракта быстроходной мешалкой:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_{2ср}}{\mu_{2ст}}\right)^{0,14} \cdot \left(\frac{D}{d_1}\right)^{-1} \quad (3.37)$$

$$Nu = 0,36 \cdot 2582066^{0,67} \cdot 10,54^{0,33} \cdot \left(\frac{1,27 \cdot 10^{-3}}{1,4 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,14} \cdot \left(\frac{1,6}{0,45}\right)^{-1} = 4296$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где:

C – физическая константа, равная для аппаратов с рубашками 0,36;

m – физическая константа, равная для аппаратов с рубашками 0,67;

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_2}{l} \quad (3.38)$$

$$\alpha_2 = \frac{4296 \cdot 0,3}{1} = 1288,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи от стенок реактора к воде в рубашке:

$$\alpha_2 = C_s \cdot \lambda_1 \cdot (Gr \cdot Pr)^f \cdot l^{-1} \quad (3.39)$$

где:

$$Gr \cdot Pr = 10,54 \cdot 1,5 \cdot 10^9 = 15,81 \cdot 10^9$$

C_s и f – вспомогательные коэффициенты, зависящие от произведения критериев $Gr \cdot Pr$ [9]. $C_s = 0,135$ $f = 0,33$ [9].

$$\alpha_2 = 0,135 \cdot 0,59 \cdot (15,81 \cdot 10^9)^{0,33} \cdot 1^{-1} = 1175,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\sum (R_{\text{ст}}) = \frac{1}{5800} + \frac{0,012}{15} + \frac{1}{5800} = 0,00114$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1175,2} + 0,00114 + \frac{1}{1288,8}} = 361,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Необходимая поверхность для осуществления охлаждения (стандартизации) экстракта будет равна:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}} \cdot \tau \quad (3.40)$$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}} \cdot \tau} \quad (3.41)$$

$$F = \frac{52923500}{361,4 \cdot 8,2 \cdot 3600} = 4,96 \text{ м}^2$$

где:

τ – время осуществления стандартизации экстракта по производственному регламенту; $\tau = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$

Выбранного реактора с рубашкой достаточно. Запас поверхности теплообмена составляет:

$$\Delta F = \frac{F_{\text{реал}} - F_{\text{расч}}}{F_{\text{расч}}} \cdot 100\% \quad (3.42)$$

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Delta F = \frac{6,2 - 4,96}{4,96} \cdot 100\% = 25\%$$

Таким образом, поскольку поверхность теплообмена у рубашки больше, чем расчётная, позволительно в данном проекте использовать её в качестве теплообменного устройства.

3.4 Конструктивный расчёт

Расчётный диаметр технологического штуцера [17]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} \quad (3.43)$$

где G – массовый расход потока, кг/с; ω – скорость потока, м/с; ρ – плотность поступающего вещества, кг/м³.

Массовые расходы веществ определены в рамках материального баланса аппарата. Скорости потоков в соответствии с рекомендациями [18] принимаются в интервале от 0,5 и до 2 м/с для жидкостей и от 10 до 30 м/с для газообразных веществ. Плотности веществ в потоках принимаются по данным справочника [19]. Размеры стандартных штуцеров примем в соответствии с документом [17]. Для удобства систематизируем данные в таблице 3:

Таблица 3 – Расчёт диаметров технологических штуцеров

Обозначение	Назначение	G, кг/с	ω , м/с	ρ , кг/м ³	d, м	Dy, мм	s, мм	l, мм
А	Ввод смеси в реактор	0,525	0,5	886	0,03	32	3	215
Б	Ввод воды в рубашку	1,213	0,5	1000	0,05	50	3	215
В	Отвод продукта из реактора	0,525	0,5	886	0,03	32	3	215
Г	Отвод воды из рубашки	1,213	0,5	1000	0,05	50	3	215
П	Установка датчика давления					25	3	215
М	Установка датчика температуры					25	3	215
Л	Люк-лаз					250	12	270

где D_u – условный проход штуцера, мм; s – толщина стенки штуцера, мм; l – длина штуцера, мм. Все три величины приняты в соответствии с документом [17].

Таким образом, для реактора были выбраны необходимые технологические штуцера. Дополнительные рекомендации по необходимости и методам укрепления отверстий для этих штуцеров будут даны в рамках механического расчёта.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Механический расчет

Целью механического расчёта химического реактора является определение конструктивных размеров различных элементов аппарата и их проверка по критериям надёжности как в рабочих условиях, так и в условиях испытаний.

Данные критерии разнятся от элемента к элементу, а потому будут предварительно оговариваться в каждом подпункте настоящего раздела. Упрощённый вид аппарата представлен в виде расчётной модели, выполненной в виде рисунка 1в Приложении А.

4.1 Выбор конструкционных материалов

Основными требованиями, которым должны отвечать химические аппараты, являются механическая надёжность, долговечность, конструктивное совершенство, простота изготовления, удобство транспортирования, монтажа и эксплуатации.

В производстве фармацевтических средств согласно требованиям GMP, предъявляться очень высокие требования к чистоте продуктов, поэтому выбор конструкционных материалов для изготовления оборудования является основной задачей. При этом так же еще и учитывается характеристика рабочей среды.

К конструкционным материалам проектируемой аппаратуры предъявляются следующие требования:

- материалы должны быть стойки по отношению к коррозии в агрессивных средах при рабочих параметрах процесса;
- иметь необходимую высокую прочность при заданных рабочих давлениях, температуре и дополнительных нагрузках, возникающих при прочностных испытаниях и эксплуатации аппаратов;
- материалы не должны оказывать влияния на продукт, вступать с ним в химические реакции и обеспечивать чистоту продукта;
- материалы должны быть недороги и доступны.

Кроме того, при выборе конструкционных материалов необходимо учитывать физические свойства материалов (теплопроводность, линейное расширение и т. д.).

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для проведения конструктивно-механического расчёта аппарата необходимо определить материалы следующих его частей:

- детали, подверженные коррозионному воздействию реакционной среды, находящейся в аппарате (корпус, днище, фланец, крышка, соответствующие штуцеры, мешалка, вал и его уплотнение);
- детали, подверженные коррозионному воздействию охлаждающей воды (рубашка, отдельные части корпуса и днища, соответствующие штуцеры);
- крепёжные элементы, не контактирующие с реакционной средой или охлаждающей водой (болты, гайки, шайбы);
- прокладки (в частности, прокладка во фланце).

В связи во всем вышесказанным конструкционные материалы для реактора с мешалкой и теплообменной рубашкой и для крепежного материала выбран сплав нержавеющей стали 12Х18Н10Т, для изолирующего материала фторопласт и силикон.

4.2 Расчет основных характеристик материалов

Средами, воздействующими на стенку цилиндрической обечайки корпуса аппарата, являются охлаждающая вода и экстрагент (этиловый спирт 70 % с извлечениями растительного сырья) с температурами 10 и 20°С соответственно. За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимаем наибольшую температуру стенки элемента с учетом температурных условий, ожидаемых в процессе эксплуатации. При рабочей температуре среды ниже 20°С за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений принимают температуру 20°С. [1]:

$$t_n := 20$$

$$t_p := \max(t_n, 20) \quad (4.1)$$

где:

t_p - расчётная температура, °С;

t_n - рабочая температура, °С

Допускаемое напряжение для аустенитных хромоникелевых сталей [1]:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\eta := 1$$

$$R_{p.0.2.20} := 240$$

$$n_B := 3$$

$$n_T := 1.5$$

$$R_{m.t} := 540$$

$$\sigma_d := \eta \cdot \min\left(\frac{R_{p.0.2.20}}{n_T}, \frac{R_{m.t}}{n_B}\right) \quad (4.2)$$

где:

σ_d - допускаемое напряжение, МПа, η - поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям, $R_{p.0.2.t}$ - минимальное значение условного предела текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной температуре, МПа, $R_{m.t}$ - минимальное значение временного сопротивления при расчетной температуре, МПа, n_T - коэффициент запаса прочности по пределу текучести, n_B - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению [1].

Поправочный коэффициент η принимаем равным 1, поскольку обечайка изготавливается из листового проката, а не из отливки. Коэффициент запаса прочности по пределу текучести и по временному сопротивлению в соответствии с [1 таблица 1] принимаем равными 1,5 и 3. Предел текучести и временного сопротивления принимаем в соответствии [1 таблица Б.8 и Б.9].

Тогда по формуле (4.2), МПа:

$$\sigma_d = 160$$

Для условий гидравлических испытаний коэффициент запаса прочности принимаем равным 1,1. Тогда допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях [1], МПа:

$$\sigma_{d.20} := \eta \cdot \frac{R_{p.0.2.20}}{1.1} = 218.182 \quad (4.3)$$

Модуль продольной упругости определяется по таблице В.1 [1].

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Таким образом, для рабочих испытаний и для условий испытаний модуль упругости для стали 12Х18Н10Т принимаем равным, МПа:

$$E := 2 \cdot 10^5$$

Коэффициент линейного расширения α определяем по таблице Г.1 [1] и принимаем для стали при температуре 0С равным, °С⁻¹:

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

4.3 Определение прибавок к толщине

В соответствии с пособием [2] прибавка к толщине обечайки, крышки днища и т.д. рассчитывается как сумма прибавок на различные виды разрушений. Выделим в формуле три основных слагаемых:

$$c := c_k + c_э + c_d \quad (4.4)$$

где c_k – прибавка к толщине стенки на коррозию, мм; $c_э$ – прибавка к толщине стенки на эрозию, мм; c_d – прибавка к толщине стенки на другие виды разрушений, мм [2]. Прибавка к толщине стенки на коррозию рассчитывается по формуле:

$$П := 0.015$$

$$T_э := 10$$

$$c_k := П \cdot T_э \quad (4.5)$$

где $П$ - глубинный показатель коррозии стали, мм/год; $T_э$ - срок эксплуатации аппарата, год. Значительным коррозионным разрушениям подвержены детали, изготовленные из стали 12Х18Н10Т ввиду контакта с реакционной массой и охлаждающей водой. Показатели глубинной коррозии этих сталей $П$ равными 0,015 мм/год [2]. По пособию [2] принимаем срок эксплуатации $T_э$ равным 10 годам. Таким образом, для сталей, мм:

$$c_k := 0.015 \cdot 10 = 0.15$$

$$c := c_k$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

По рекомендации пособия [2] пренебрежём прибавками к толщине на эрозию и дополнительные виды разрушений и примем общие прибавки для рубашки и обечайки равными 1 мм.

4.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Целью выполнения расчёта является подбор такой толщины стенки цилиндрической обечайки, чтобы была обеспечена прочность данной конструкции.

Название элемента – цилиндрическая обечайка. Номер позиции на расчётной модели – 7. Расчётная схема цилиндрической обечайки представлена на рисунке 3.

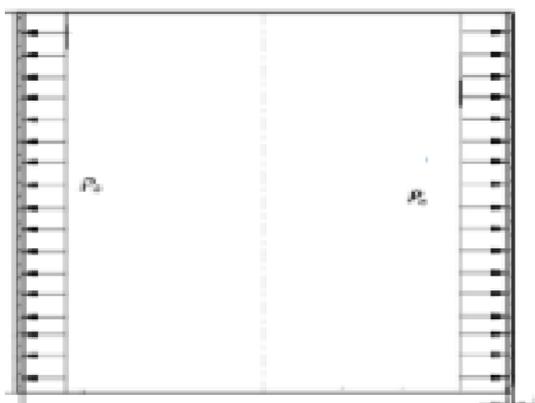


Рисунок 3 – Расчётная схема цилиндрической обечайки

где $P_{в}$ – расчётное внутреннее избыточное давление или пробное давление при гидравлическом испытании, МПа.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [3], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [4].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний диаметр обечайки, мм	$D := 1600$
Внутреннее рабочее давление, МПа	$P_{\text{раб}} := 0.1$
Плотность смеси в реакторе, кг/м ³	$\rho := 886$
Высота заполнения реактора, м	$h_{\text{зап}} := 1.5$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g := 9.807$

Проверкой устойчивости для рабочих условий является выполнение следующего условия:

$$P \leq P_d \quad (4.6)$$

где P - расчётное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа; P_d - допустимое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа.

Проверкой прочности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_n \leq P_{д.и} \quad (4.7)$$

где P_n - расчётное значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа; $P_{д.и}$ - допустимое значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа.

Расчётное давление при рабочих условиях, МПа:

$$P := P_{\text{раб}} + \frac{(\rho \cdot g \cdot h_{\text{зап}})^2}{10^6} \quad (4.8)$$

Тогда расчетное давление:

$$P := 0.25 + \frac{(886 \cdot 9.807 \cdot 1.5)}{10^6} = 0.263$$

Пробное давление для гидравлических испытаний аппарата, МПа:

$$P_n := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д.20}}{\sigma_{д}} = 0.482 \quad (4.9)$$

Расчётная толщина цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним давлением, рассчитывается для рабочих условий и условий гидравлического испытания, после чего выбирается максимальное значение, где ϕ - коэффициент прочности сварного шва, принимаем для цилиндрической обечайки равным 1, мм:

$$\phi := 1$$

$$S_p := \max \left(\frac{P \cdot D}{2\sigma_{д} \cdot \phi - P}, \frac{P_n \cdot D}{2\sigma_{д.20} \cdot \phi - P_n} \right) = 1.646 \quad (4.10)$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм:

$$S \geq S_p + c \quad (4.11)$$

$$c := 1$$

Тогда

$$S := S_p + c = 2.646$$

$$S := 12$$

Примем ближайшее стандартное значение исполнительной толщины обечайки, а именно 12 мм.

Допускаемое давление для рабочих условий, МПа:

$$P_{д.р} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.р} \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} = 2.185 \quad (4.12)$$

Допускаемое давление для условий испытания, МПа:

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.и} \cdot 20 \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (4.13)$$

$$P_{д.и} = 2.98$$

Проверим надежность конструкции для рабочих условий:

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняется"} & \text{if } P \leq P_{д.р} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Условия устойчивости выполняется"}$$

Проверим надежность конструкции для условий гидравлических испытаний:

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } P_{и} \leq P_{д.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} = \text{"Условия прочности выполняется"}$$

Проверим условия применимости расчетных формул:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{(S - c)}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\text{Проверка3} = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$$

$$\frac{(S - c)}{D} = 6.875 \times 10^{-3}$$

Исходя из произведённых расчётов, можно сделать вывод, что принятая исполнительная толщина обечайки, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.5 Расчет толщины стенки эллиптического днища

Целью данного расчёта является подбор такой толщины стенки эллиптического днища, чтобы была обеспечена прочность данной конструкции.

Название элемента – эллиптическое днище. Номер позиции на расчётной модели – 9. Расчётная схема эллиптического днища представлены на рисунке 4.

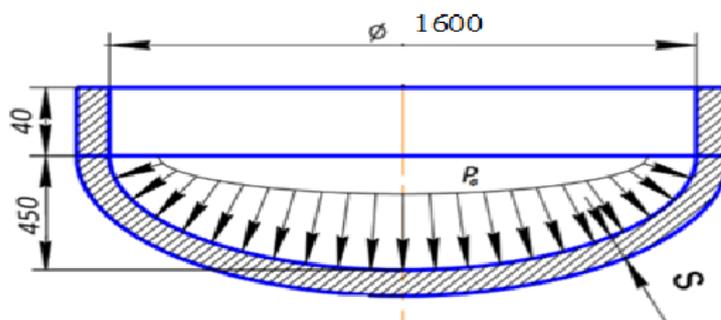


Рисунок 4 - Расчетная схема эллиптического днища

где P_r – расчётное избыточное давление в рабочих условиях или пробное давление в условиях гидравлического испытания, МПа; s – исполнительная толщина эллиптического днища, мм.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [1;3], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [4].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний радиус днища, мм	$R := 1600$
Внутренняя высота выпуклой части днища, мм	$H := 450$
Высота отбортовки днища, мм	$h_0 := 40$
Внутреннее расчётное давление, МПа	$P = 0.263$
Пробное давление при гидравлическом испытании, МПа	$P_{II} = 0.448$
Допускаемое напряжение стали 12X18H10T для рабочих условий, МПа	$\sigma_d = 160$
Допускаемое напряжение стали 12X18H10T для условий гидравлических испытаний, МПа	$\sigma_{d.20} = 218.182$
Прибавка на различные виды разрушений, мм	$c = 1$

Проверкой прочности для рабочих условий является выполнение следующего условия:

$$P \leq P_{д.1} \quad (4.15)$$

где P – расчётное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа; $P_{д1}$ – допускаемое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа.

Проверкой прочности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{и} \leq P_{д.1.и} \quad (4.16)$$

где $P_{и}$ – расчётное значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа; $P_{д1.и}$ – допускаемое значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа.

Расчётная толщина эллиптического днища, нагруженного внутренним давлением, рассчитывается для рабочих условий и условий гидравлического испытания, после чего выбирается максимальное значение:

$$S_{p.1} := \max \left(\frac{P \cdot R}{2\sigma_{д} \cdot \phi - 0.5P}, \frac{P_{и} \cdot R}{2\sigma_{д.20} \cdot \phi - 0.5 \cdot P_{и}} \right) = 1.645 \quad (4.17)$$

где R – внутренний радиус эллиптического днища, мм; P – расчётное давление, МПа; $P_{и}$ – пробное давление при гидравлическом испытании, МПа; $\sigma_{д}$ – допускаемое напряжение материала аппарата при рабочих условиях, МПа; $\sigma_{д.20}$ – допускаемое напряжение материала рубашки при условиях гидравлического испытания, ϕ – коэффициент прочности сварного шва, принимаемый для эллиптического днища равным 1.

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища, мм:

$$s_1 \geq S_{p.1} + c \quad (4.18)$$

Тогда:

$$s_1 := 2.99$$

$$s_1 := 12$$

Принимаем ближайшее стандартное значение исполнительной толщины днища равной 12 мм.

Допускаемое давление для рабочих условий, МПа:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{д.1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.1} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{R + (s_1 - c)} = 2.185 \quad (4.19)$$

Допускаемое давление для условий испытания, МПа:

$$P_{д.1.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{R + (s_1 - c)} = 2.98 \quad (4.20)$$

Проверим надежность конструкции для рабочих условий:

$$\text{Проверка4} := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняется"} & \text{if } P \leq P_{д.1} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка4 = "Условия устойчивости выполняется"

Проверим надежность конструкции для условий гидравлических испытаний:

$$\text{Проверка5} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } P_{и} \leq P_{д.1.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка5 = "Условия прочности выполняется"

Проверим условия применимости расчетных формул:

$$\text{Проверкаб} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{(s_1 - c)}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.21)$$

Проверкаб = "Условие применимости формул выполняется"

$$\frac{(s_1 - c)}{D} = 1.244 \times 10^{-3}$$

Исходя из произведённых расчётов, можно сделать вывод, что принятая исполнительная толщина эллиптического днища, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

4.6 Расчет толщины стенки эллиптической крышки

Целью данного расчёта является подбор такой толщины стенки эллиптической крышки, чтобы была обеспечена прочность данной конструкции.

Название элемента – эллиптическая крышка. Номер позиции на расчётной модели – 8. Расчётная схема эллиптической крышки представлены на рисунке 5.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

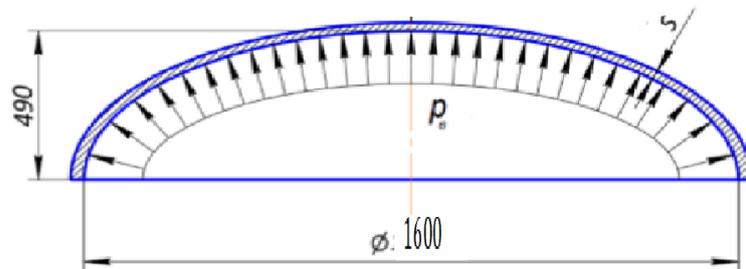


Рисунок 5 – Расчетная схема эллиптической крышки

где: P_v – расчётное избыточное давление в рабочих условиях или пробное давление в условиях гидравлического испытания, МПа; s – исполнительная толщина эллиптического днища, мм.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [1;3], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [4].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний радиус крышки, мм	$R := 1600$
Внутренняя высота выпуклой части крышки, мм	$H := 450$
Высота отбортовки крышки, мм	$h_o := 40$
Внутреннее расчётное давление, МПа	$P = 0.263$
Пробное давление при гидравлическом испытании, МПа	$P_{и} = 0.448$
Допускаемое напряжение стали 12X18Н10Т для рабочих условий, МПа	$\sigma_d = 160$

Проверкой прочности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{и} \leq P_{д.и} \quad (1.22)$$

где:

$P_{и}$ – расчётное значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа; $P_{д.и}$ – допускаемое значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа.

Расчётная толщина эллиптического днища, нагруженного внутренним давлением, рассчитывается для рабочих условий и условий гидравлического испытания, после чего выбирается максимальное значение [3]:

$$S_{p.1} := \max \left(\frac{P \cdot R}{2\sigma_{д.φ} - 0.5P}, \frac{P_{и} \cdot R}{2\sigma_{д.20} \cdot \phi - 0.5 \cdot P_{и}} \right) = 1.645 \quad (4.23)$$

где:

R – внутренний радиус эллиптического днища, мм; P – расчётное давление, МПа; P_и – пробное давление при гидравлическом испытании, МПа; σ_д – допускаемое напряжение материала аппарата при рабочих условиях, МПа; σ_{д.20} – допускаемое напряжение материала рубашки при условиях гидравлического испытания, φ – коэффициент прочности сварного шва, принимаемый для эллиптического днища равным 1 [1, 3].

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища, мм:

$$s_1 \geq S_{p.1} + c \quad (4.24)$$

Тогда:

$$s_1 := 2.99$$

$$s_1 := 12$$

Принимаем ближайшее стандартное значение исполнительной толщины днища равной 12 мм.

Так как крышка нагружена только внутренним давлением, соответственно, крышка рассчитывается только на прочность. Проверим надёжность конструкции только в условиях испытаний.

Допускаемое давление для условий испытания [3], МПа:

$$P_{д.1.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{R + (s_1 - c)} = 2.98 \quad (4.25)$$

Проверим надёжность конструкции для условий гидравлических испытаний:

$$\text{Проверка5} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } P_{и} \leq P_{д.1.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка5 = "Условия прочности выполняется"

Проверим условия применимости расчетных формул:

$$\text{Проверка6} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{(s_1 - c)}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.26)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Проверка = "Условие применимости формул выполняется"

$$\frac{(s_1 - c)}{D} = 1.244 \times 10^{-3}$$

Исходя из произведённых расчётов, можно сделать вывод, что принятая исполнительная толщина эллиптического крышки, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

4.7 Расчет толщины стенки гладкой теплообменной рубашки

Целью данного расчёта является подбор такой толщины стенки рубашки, чтобы была обеспечена прочность данных конструкций.

Названия элементов – цилиндрическая обечайка и днище гладкой теплообменной рубашки. Номера позиций на расчётной модели – 10 и 11.

Расчётные схемы для обечайки и днища рубашки представлены на рисунках 6 и 7.

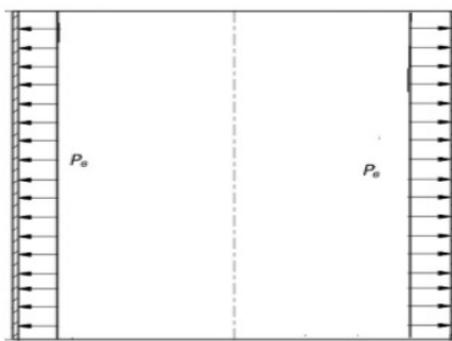


Рисунок 6 – Расчётная схема обечайки теплообменной рубашки

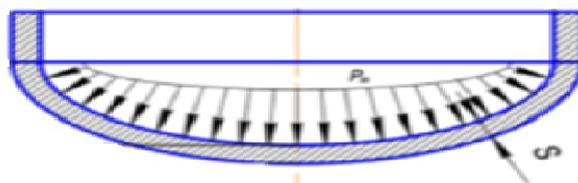


Рисунок 7 – Расчётная схема днища теплообменной рубашки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [3], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии [4].

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Исходные данные для расчёта:

Внутренний диаметр рубашки, мм	$D_p := 1700$
Внутренний радиус эллиптического элемента рубашки, мм	$R_p := 1700$
Высота отбортовки днища рубашки, мм	$h_{\text{отв}} := 40$
Внутреннее рабочее давление, МПа	$P_p := 0.6$
Пробное давление при гидравлическом испытании, МПа	$P_{\text{и}} = 0.482$
Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для рабочих условий, МПа	$\sigma_d = 160$
Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для условий гидравлических испытаний, МПа	$\sigma_{d.20} = 218.182$
Прибавка на различные виды разрушений, мм	$c = 1$

Проверкой прочности для рабочих условий является выполнение следующего условия:

$$P_p \leq P_{d.p} \quad (4.27)$$

где P_p – расчётное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа; $P_{d.p}$ – допускаемое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа.

Проверкой прочности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{p.и} \leq P_{d.p.и} \quad (4.28)$$

где $P_{p.и}$ – расчётное значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа; $P_{d.p.и}$ – допускаемое значение внутреннего давления при гидравлических испытаниях, МПа.

Пробное давление для гидравлических испытаний рубашки:

$$P_{p.и} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{d.20}}{\sigma_d} = 1.023 \quad (4.29)$$

Принимаем в качестве значения пробного давления минимально допустимое, а именно 0,2 МПа.

Расчетная толщина цилиндрической обечайки рубашки, нагруженной внутренним давлением, рассчитывается для рабочих условий и условий

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

гидравлического испытания, после чего выбирается максимальное значение.

$$S_{p.p.} := \max \left(\frac{P_p \cdot D_p}{2\sigma_d \cdot \phi - P_p}, \frac{P_{p.и} \cdot R_p}{2\sigma_d \cdot 20 \cdot \phi - P_{p.и}} \right) = 3.994 \quad (4.30)$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки рубашки, мм:

Тогда:

$$s_p \geq S_{p.p.} + c \quad +$$

$$s_p := 3.994 + 1 = 4.994 \quad (4.31)$$

$$s_p := 12$$

Для соблюдения условий прочности конструкции принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической рубашки равной 12 мм.

Допускаемое давление для рабочих условий, МПа:

$$P_{д.р.} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_p - c)}{D_p + (s_p - c)} = 2.057 \quad (4.32)$$

Допускаемое давление для условий испытания, МПа:

$$P_{д.р.и} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot 20 \cdot \phi \cdot (s_p - c)}{D_p + (s_p - c)} = 2.805 \quad (4.33)$$

Расчетная толщина эллиптического элемента рубашки, нагруженной внутренним давлением, рассчитывается для рабочих условий и условий гидравлического испытания, после чего выбирается максимальное значение.

$$S_{1.p.p.} := \max \left(\frac{P_p \cdot R_p}{2\sigma_d \cdot \phi - 0.5 \cdot P_p}, \frac{P_{p.и} \cdot R_p}{2\sigma_d \cdot 20 \cdot \phi - 0.5 \cdot P_{p.и}} \right) = 3.989 \quad (4.34)$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического элемента рубашки, мм:

$$s_{1.p} \geq S_{1.p.p.} + c \quad (4.35)$$

Тогда:

$$s_{1.p} := 3.989 + 1 = 4.989 \quad s_{1.p} := 12$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Для соблюдения прочности конструкции принимаем исполнительской толщины стенки цилиндрической рубашки равной 12 мм.

Допускаемое давление для рабочих условий, МПа:

$$P_{д.р.} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.} \cdot \phi \cdot (s_{1.p.} - c)}{R_p + (s_{1.p.} - c)} = 2.057 \quad (4.36)$$

Допускаемое давление для условий испытания, МПа:

$$P_{д.р.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{д.20} \cdot \phi \cdot (s_{1.p.} - c)}{R_p + (s_{1.p.} - c)} = 2.805 \quad (4.37)$$

Проверим надежность конструкции для рабочих условий:

$$\text{Проверка7} := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняется"} & \text{if } P_p \leq P_{д.р.} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка7 = "Условия устойчивости выполняется"

$$\text{Проверка8} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_p \leq P_{д.р.} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка8 = "Условие прочности выполняется"

Проверим надежность конструкции для условий гидравлических испытаний:

$$\text{Проверка9} := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняется"} & \text{if } P_{р.и} \leq P_{д.р.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка9 = "Условия устойчивости выполняется"

$$\text{Проверка10} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{р.и} \leq P_{д.р.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка10 = "Условие прочности выполняется"

Проверим условия применимости расчетных формул:

$$\text{Проверка11} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{(s_{p.} - c)}{D_p} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.38)$$

Проверка11 = "Условие применимости формул выполняется"

$$\frac{(s_{p.} - c)}{D_n} = 6.471 \times 10^{-3}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исходя из произведённых расчётов, можно сделать вывод, что принятая исполнительная толщина эллиптического днища и крышки, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

4.8 Расчет сопряжения обечайки корпуса с днища

Целью выполнения расчёта является прочностная проверка того, выдержит ли соединение цилиндрической обечайки с днищем возникающих при сопряжении краевых напряжений.

Названия элементов – цилиндрическая обечайка корпуса, эллиптическое днище корпуса. Номера позиций на расчётной модели – 7 и 9.

Расчётная схема сопряжения цилиндрической обечайки с эллиптическим днищем представлена на рисунке 8.

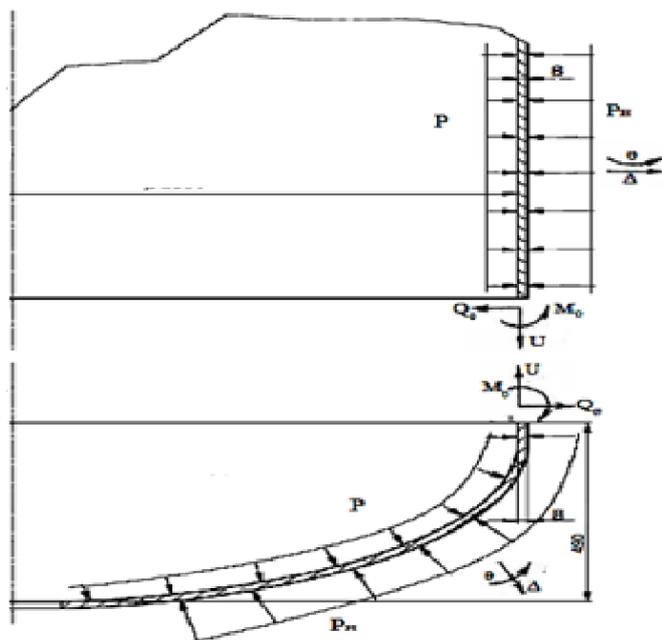


Рисунок 8 - Расчетная схема сопряжения обечайки с эллиптическим днищем
 P - внутреннее давление, действующее на обечайки со стороны среды в аппарате, Па; P_n - внешнее давление, действующее на обечайки со стороны теплоносителя в рубашке, Па; Q_0 - краевая сила, действующая на соединённые обечайки, Н/м; M_0 - краевой момент, действующий на соединённые обечайки, Н*м; U - радиальное усилие на краю обечаек, Н; Δ - краевые радиальные деформации обечаек от действия краевых нагрузок, усилий и моментов, м; θ - краевые угловые деформации обечаек от действия краевых нагрузок, усилий и моментов, °.

Все расчеты произведены в соответствии с пособием [9]. Формулы для определения радиальных и угловых деформаций берутся в соответствии с таблицей из пособия [4].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний диаметр аппарата, м	$D := 1.6$
Высота аппарата, м	$H := 1.915$
Толщина стенки обечайки аппарата, м	$s := 0.012$
Толщина стенки днища, м	$s_{\text{дн}} := 0.012$
Рабочее давление в корпусе, Па	$P := 100000$
Рабочее давление в рубашке, Па	$P_{\text{р.}} := 60000$
Рабочая температура среды, воздействующей на сопряжение, °С	$t_{\text{с}} := 20$
Коэффициент прочности сварных швов, безмерный	$\phi = 1$
Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для рабочих условий, МПа	$\sigma_{\text{д}} = 160$
Коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий	$n_{\text{р}} := 2.4$
Коэффициент запаса устойчивости, для условий испытаний	$n_{\text{и}} := 1.8$
Модуль упругости стали 2Х18Н10Т при рабочей температуре среды, Па	$E := 2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для стали	$\mu := 0.3$
Прибавка на различные виды разрушений, мм	$c := 1$

Условием прочности соединения цилиндрической обечайки с днищем является выполнение следующего условия:

$$\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{кр.д}} \quad (4.39)$$

где σ_{max} - максимальное напряжение, возникающее на краю оболочки, Па; $\sigma_{\text{кр.д}}$ - допускаемое краевое напряжение, Па.

Для определения Q_0 и M_0 составляются уравнения совместности радиальных и угловых деформаций. Сущность этих уравнений в том, что для нормальной работы аппарата в узле сопряжения не должно быть никаких относительных

перемещений сопрягаемых деталей. Уравнения совместности деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем при воздействии внутреннего и внешнего давления:

$$\begin{aligned} -\Delta_p^{\text{ц}} + \Delta_{Q_0}^{\text{ц}} - \Delta_{M_0}^{\text{ц}} &= -\Delta_p^{\text{э}} - \Delta_{Q_0}^{\text{э}} - \Delta_{M_0}^{\text{э}} \\ -\theta_p^{\text{ц}} + \theta_{Q_0}^{\text{ц}} - \theta_{M_0}^{\text{ц}} &= -\theta_p^{\text{э}} + \theta_{Q_0}^{\text{э}} + \theta_{M_0}^{\text{э}} \end{aligned} \quad (4.40)$$

где $\Delta_p^{\text{ц}}$, $\Delta_{Q_0}^{\text{ц}}$, $\Delta_{M_0}^{\text{ц}}$, $\theta_p^{\text{ц}}$, $\theta_{Q_0}^{\text{ц}}$, $\theta_{M_0}^{\text{ц}}$ – соответственно радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки под действием нагрузок p , Q_0 и M_0 соответственно; где $\Delta_p^{\text{э}}$, $\Delta_{Q_0}^{\text{э}}$, $\Delta_{M_0}^{\text{э}}$, $\theta_p^{\text{э}}$, $\theta_{Q_0}^{\text{э}}$, $\theta_{M_0}^{\text{э}}$ – соответственно радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки под действием нагрузок p , Q_0 и M_0 соответственно.

Для определения Q_0 и M_0 составляются уравнения совместности радиальных и угловых деформаций. Сущность этих уравнений в том, что для нормальной работы аппарата в узле сопряжения не должно быть никаких относительных перемещений сопрягаемых деталей.

Уравнения совместности деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем:

$$R := \frac{D}{2} \quad (4.41)$$

$$a := \frac{D}{2} \quad (4.42)$$

$$b := \frac{D}{4} \quad (4.43)$$

Определение коэффициентов уравнений совместности радиальных и угловых деформаций:

$$\beta := \frac{\sqrt[4]{\frac{3 \cdot (1 - \mu^2)}{[R \cdot (s - c)]^2}}}{\sqrt{[R \cdot (s - c)]^2}} \quad (4.44)$$

$$\beta = 1.446$$

$$\beta_{\text{э}} := \frac{\sqrt[4]{\frac{3 \cdot (1 - \mu^2)}{[a \cdot (s_{\text{э}} - c)]^2}}}{\sqrt{[a \cdot (s_{\text{э}} - c)]^2}} \quad (4.45)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$\beta_3 = 1.446$$

$$\Delta_{\text{цРР}} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E(s - c)} \cdot P_P \quad (4.46)$$

$$\Delta_{\text{цРР}} = -2.753 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{цР}} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E(s - c)} \cdot P \quad (4.47)$$

$$\Delta_{\text{цР}} = -7.241 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{цQ0}} := 2 \cdot \beta \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E} \quad (4.48)$$

$$\Delta_{\text{цQ0}} = -9.366 \times 10^{-6}$$

$$\Delta_{\text{цM0}} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E} \quad (4.49)$$

$$\Delta_{\text{цM0}} = -1.354 \times 10^{-5}$$

$$\Delta_{\text{эРР}} := P_P \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\text{э}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) \quad (4.50)$$

$$\Delta_{\text{эРР}} = 3.725 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{эР}} := P \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\text{э}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) \quad (4.51)$$

$$\Delta_{\text{эР}} = 9.797 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{эQ0}} := 2 \cdot \beta_3 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad (4.52)$$

$$\Delta_{\text{эQ0}} = -9.366 \times 10^{-6}$$

$$\Delta_{\text{эM0}} := 2 \cdot \beta_3^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad (4.53)$$

$$\Delta_{\text{эM0}} = -1.354 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{цРР}} := 0$$

$$\theta_{\text{цP}} := 0$$

$$\theta_{\text{эPp}} := 0$$

$$\theta_{\text{эP}} := 0$$

$$\theta_{\text{цQ0}} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E} \quad (4.54)$$

$$\theta_{\text{цQ0}} = -1.354 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{цM0}} := 4 \cdot \beta^3 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E} \quad (4.55)$$

$$\theta_{\text{цM0}} = -3.916 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{эQ0}} := 2 \cdot \beta_{\text{э}}^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad (4.56)$$

$$\theta_{\text{эQ0}} = -1.354 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{эM0}} := 4 \cdot \beta_{\text{э}}^3 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad (4.57)$$

$$\theta_{\text{эM0}} = -3.916 \times 10^{-5}$$

Решение уравнений совместности радиальных и угловых деформаций, Н/м;
Н*м/м по формуле 1.40:

$$Q_0 := 0$$

$$M_0 := 0$$

Given

$$-\Delta_{\text{цPp}} + \Delta_{\text{цP}} - \Delta_{\text{цQ0}} \cdot Q_0 + \Delta_{\text{цM0}} \cdot M_0 = -\Delta_{\text{эPp}} + \Delta_{\text{эP}} + \Delta_{\text{эQ0}} \cdot Q_0 + \Delta_{\text{эM0}} \cdot M_0$$

$$-\theta_{\text{цPp}} + \theta_{\text{цP}} - \theta_{\text{цQ0}} \cdot Q_0 + \theta_{\text{цM0}} \cdot M_0 = \theta_{\text{эPp}} - \theta_{\text{эP}} - \theta_{\text{эQ0}} \cdot Q_0 - \theta_{\text{эM0}} \cdot M_0$$

$$V := \text{Find}(Q_0, M_0)$$

$$Q_0 := V_0$$

$$Q_0 = 0.056$$

$$M_0 := V_1$$

$$M_0 = 0$$

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066629.001 ПЗ					

Вычисление напряжений на краю эллиптического днища и цилиндрической обечайки:

Суммарные напряжения на краю эллиптического днища, Па:

- меридиональное:

$$\sigma_{mэ1} := -P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{э.} - c)^2} \quad (4.58)$$

$$\sigma_{mэ1} = -0.066$$

$$\sigma_{mэ2} := -P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{э.} - c)^2} \quad (4.59)$$

$$\sigma_{mэ2} = -0.066$$

$$\sigma_{mэ} := \max(|\sigma_{mэ1}|, |\sigma_{mэ2}|) \quad (4.60)$$

$$\sigma_{mэ} = 0.066$$

- кольцевое:

$$\sigma_{тэ} = -\sigma_{Pptэ} + \sigma_{Ptэ} + \sigma_{Q0tэ} + \sigma_{M0tэ} \quad (4.61)$$

$$\sigma_{тэ1} := -P_p \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + P_p \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + 2 \cdot Q_0 \cdot \beta_{э} \cdot \frac{a}{(s_{э.} - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta_{э}^2 \cdot \frac{a}{(s_{э.} - c)} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_{э.} - c)^2}$$

$$\sigma_{тэ2} := -P_p \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + P_p \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_{э.} - c)]} + 2 \cdot Q_0 \cdot \beta_{э} \cdot \frac{a}{(s_{э.} - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta_{э}^2 \cdot \frac{a}{(s_{э.} - c)} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_{э.} - c)^2}$$

$$\sigma_{тэ} := \max(|\sigma_{тэ1}|, |\sigma_{тэ2}|) \quad (4.62)$$

$$\sigma_{тэ} = 0$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки, Па:

- меридиональное:

$$\sigma_{mo} = -\sigma_{Ppmo} + \sigma_{Pmo} - \sigma_{Q0mo} + \sigma_{M0mo} \quad (4.63)$$

$$\sigma_{mo1} := -P_p \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} + P_p \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} - 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2} \quad (4.64)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$\sigma_{mo1} = -0.066$$

$$\sigma_{mo2} := -P_p \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} + P \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} - 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2} \quad (4.65)$$

$$\sigma_{mo2} = -0.066$$

$$\sigma_{mo} := \max(|\sigma_{mo1}|, |\sigma_{mo2}|) \quad (4.66)$$

$$\sigma_{mo} = 0.066$$

- кольцевое:

$$\sigma_{to} = -\sigma_{Ppto} + \sigma_{Pto} - \sigma_{Q0to} + \sigma_{M0to} \quad (4.67)$$

$$\sigma_{to1} := -P_p \cdot \frac{R}{(s - c)} + P \cdot \frac{R}{(s - c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s - c)} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2} \quad (4.68)$$

$$\sigma_{to2} := -P_p \cdot \frac{R}{(s - c)} + P \cdot \frac{R}{(s - c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s - c)} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2} \quad (4.69)$$

$$\sigma_{to} := \max(|\sigma_{to1}|, |\sigma_{to2}|) \quad (4.70)$$

$$\sigma_{to} = 0$$

Проверка условия прочности для узла сопряжения обечайки и днища:

Допускаемое напряжение на краю элемента, Па:

$$\sigma_{кр.д} := 1.3 \cdot \sigma_d \quad (4.71)$$

$$\sigma_{кр.д} = 208$$

Максимальное напряжение на краю, Па:

- эллиптического днища

$$\sigma_{maxэ} := \max(\sigma_{мэ}, \sigma_{тэ}) \quad (4.72)$$

$$\sigma_{maxэ} = 0.066$$

- цилиндрической обечайки:

$$\sigma_{maxо} := \max(\sigma_{мо}, \sigma_{то}) \quad (4.73)$$

$$\sigma_{maxо} = 0.066$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условия прочности для эллиптического днища и цилиндрической обечайки.

$$\text{Проверка12} := \begin{cases} \text{"условие прочности для края эллиптического днища выполняется"} & \text{if } (\sigma_{\text{кр.д}}) \geq \sigma_{\text{maxэ}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка12 = "условие прочности для края эллиптического днища выполняется"

$$\text{Проверка13} := \begin{cases} \text{"условие прочности для края цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } (\sigma_{\text{кр.д}}) \geq \sigma_{\text{maxо}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка13 = "условие прочности для края цилиндрической обечайки выполняется"

Условие прочности выполняется. Делаем вывод, что принятая исполнительная толщина цилиндрической обечайки и эллиптического днища корпуса, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

4.9 Расчет сопряжения обечайки рубашки с днища

Цель проведения данного расчета, это убедиться в том, что соединение цилиндрической обечайки рубашки с днищем выдержит возникающих при сопряжении краевых напряжений.

Названия элементов – цилиндрическая обечайка рубашки, эллиптическое днище рубашки. Номера позиций на расчётной модели – 10 и 11.

Расчётная схема сопряжения цилиндрической обечайки рубашки с её эллиптическим днищем представлена на рисунке 9.

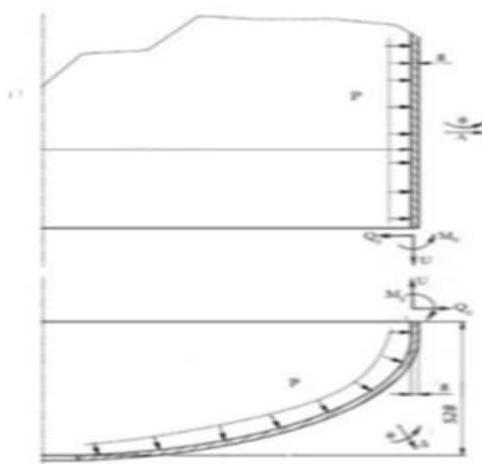


Рисунок 9 – Расчётная схема сопряжения цилиндрической обечайки рубашки с её эллиптическим днищем

P – внутреннее давление, действующее на обечайки со стороны теплоносителя в рубашке, Па; Q_0 – краевая сила, действующая на соединённые обечайки, Н/м; M_0 – краевой момент, действующий на соединённые обечайки, Н*м; U – радиальное усилие на краю обечаек, Н; Δ – краевые радиальные деформации обечаек от действия краевых нагрузок, усилий и моментов, м;
 θ – краевые угловые деформации обечаек от действия краевых нагрузок, усилий и моментов, °.

Расчеты проведены в соответствии с пособием [9].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний диаметр аппарата, м	$D := 1.6$
Высота аппарата, м	$H := 1.915$
Толщина стенки обечайки аппарата, м	$s := 0.012$
Толщина стенки днища, м	$s_{dw} := 0.012$
Рабочее давление в корпусе, Па	$P := 100000$
Рабочее давление в рубашке, Па	$P_r := 60000$
Рабочая температура среды, воздействующей на сопряжение, °С	$t_c := 20$
Коэффициент прочности сварных швов, безмерный	$\phi = 1$
Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для рабочих условий, МПа	$\sigma_d = 160$
Коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий	$n_p := 2.4$
Коэффициент запаса устойчивости, для условий испытаний	$n_H := 1.8$
Модуль упругости стали 2Х18Н10Т при рабочей температуре среды, Па	$E := 2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для стали	$\mu := 0.3$
Прибавка на различные виды разрушений, мм	$c := 1$

Условием прочности соединения цилиндрической обечайки с днищем является выполнение следующего условия:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{кр.д} \quad (4.74)$$

Уравнения совместности деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем расчет проведем по формулам 4.41-4.43:

$$R := \frac{D}{2}$$

$$a := \frac{D}{2}$$

$$b := \frac{D}{4}$$

Определение коэффициентов уравнений совместности радиальных и угловых деформаций расчет проведем по формулам 4.44-4.57:

$$\beta := \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{[R \cdot (s - c)]^2}}$$

$$\beta = 1.403$$

$$1/M$$

$$\beta_{\text{э}} := \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{[a \cdot (s_{\text{э}} - c)]^2}}$$

$$\beta_{\text{э}} = 1.403$$

$$1/M$$

$$\Delta_{\text{цРр}} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s - c)} \cdot P_{\text{Р}}$$

$$\Delta_{\text{цРр}} = -3.108 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{цР}} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s - c)} \cdot P$$

$$\Delta_{\text{цР}} = -8.175 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{цQ0}} := 2 \cdot \beta \cdot \frac{R^2}{(s - c)} \cdot E$$

$$\Delta_{\text{цQ0}} = -1.026 \times 10^{-5}$$

$$\Delta_{\text{цM0}} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c)} \cdot E$$

$$\Delta_{\text{ц}M0} = -1.439 \times 10^{-5}$$

$$\Delta_{\text{э}Dp} := P_p \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\text{э}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right)$$

$$\Delta_{\text{э}Dp} = 4.205 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{\text{э}D} := P \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\text{э}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right)$$

$$\Delta_{\text{э}D} = 1.106 \times 10^{-6}$$

$$\Delta_{\text{э}Q0} := 2 \cdot \beta_{\text{э}} \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\text{э}Q0} = -1.026 \times 10^{-5}$$

$$\Delta_{\text{э}M0} := 2 \cdot \beta_{\text{э}}^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\text{э}M0} = -1.439 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{ц}Dp} := 0$$

$$\theta_{\text{ц}D} := 0$$

$$\theta_{\text{э}Dp} := 0$$

$$\theta_{\text{э}D} := 0$$

$$\theta_{\text{ц}Q0} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E}$$

$$\theta_{\text{ц}Q0} = -1.439 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{ц}M0} := 4 \cdot \beta^3 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E}$$

$$\theta_{\text{ц}M0} = -4.036 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\text{э}Q0} := 2 \cdot \beta_{\text{э}}^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E}$$

$$\theta_{\text{э}Q0} = -1.439 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{\varepsilon M_0} := 4 \cdot \beta_{\varepsilon}^3 \cdot \frac{a^2}{(s_{\varepsilon} - c) \cdot E}$$

$$\theta_{\varepsilon M_0} = -4.036 \times 10^{-5}$$

Решение уравнений совместности радиальных и угловых деформаций, Н/м;

$\frac{H \cdot M}{M}$ расчет проведем по формулам 1.58-1.73:

$$Q_0 := 0$$

$$M_0 := 0$$

Given

$$-\Delta_{\text{цP}} + \Delta_{\text{цP}} - \Delta_{\text{цQ}_0} \cdot Q_0 + \Delta_{\text{цM}_0} \cdot M_0 = -\Delta_{\varepsilon P} + \Delta_{\varepsilon P} + \Delta_{\varepsilon Q_0} \cdot Q_0 + \Delta_{\varepsilon M_0} \cdot M_0$$

$$-\theta_{\text{цP}} + \theta_{\text{цP}} - \theta_{\text{цQ}_0} \cdot Q_0 + \theta_{\text{цM}_0} \cdot M_0 = \theta_{\varepsilon P} - \theta_{\varepsilon P} - \theta_{\varepsilon Q_0} \cdot Q_0 - \theta_{\varepsilon M_0} \cdot M_0$$

$$V := \text{Find}(Q_0, M_0)$$

$$Q_0 := V_0$$

$$Q_0 = 0.058$$

$$M_0 := V_1$$

$$M_0 = 0$$

Вычисление напряжений на краю эллиптического днища и цилиндрической обечайки

Суммарные напряжения на краю эллиптического днища, Па:

- меридиональное:

$$\sigma_{m\varepsilon} = -\sigma_{Pm\varepsilon} + \sigma_{Pm\varepsilon} + \sigma_{Q_0m\varepsilon} + \sigma_{M_0m\varepsilon}$$

$$\sigma_{m\varepsilon 1} := -P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\varepsilon} - c)]} + P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\varepsilon} - c)]} + 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{\varepsilon} - c)^2}$$

$$\sigma_{m\varepsilon 1} = -0.07$$

$$\sigma_{m\varepsilon 2} := -P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\varepsilon} - c)]} + P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\varepsilon} - c)]} + 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{\varepsilon} - c)^2}$$

$$\sigma_{m\varepsilon 2} = -0.07$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$\sigma_{m\alpha} := \max(|\sigma_{m\alpha 1}|, |\sigma_{m\alpha 2}|)$$

$$\sigma_{m\alpha} = 0.07$$

- КОЛЬЦЕВОЕ:

$$\sigma_{t\alpha} = -\sigma_{Ppt\alpha} + \sigma_{Pt\alpha} + \sigma_{Q0t\alpha} + \sigma_{M0t\alpha}$$

$$\sigma_{t\alpha 1} := -P \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_{\alpha} - c)} + P \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_{\alpha} - c)} + 2 \cdot Q_0 \cdot \beta_{\alpha} \cdot \frac{a}{(s_{\alpha} - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta_{\alpha}^2 \cdot \frac{a}{(s_{\alpha} - c)} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_{\alpha} - c)^2}$$

$$\sigma_{t\alpha 2} := -P \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_{\alpha} - c)} + P \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s_{\alpha} - c)} + 2 \cdot Q_0 \cdot \beta_{\alpha} \cdot \frac{a}{(s_{\alpha} - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta_{\alpha}^2 \cdot \frac{a}{(s_{\alpha} - c)} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_{\alpha} - c)^2}$$

$$\sigma_{t\alpha} := \max(|\sigma_{t\alpha 1}|, |\sigma_{t\alpha 2}|)$$

$$\sigma_{t\alpha} = 0$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки, Па:

- меридиональное:

$$\sigma_{m\alpha} = -\sigma_{Ppm\alpha} + \sigma_{Pm\alpha} - \sigma_{Q0m\alpha} + \sigma_{M0m\alpha}$$

$$\sigma_{m\alpha 1} := -P \cdot \frac{R}{2 \cdot (s - c)} + P \cdot \frac{R}{2 \cdot (s - c)} - 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{m\alpha 1} = -0.07$$

$$\sigma_{m\alpha 2} := -P \cdot \frac{R}{2 \cdot (s - c)} + P \cdot \frac{R}{2 \cdot (s - c)} - 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{m\alpha 2} = -0.07$$

$$\sigma_{m\alpha} := \max(|\sigma_{m\alpha 1}|, |\sigma_{m\alpha 2}|)$$

$$\sigma_{m\alpha} = 0.07$$

- КОЛЬЦЕВОЕ:

$$\sigma_{t\alpha} = -\sigma_{Ppto} + \sigma_{Pto} - \sigma_{Q0to} + \sigma_{M0to}$$

$$\sigma_{t\alpha 1} := -P \cdot \frac{R}{(s - c)} + P \cdot \frac{R}{(s - c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s - c)} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$\sigma_{to2} := -P \cdot \frac{R}{(s-c)} + P \cdot \frac{R}{(s-c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s-c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s-c)} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s-c)^2}$$

$$\sigma_{to} := \max(|\sigma_{to1}|, |\sigma_{to2}|)$$

$$\sigma_{to} = 0$$

Проверка условия прочности для узла сопряжения обечайки и днища

Допускаемое напряжение на краю элемента, Па:

$$\sigma_{кр.д} := 1.3 \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_{кр.д} = 208$$

Максимальное напряжение на краю, Па:

- эллиптического днища

$$\sigma_{maxэ} := \max(\sigma_{mэ}, \sigma_{tэ})$$

$$\sigma_{maxэ} = 0.07$$

- цилиндрической обечайки:

$$\sigma_{maxо} := \max(\sigma_{mо}, \sigma_{tо})$$

$$\sigma_{maxо} = 0.07$$

Проверка условия прочности для эллиптического днища и цилиндрической обечайки.

$$\text{Проверка14} := \begin{cases} \text{"условие прочности для края эллиптического днища выполняется"} & \text{if } (\sigma_{кр.д}) \geq \sigma_{maxэ} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка14 = "условие прочности для края эллиптического днища выполняется"

$$\text{Проверка15} := \begin{cases} \text{"условие прочности для края цилиндрической обечайки рубашки выполняется"} & \text{if } (\sigma_{кр.д}) \geq \sigma_{maxо} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка15 = "условие прочности для края цилиндрической обечайки рубашки выполняется"

Условие прочности выполняется. Делаем вывод, что принятая исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки и эллиптического днища рубашки, равная 12 мм, обеспечивает надёжность конструкции.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.9 Расчет сопряжения рубашки с корпусом

Целью выполнения расчёта является проверка надёжности конструкции сопряжения теплообменной рубашки с корпусом аппарата.

Названия элементов – цилиндрическая обечайка корпуса, гладкая теплообменная рубашка. Номера позиций на расчётной модели – 7 и 10.

Расчётная схема сопряжения цилиндрической обечайки с теплообменной рубашкой представлена на рисунке 10.

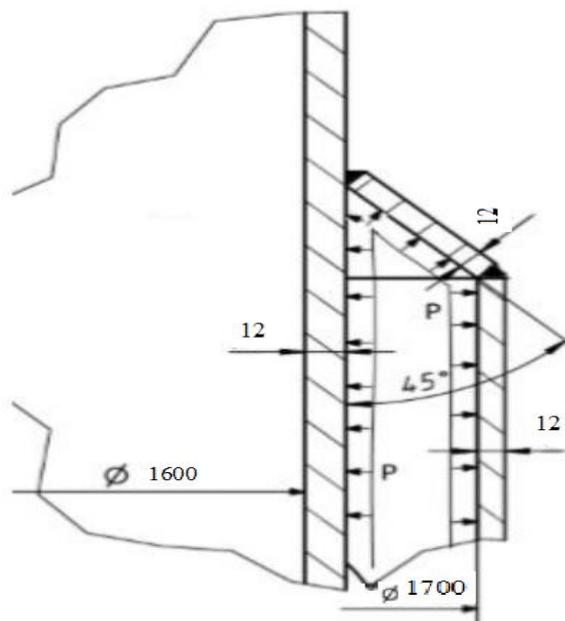


Рисунок 10 – Расчётная схема сопряжения цилиндрической обечайки с гладкой теплообменной рубашкой, P – внутреннее давление теплоносителя в рубашке Мпа.

Расчеты проведены в соответствии с пособием [5].

Исходные данные для расчёта:

Внутренний диаметр аппарата, мм	$D_1 := 1600$
Внутренний диаметр рубашки, мм	$D_2 := 1700$
Диаметр сопряжения рубашки с корпусом у днища, мм [5]	$d_1 := 280$
Толщина стенки обечайки аппарата, мм	$s_1 := 12$
Толщина стенки обечайки рубашки, мм	$s_2 := 12$
Прибавка к толщине стенки, мм	$c = 1$
Угол сопряжения, ° [5];	$\alpha := 45$

Расстояние от середины стенки рубашки до наружной стенки $e_0 := 71$ аппарата, мм, [5];

Расчётное давление в аппарате, МПа $P = 0.263$

Рабочее давление в рубашке, МПа $P_{p.} := 0.6$

Условием прочности является выполнение следующего условия:

$$P_{руб} \leq P_{д.руб} \quad (4.74)$$

где $P_{руб}$ – расчётное давление в рубашке при рабочих условиях, МПа; $P_{д.руб}$ – допускаемое давление в рубашке при рабочих условиях, МПа.

В соответствии с рекомендациями стандарта [5] был выбран тип сопряжения рубашки с корпусом при помощи конуса. Исполнительная толщина стенки сопряжения рассчитывается методом итераций в соответствии с методикой стандарта [5].

В первом приближении принимаем толщину сопряжения равной толщине стенки теплообменной рубашки. Вычислим по формулам стандарта [5] вспомогательные параметры.

Коэффициент осевого усилия:

$$A := \frac{(D_1 \cdot D_2 - d_1^2)}{D_2^2} = 0.914 \quad (4.75)$$

Коэффициент, учитывающий расстояние между корпусом сосуда и рубашкой:

$$\epsilon_w := \frac{e_0}{\sqrt{D_2 \cdot (s_2 - c)}} = 0.519 \quad (4.76)$$

Коэффициент радиуса конической отбортовки ρ принимаем равным нулю в соответствии с приложением А. Коэффициент длины сопряжения при угле сопряжения 45° :

$$\rho := 0$$

$$\lambda := \epsilon \cdot \sqrt{2} + 0.45 \cdot \rho = 0.734 \quad (4.77)$$

Коэффициент отношения прочности корпуса сосуда и рубашки:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\chi := 1.25 \left[\frac{[\sigma_D \cdot (s_1 - c) \cdot \sqrt{D_1 \cdot (s_1 - c)}]}{[\sigma_D \cdot (s_2 - c) \cdot \sqrt{D_2 \cdot (s_2 - c)}]} \right] \left[\sqrt{1 - \frac{(P \cdot D_1)}{2 \cdot \sigma_D \cdot (s_1 - c)}} + \sqrt{1 - \frac{(P - P_p \cdot D_1)}{2 \cdot \sigma_D \cdot (s_1 - c)}} \right] = 2.506 \quad (4.78)$$

В виду того, что марки стали для корпуса и рубашки одинаковы принимаем расчётные коэффициенты прочности сварного шва:

$$\phi_1 := 1$$

Относительная эффективная несущая длина конуса:

$$\mu := \min \left[\frac{\varepsilon}{\sin(\alpha)}, \sqrt{\frac{(\phi_1 + \phi)}{4 \cdot \cos(\alpha)}} \right] = 0.61 \quad (4.79)$$

Коэффициент сопряжения с помощью конуса:

$$B := 2 \cdot \sqrt{\frac{(s_2 - c)}{D_2}} \cdot \min(X_1, X_2, X_3) \quad (4.80)$$

где X1, X2, X3 – вспомогательные величины, определяемые относительно коэффициентов f1, f2, f3, f4 [5].

Первый коэффициент при выполнении условия:

$$\lambda_{\text{min}} := 0.928 > \frac{\chi - 1}{2} \quad (4.81)$$

$$\lambda_{\text{min}} := 1.608$$

рассчитывается по следующей формуле:

$$f_1 := 1 \cdot \left[1 + \lambda + \chi - \frac{(\chi - 1)^2}{4\lambda} \right] = 4.761 \quad (4.82)$$

Формула второго коэффициента выбирается исходя из угла сопряжения.

Предварительно рассчитываются следующие вспомогательные величины:

$$\varepsilon_0 := 0.60 \cdot \sqrt{1 + 0.83 \cdot \rho + 0.37 \cdot \rho^2} = 0.6 \quad (4.83)$$

Поскольку ε больше, чем ε_0 , следующий вспомогательный параметр рассчитывается по формуле [5]:

$$z := 2 \cdot \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon} \right) = 2.311 \quad (4.84)$$

Таким образом [5]:

$$f_2 := 0.71 + 0.52 \cdot \rho + \varepsilon \cdot z = 1.91 \quad (4.85)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Третий вспомогательный коэффициент [5]:

$$f_3 := 1 + \left[\frac{12 \cdot \rho^3 \cdot \left(\frac{0.2}{\varepsilon}\right)^4}{12 \cdot \varepsilon + \rho^2 \cdot \max\left[0, \left(\frac{0.5}{\varepsilon}\right)^3 - 1\right]} \right] = 1 \quad (4.86)$$

Формула для четвёртого вспомогательного коэффициента также берётся исходя из того, что угол сопряжения равен 45° [5].

$$f_4 := \max\left[1, \min\left[1, 0.8 + \left(\frac{6.0}{100 \cdot \varepsilon}\right) + \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot \min\left[1, \left[\frac{\left(\frac{4}{3}\right)}{1 + \varepsilon \cdot [1 + \varepsilon \cdot (1 + 5.5 \cdot \varepsilon)]}\right]\right]\right]\right] = 1 \quad (4.87)$$

Вспомогательные коэффициенты X1, X2, X3 [5]:

$$X_1 := \left(\frac{\cos(\alpha)}{\varepsilon}\right) \cdot \left[\left[\frac{(\phi + \phi_1)}{4 \cdot \cos(\alpha)}\right] + \lambda \cdot f_1\right] = 8.709 \quad (4.88)$$

$$X_2 := f_2 \cdot \sqrt{1 + \phi_1} = 2.701 \quad (4.89)$$

$$X_3 := \chi \cdot f_3 + \left[\left[\frac{(\phi + \phi_1)}{4 \cdot \mu \cdot \cos(\alpha)}\right] + \mu\right] \cdot f_4 = 4.676 \quad (4.90)$$

Тогда по формуле 1.80:

$$B := 2 \cdot \sqrt{\frac{(s_2 - c)}{D_2}} \cdot \min(X_1, X_2, X_3) = 0.435$$

Допускаемое давление в рубашке:

$$P_{\text{д.руб}} := \left[\frac{[2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot (s_2 - c) \cdot \phi_1]}{D_2 + (s_2 - c)}\right] \cdot \frac{B}{A} = 0.978 \quad (4.91)$$

Проверка условия прочности для сопряжения рубашки аппарата с корпусом по допускаемому избыточному давлению:

$$\text{Проверка16} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д.руб}} \geq P_{\text{р}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка16 = "условие прочности выполняется"

Таким образом, можно сделать вывод, что принятая исполнительная толщина сопряжения, равная 12 мм, обеспечивает необходимую надежность конструкции.

4.10 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой

Целью выполнения расчёта является проверка надёжности конструкции фланцевого соединения. Показателями механической надёжности являются прочность болтов при затяжке и в рабочих условиях, прочность прокладки, статическая прочность соединения при затяжке и в рабочих условиях, а также соответствия угла поворота фланца допускаемому значению.

В соответствии с рекомендациями [4] по привалочной поверхности выбран тип фланца шип-паз, поскольку именно такой тип обеспечивает достаточную герметичность аппарата, содержащего агрессивные и токсичные среды. По стандарту [6] выбрана пара фланцев типа шип-паз и исполнения 2 и 3 в соответствии с диаметром аппарата, равным 1800 мм. Весь дальнейший расчёт производится в соответствии со стандартом [7].

Названия элементов – цилиндрическая обечайка корпуса, эллиптическая крышка корпуса, фланцевое соединение. Номера позиций на расчётной модели – 7, 8, 12.

Расчётные схемы фланцевого соединения представлены на рисунках 11 и 12.

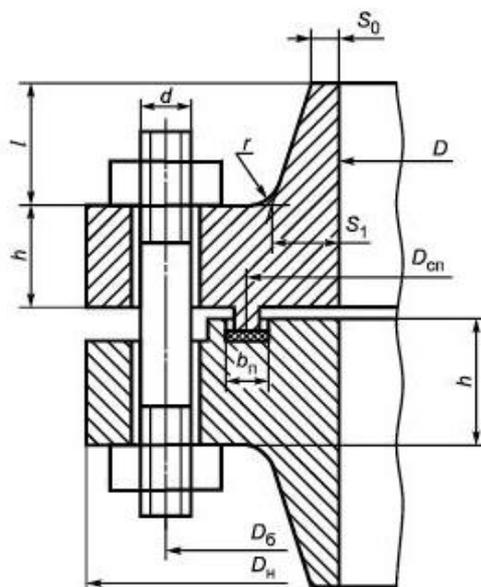


Рисунок 11 – Расчётная схема фланцевого соединения крышки с корпусом с уплотнительной поверхностью типа шип-паз

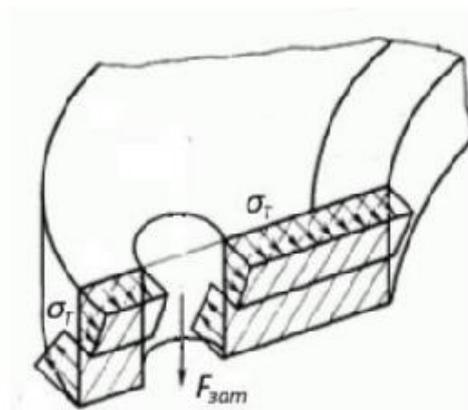


Рисунок 12 – Уточняющая расчётная схема фланцевого соединения крышки с корпусом

P_0 – внешнее давление атмосферы на аппарат, МПа;

F_s – усилие, действующее на болты со стороны среды аппарата, Н; $F_{зат}$ – усилие, действующее на болты при затяжке, Н; q – удельное давление обжатия прокладки, МПа; σ_R , σ_M , σ_T – соответственно радиальные, меридиональные и кольцевые напряжения в тарелке или обечайке фланца, МПа.

Исходные данные для расчёта:

Наружный диаметр фланца, мм	$D_n := 1730$
Диаметр болтовой окружности, мм	$D_b := 1690$
Диаметр середины прокладки, мм	$D_{сп} := 1648.5$
Ширина прокладки, мм	$b_{п} := 17.5$
Высота фланца, мм	$h := 70$
Высота прокладки, мм	$h_n := 2$
Толщина обечайки и крышки, мм	$s_o := 12$
Диаметр болтов, мм	$d := 20$
Число болтов, шт	$n := 84$
Площадь поперечного сечения болта, мм	$f_{\sigma} := 324$
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм	$L_{\sigma o} := 174$
Расчётное наружное давление на крышки, Мпа	$P = 0.263$
Внешняя осевая сжимающая сила, Н	$F := 0$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Внешний изгибающий момент, Н*мм	$M := (0)$
Прибавка к толщине стенки, мм	$c = 1$
Рабочая температура фланца, °С	$t_{\phi} := 20$
Рабочая температура болтов, °С	$t := 20$
Коэффициент линейного расширения стали - °С-1	$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6}$
Удельное давление обжатия прокладки, МПа	$q_{обж} := 10$
Допускаемое удельное давление на прокладку, Мпа	$q_d := 40$
Коэффициент обжатия, безразмерный	$K_{обж} := 1$
Условный модуль сжатия прокладки, Па	$E_{\Pi} := 2 \cdot 10^{-11}$

Эффективная ширина плоской прокладки для случая, когда реальная её ширина больше 15 мм:

$$b_0 := \text{Ceil}\left(3.8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}}, 1\right) = 16 \quad (4.92)$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 1.09 \times 10^4 \text{ м} \quad (4.93)$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях R_{Π} , необходимое для герметичности фланцевого соединения, для расчёта на наружное давление принимается равным нулю.

$$R_{\Pi} := 0$$

$$A_G := n \cdot f_G = 2.722 \times 10^4 \quad (4.94)$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (D_{сп})^2 P = 5.614 \times 10^5 \quad (4.95)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента [7]:

$$Q_{FM} := \max \left[\left(F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right), \left(F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}} \right) \right] \quad (4.96)$$

$$Q_{FM} := 0$$

Податливость прокладки, мм/Н:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$E_{\Pi} = 2 \times 10^{-11}$$

$$D_{\text{сп}} = 1.649 \times 10^3$$

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 1.103 \times 10^6 \quad (4.97)$$

Эффективная длина болта при определении податливости, мм:

$$L_{\text{б}} := L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d = 179.6 \quad (4.98)$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E \cdot A_{\text{б}}} = 3.3 \times 10^{-8} \quad (4.99)$$

Расчётные параметры фланцев:

параметр длины обечайки, мм:

$$l_0 := \sqrt{D_1 \cdot s_0} = 138.564 \quad (4.100)$$

отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_n}{D_1} = 1.081 \quad (4.101)$$

коэффициенты, зависящие от размеров тарелки фланца:

$$\beta_{\text{т}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.882 \quad (4.102)$$

$$\beta_{\text{u}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 27.198 \quad (4.103)$$

$$\beta_{\text{Y}} := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 25.005 \quad (4.104)$$

$$\beta_{\text{z}} := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 12.827 \quad (4.105)$$

коэффициенты β_F , β_V и f по рекомендациям стандарта принимаем для плоского фланца типа шип-паз равными соответственно 0.91, 0.55 и 1;

коэффициент λ :

$$\beta_F := 0.91$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\beta_V := 0.55$$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_u \cdot l_0 (s_0)^2} = 1.123 \quad (4.106)$$

Угловая податливость фланцев при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E \cdot \lambda \cdot l_0 (s_0)^2} = 1.117 \times 10^{-10} \quad (4.107)$$

Угловая податливость фланцев, нагруженных внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi,н} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_b}{E \cdot h^3 \cdot D_n} = 6.899 \times 10^{-12} \quad (4.108)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$m := 2.5$$

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_b}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad (4.109)$$

$$C_F = 1$$

Приведённый диаметр фланца $D_{пр}$ принимаем равным внутреннему диаметру аппарата, а именно 1600 мм.

Плечо действия усилий в болтах для приварных плоских фланцев, мм:

$$b := 0.5(D_b - D_{сп}) = 20.75 \quad (4.110)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец, мм:

$$e := 0.5(D_{сп} - D_1 - s_0) = 18.25 \quad (4.111)$$

Эквивалентную толщину втулки плоских фланцев принимаем по рекомендации равной толщине аппарата и крышки, а именно 12 мм.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\phi} \cdot \frac{E_{\Pi}}{E_{\phi}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{\Pi}}{E_{\phi}}} \quad (4.112)$$

$$\gamma = 9.063 \times 10^{-7}$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\phi} + 2 \cdot (b)^2 \cdot y_{\phi}} \quad (4.113)$$

$$\alpha = 3.02 \times 10^{-14}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\phi} + 2 \cdot y_{\phi, H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\phi} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_b}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi, H} \cdot b^2} \quad (4.114)$$

$$\alpha_M = 2.847 \times 10^{-14}$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t - 20) \right] \quad (4.115)$$

$$Q_t = 0$$

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

$$P_{\phi 1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right] \quad (4.116)$$

$$P_{\phi 1} = 1.695 \times 10^{-8}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

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

$$P_{обж} := 1.325 \times 10^4$$

$$P_{б2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot A_б \cdot \sigma_{д.20}) \quad (4.117)$$

$$P_{б2} = 2.375 \times 10^6$$

$$P_{обж} = 1.325 \times 10^4$$

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

$$P_{бм} := \max(P_{б1}, P_{б2}) \quad (4.118)$$

$$P_{бм} = 2.375 \times 10^6$$

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

$$P_{бр} := P_{бм} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{сп}} \quad (4.119)$$

$$P_{бр} = 2.937 \times 10^6$$

Расчетные напряжения в болтах (шпильках), МПа:

- при затяжке

$$\sigma_{б1} := \frac{P_{бм}}{A_б} \quad (4.120)$$

$$\sigma_{б1} = 87.273$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{б2} := \frac{P_{бр}}{A_б} \quad (4.121)$$

$$\sigma_{б2} = 107.901$$

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

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D_1} \cdot M_M \quad (4.126)$$

$$\sigma_{RМ} = 0.129$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D_1} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} \quad (4.127)$$

$$\sigma_{ТМ} = 1.564$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях, МПа:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S - c)^2 \cdot D_{пр.}} \quad (4.128)$$

$$\sigma_{0p} = 398.149$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца, МПа:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D_1 + S) \cdot (S - c)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D_1 + S) \cdot (S - c)} \right] \quad (4.129)$$

$$\sigma_{0mp} = 67.757$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D_1} \cdot M_p \quad (4.130)$$

$$\sigma_{Rp} = 0.355$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Рассмотрим результаты:

- условие прочности соединения по болтам в условиях затяжки и рабочих условиях – выполняется;
- условие прочности соединения по прокладке – выполняется;
- условие статической прочности соединения в условиях затяжки и рабочих условиях – выполняется;
- условие прочности соединения по углу поворота фланца – выполняется.

Исходя из сказанного выше, можно сделать вывод, что принятые исполнения фланцев обеспечивают полную надёжность конструкции соединения.

4.11 Расчет вала перемешивающего устройства на виброустойчивость, жесткость и прочность

Целью выполнения расчёта является проверка надёжности конструкции вала по критериям виброустойчивости, жёсткости и прочности.

Название элемента – гладкий однопролётный вал аппарата. Номер позиции на расчётной модели – 14.

Методы расчёта согласно источнику [11;12;15].

Исходные данные для расчета:

Диаметр аппарата	$D := 1600 \cdot \text{mm}$
Высота аппарата	$H := 1915 \cdot \text{mm}$
Количество мешалок на валу	$Z_m := 1$
Коэффициент сопротивления мешалки	$\xi_m := 0.56$
Частота вращения мешалки	$n := 120 \text{min}^{-1}$
Диаметр мешалки	$d_m := 450 \cdot \text{mm}$
Давление в аппарате	$P_{\text{раб}} := 0.1 \cdot \text{MPa}$
Давление в рубашке	$P_{\text{руб}} := 0.6 \cdot \text{MPa}$
Материал обечайки, крышки, днища аппарата:	Сталь 12X18Н10Т
Требуемая мощность привода, с учетом пусковых нагрузок	$N_{\text{прив}} := 1.5 \cdot \text{kW}$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Предел текучести материала при температуре 20⁰С:

$$Re_{20} := 240 \cdot \text{МПа}$$

Коэффициент, учитывающий тип изготовления:

$$h_1 := 1$$

Модуль упругости материала при температуре стенки:

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

Модуль упругости материала при температуре испытания:

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

Расчетный срок службы мешалки:

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

Материал мешалки:

сталь 12Х18Н10Т

$$s_r := \text{regress}(\psi_{s1}, s_1, 4)$$

Допускаемое напряжение материала мешалки на изгиб при температуре среды:

$$s_{\sigma}(K_N, \psi_1) := \text{interp} \left[s_r, \psi_{s1}, s_1, \begin{pmatrix} K_N \\ \psi_1 \end{pmatrix} \right] \quad (4.136)$$

$$\sigma_{\text{dopim}} := 160 \text{МПа}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_{\text{km}} := \tau_m \cdot P_{\text{kor}} \quad (4.137)$$

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

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

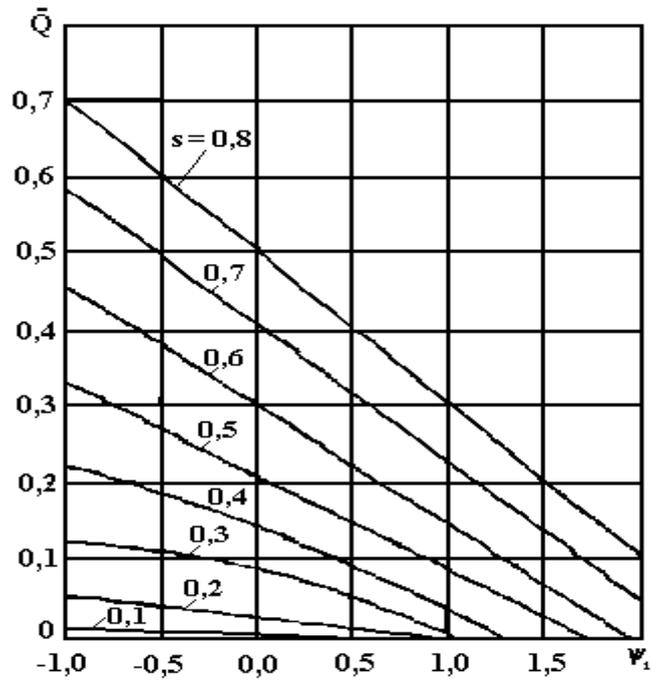


Рисунок 14 - Безразмерная поперечная гидродинамическая сила

Плотность среды в аппарате:

$$\rho_{\text{ж}} := 886 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Плотность среды в рубашке:

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

4.12 Расчет мешалки на прочность

Расчет трехлопастной мешалки [10]:

Ширина лопатки:

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

$$b_{m2} = 90 \cdot \text{mm}$$

(4.138)

Диаметр диска мешалки:

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

$$D_{m2} = 99 \cdot \text{mm}$$

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

$$l_{m2} = 63 \cdot \text{mm}$$

(4.139-4.140)

Координата сечения с максимальным изгибающим моментом [9]:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$x_{m2} := 0.75 \cdot \frac{(0.5d_m)^4 - (0.5d_m - l_{m2})^4}{(0.5d_m)^3 - (0.5d_m - l_{m2})^3} \quad (4.142)$$

$$x_{m2} = 196.889 \cdot \text{mm}$$

Расчетный изгибающий момент в сечении по диаметру диска [9]:

$$M_{ix2} := \left[\frac{0.027 \cdot (x_{m2} - 0.5 \cdot D_{m2})}{x_{m2}} \right] \cdot \frac{N_p}{n} \quad (4.143)$$

$$Q_{or} := \text{regress}(\psi_{11}, Q_{11}, 4) \quad (4.144)$$

$$M_{ix2} = 15.159 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Расчетный момент сопротивления лопатки при изгибе в указанном сечении [9]:

$$Q_o(s_o, \psi_1) := \text{interp} \left[Q_{or}, \psi_{11}, Q_{11}, \begin{pmatrix} s_o \\ \psi_1 \end{pmatrix} \right] \quad (4.145)$$

$$W_{mx2} := \frac{M_{ix2}}{\sigma_{dopim}} \quad (4.146)$$

$$W_{mx2} = 3.158 \times 10^{-7} \cdot \text{m}^3$$

Расчетный момент сопротивления лопатки при изгибе в указанном сечении [9] по формулам 1.145-1.146:

$$Q_o(s_o, \psi_1) := \text{interp} \left[Q_{or}, \psi_{11}, Q_{11}, \begin{pmatrix} s_o \\ \psi_1 \end{pmatrix} \right]$$

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

$$W_{mx2} = 9.474 \times 10^{-8} \cdot \text{m}^3$$

Номинальная расчетная толщина лопатки [9]:

$$s_{m2} := \sqrt{\frac{6 \cdot W_{mx2}}{b_{m2}}} \quad (4.147)$$

$$s_{m2} = 2.513 \cdot \text{mm}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$$a_{m2v} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil} \left[\frac{(s_{m2} + 2c_{km})}{\text{mm}} \right] \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases} \quad (4.148)$$

$$a_{m2v} = 2.311 \cdot \text{mm}$$

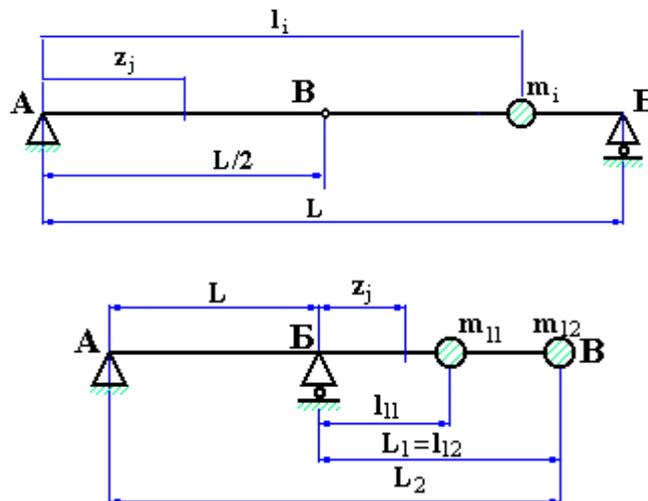
4.13 Расчет вала

Целью выполнения расчёта является проверка надёжности конструкции вала по критериям виброустойчивости, жёсткости и прочности. Методы расчёта согласно источнику [11;12;15]

Расчетная схема:

Типрасhv :=

Однопролетный вал
Консольный вал



Тип вала:

Типev :=

Сплошной
Полый

Если сплошной, диаметр вала:

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

Тип подшипника:

типорod :=

Однорядный шариковый
Однорядный роликовый взаимозаменяемый
Однорядный роликовый невзаимозаменяемый
Двухрядный сферический роликовый

Режим нагрузки:

Rezimnag :=

Спокойная работа
Умеренный толчки
Значительные толчки

Длина вала:

$$L_v := 7000\text{mm}$$

Длина консоли:

$$L_k := 5000\text{mm}$$

Длина пролёта:

$$L_p := 2000\text{mm}$$

Координаты центра масс мешалок:

$$l_k := (2000)\text{mm}$$

$$l_p := (5000)\text{mm}$$

Количество опасных по прочности сечений:

$$Z_s := 1$$

Координаты опасных по прочности и жесткости сечений:

$$z_j := (2000)\text{mm}$$

Диаметры опасных по прочностности сечений:

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

Концентратор напряжений в опасном по прочностности сечении

Массы мешалок:

$$m_1 := (200)\text{kg}$$

Материал вала: 12X18H10T

Плотность материала:

$$\rho_v := 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Модуль продольной упругости материала вала:

									Лист
									82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066629.001 ПЗ				

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

Предел выносливости материала вала

$$\sigma_1 := 279 \text{МПа}$$

Функции необходимые для расчета

$$\beta := \begin{cases} 1 & \text{if } \text{Rezimnag} = 1 \\ 1.5 & \text{if } \text{Rezimnag} = 2 \\ 3 & \text{if } \text{Rezimnag} = 3 \end{cases} \quad (4.149)$$

Осевой момент инерции сечения вала:

$$J_v(d_v) := \begin{cases} \pi \cdot \frac{d_v^4}{64} & \text{if } \text{Typev} = 0 \\ \frac{\pi \cdot [d_v^4 - (d_v - 2 \cdot \delta_{stv})^4]}{64} & \text{if } \text{Typev} = 1 \end{cases} \quad (4.150)$$

Момент сопротивления в опасных по прочности сечениях:

$$w_z(d_{vz}) := \begin{cases} \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 & \text{if } \text{Typev} = 0 \\ \frac{\pi}{32} \cdot (d_{vz})^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{vz} - 2 \cdot \delta_{stv}}{d_{vz}} \right)^4 \right] & \text{if } \text{Typev} = 1 \end{cases} \quad (4.151)$$

Расчет вала на виброустойчивость

$$i := 0..(Z_m - 1) \quad (4.152)$$

Относительная длина консоли:

$$L_{kot} := \frac{L_k}{L_v} \quad (4.153)$$

$$L_{kot} = 0.714$$

Относительная координата центра масс детали:

на консоли:

$$l_{kot} := \frac{l_k}{L_k} \quad (4.154)$$

$$l_{kot} = (0.4)$$

в пролете:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$l_{\text{pot}} := \frac{l_p}{L_v} \quad (4.155)$$

$$l_{\text{pot}} = (0.714)$$

Угловая скорость вала, рад./с:

$$\omega := 2\pi \cdot n \quad (4.156)$$

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

Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

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

$$a_Y = (0.764) \quad (4.157)$$

Приведенная масса детали:

$$m_{\text{pr}1_i} := m_{1_i} \cdot (a_{Y_i})^2 \quad (4.158)$$

$$m_{\text{pr}1} = (116.693) \text{ kg}$$

Суммарная приведенная масса деталей:

$$m_{\text{pr}} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} m_{\text{pr}1_i} \quad (4.159)$$

$$m_{\text{pr}} = 116.693 \text{ kg}$$

Безразмерный коэффициент:

$$f := \begin{cases} \frac{\rho_v \cdot \omega^2 \cdot L_v^2}{3 \cdot E_v} & \text{if Typerashv} = 0 \\ \frac{16 \cdot \rho_v \cdot \omega^2 \cdot L_k \cdot L_v}{3 \cdot E_v} & \text{if Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.160)$$

Приведенная безразмерная масса вала

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

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Комплексы:

$$A_1 := \begin{cases} m_{vpr} \cdot f \cdot L_v^2 & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ m_{vpr} \cdot f \cdot L_k^2 & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases} \quad (4.161)$$

$$A_1 = 2.534 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 := \begin{cases} \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_v}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 0 \\ \frac{8 \cdot m_{pr} \cdot f \cdot L_k}{\pi \cdot \rho_v} & \text{if } T_{yperashv} = 1 \end{cases} \quad (4.162)$$

$$A_2 = 2.723 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Расчетный диаметр вала:

$$d_{vr} := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} \quad (4.163)$$

$$d_{vr} = 91.299 \text{ mm}$$

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

$$d_{vrr} := \begin{cases} z \leftarrow \text{ceil} \left(\frac{d_{vr}}{\text{mm}} \right) \\ x \leftarrow z \cdot \text{mm} \\ \text{return } x \end{cases} \quad (4.164)$$

$$d_{vrr} = 92 \text{ mm}$$

$$d_{vrr} := 100$$

$$d_v := \begin{cases} d_{vrr} \cdot \text{mm} & \text{if } d_{vrr} \cdot \text{mm} > d_{vr} \\ d_{vr} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.165)$$

Линейная масса вала, кг:

$$m_{vl} := \frac{\pi}{4} \cdot d_v^2 \cdot \rho_v \quad (4.166)$$

$$m_{vl} = 62.046 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Относительная суммарная масса деталей:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$m_{\text{prot}} := \frac{m_{\text{pr}}}{m_{\text{v1}} \cdot L_{\text{v}}} \quad (4.167)$$

$$m_{\text{prot}} = 0.269$$

Безразмерная критическая угловая скорость валов:

$$\omega_{1\text{ot}} := \begin{cases} \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2m_{\text{prot}}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \sqrt{\frac{1260}{8 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^5 + 140 \cdot (1 - L_{\text{kot}})^2 \cdot L_{\text{kot}}^3 + 231 \cdot (1 - L_{\text{kot}}) \cdot L_{\text{kot}}^4 + 99 \cdot L_{\text{kot}}^5 + 420 \cdot L_{\text{kot}}^2 \cdot m_{\text{prot}}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.168)$$

$$\omega_{1\text{ot}} = 7.904$$

Первая критическая угловая скорость вала, рад./с:

$$\omega_1 := \frac{\omega_{1\text{ot}} \cdot d_{\text{v}}}{4 \cdot L_{\text{v}}^2} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{v}}}{\rho_{\text{v}}}} \quad (4.169)$$

$$\omega_1 = 20.137 \frac{1}{\text{s}}$$

Коэффициент запаса виброустойчивости:

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

Условие виброустойчивости:

$$\text{Проверка21} := \text{if} \left[\left(\omega \leq \xi_{\text{d}} \cdot \omega_1 \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

Проверка21 = "Условие выполняется"

Расчет вала на жесткость

$$j := 0..Z_{\text{s}} - 1 \quad (4.170)$$

Эксцентриситет массы детали:

$$e_{\text{d}} := \frac{10^{-3} \cdot m}{\sqrt{\omega \cdot s}} \quad (4.171)$$

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

Относительная координата опасного по жесткости сечения:

$$z_{1\text{ot}} := \begin{cases} \frac{z_j}{L_{\text{v}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{z_j}{L_{\text{k}}} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.172)$$

$$z_{1ot} = (0.286)$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

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

Приведенный эксцентриситет массы детали:

$$e_{pr1_i} := \frac{e_d}{a_{Y_i}} \quad (4.173)$$

$$e_{pr1} = (3.693 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Приведенная масса вала:

$$mv_{pr} := m_{vpr} \cdot m_{vI} \cdot L_v \quad (4.174)$$

$$mv_{pr} = 217.163 \text{ kg}$$

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	...

$$\begin{aligned}
 M_{3v} := & \text{for } i \in 1..18 \\
 & \left| \begin{array}{l}
 \text{if } \text{typepod} = 0 \quad \text{if } M_{2v_{i,0}} \leq \frac{d_v}{\text{mm}} \leq M_{2v_{i,1}} \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 x_{0,0} \leftarrow M_{2v_{i,2}} \\
 x_{1,0} \leftarrow M_{2v_{i,3}}
 \end{array} \right. \\
 \text{if } \text{typepod} = 1 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 x_{0,0} \leftarrow M_{2v_{i,4}} \\
 x_{1,0} \leftarrow M_{2v_{i,5}}
 \end{array} \right. \\
 \text{if } \text{typepod} = 2 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 x_{0,0} \leftarrow M_{2v_{i,6}} \\
 x_{1,0} \leftarrow M_{2v_{i,7}}
 \end{array} \right. \\
 \text{if } \text{typepod} = 3 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 x_{0,0} \leftarrow M_{2v_{i,8}} \\
 x_{1,0} \leftarrow M_{2v_{i,9}}
 \end{array} \right.
 \end{array} \right. \\
 & \text{return } x
 \end{aligned} \tag{4.175}$$

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

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

$$\Delta_{z1} := \left| \begin{array}{l}
 \frac{(\Delta_B - \Delta_A) \cdot z_j}{L_v} + \Delta_A \quad \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\
 \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (z_j + L_v)}{L_v} - \Delta_A \quad \text{if } \text{Typerashv} = 1
 \end{array} \right. \tag{4.176}$$

$$\Delta_{z1} = (4.6 \times 10^{-5}) \text{m}$$

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

$$\epsilon_v := \begin{cases} 0.06\text{mm} & \text{if } \frac{L_v}{d_v} < 20 \\ 0.075\text{mm} & \text{if } 20 \leq \left(\frac{L_v}{d_v}\right) < 50 \\ 0.09\text{mm} & \text{if } \left(\frac{L_v}{d_v}\right) \geq 50 \end{cases} \quad (4.177)$$

$$\epsilon_{z1} := \epsilon_v \cdot a_{z1} \quad (4.178)$$

$$\epsilon_{z1} = (6.875 \times 10^{-5}) \text{m}$$

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

$$\Delta_v := \begin{cases} \frac{\Delta_A + \Delta_B}{2} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \left(\Delta_A + \Delta_B\right) \cdot \frac{L_k}{L_v} + \Delta_B & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.179)$$

$$\Delta_v = 4.6 \times 10^{-5} \text{m}$$

Комплекс:

$$B_2 := \frac{\sum_{i=0}^{Z_m-1} (m_{pr1_i} \cdot e_{pr1_i})}{m_{pr} + m_{vpr}} \quad (4.180)$$

$$B_2 = 1.291 \times 10^{-4} \text{m}$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с деталями:

$$e_{pr} := B_2 + \Delta_v + \epsilon_v \quad (4.181)$$

$$e_{pr} = 2.651 \times 10^{-4} \text{m}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$Y_v := \frac{e_{pr}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (4.182)$$

$$Y_v = 1.691 \times 10^{-4} \text{m}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$$Y_{z1} := Y_v \cdot a_{z1} \quad (4.183)$$

$$Y_{z1} = (1.291 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{z1} := Y_{z1} + \Delta_{z1} + \varepsilon_{z1} \quad (4.184)$$

$$A_{z1} = (2.439 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Относительное смещение скорости потока:

$$K_1 := 1.2$$

$$\psi_1 := 0.773$$

$$s_o(K_1, \psi_1) = 0.27 \quad (4.185)$$

Безразмерная гидродинамическая сила:

$$Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) = -5.69 \times 10^{-3} \quad (4.186)$$

Поперечная гидродинамическая сила, действующая на одну мешалку:

$$K_{Qm} := \begin{cases} 0.96 & \text{if } \xi_m = 0.56 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 0.88 \\ 1 & \text{if } \xi_m = 1.28 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 3 \\ 1.73 & \text{if } \xi_m = 8.4 \end{cases} \quad (4.187)$$

$$Q_m := 0.015 \cdot K_{Qm} \cdot Q_o(s_o(K_1, \psi_1), \psi_1) \cdot \xi_m \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot d_m^4 \quad (4.188)$$

$$Q_m = -0.263 \text{ N}$$

Приведенная гидродинамическая сила:

$$Q_{pr1_i} := Q_m \cdot a_{Y_i} \quad (4.189)$$

$$Q_{pr1} = (-0.201) \text{ N}$$

Суммарная приведенная гидродинамическая сила:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{pr} := \sum_{i=0}^{Z_m-1} Q_{pr1_i} \quad (4.190)$$

$$Q_{pr} = -0.201 \text{ N}$$

Момент инерции поперечного сечения вала:

$$\boxed{} \quad (4.191)$$

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

$$Y_{vQ} := \begin{cases} \frac{Q_{pr} \cdot L_v^3}{48 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{Q_{pr} \cdot L_v \cdot L_k^2}{3 \cdot E_v \cdot J_v(d_v)} & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.192)$$

$$Y_{vQ} = -1.486 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{Qz1} := A_{z1} + Y_{vQ} \cdot a_{z1} \quad (4.193)$$

$$A_{Qz1} = (2.428 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Условие жесткости:

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

$$\text{Проверка22} := \text{if}(\max(A_{Qz1}) \leq A_{z_{dop}}, \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"})$$

Проверка22 = "Условие выполняется"

Расчет вала на прочность

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

$$\Delta l := \begin{cases} \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot l_p}{L_k} - \Delta_A & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (l_k + L_k)}{L_k} - \Delta_A & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.194)$$

$$\Delta l = (4.6 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\varepsilon_{kp} := \varepsilon_v \cdot a_Y \quad (4.195)$$

$$\varepsilon_{kp} = (6.875 \times 10^{-5}) \text{ m}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба:

$$Y_1 := Y_v \cdot a_Y \quad (4.196)$$

$$Y_1 = (1.291 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Динамическое смещение центра массы детали:

$$A_{lk_i} := Y_{1_i} + \Delta l_i + \varepsilon_{kp_i} + e_{pr1_i} \quad (4.197)$$

$$A_{lk} = (6.132 \times 10^{-4}) \text{ m}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения В:

$$A_v := Y_v + \Delta v + \varepsilon_v \quad (4.198)$$

$$A_v = 3.051 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на деталь:

$$F_{1_i} := \beta \cdot m_{1_i} \cdot \omega^2 \cdot A_{lk_i} \quad (4.199)$$

$$F_1 = (19.366) \text{ N}$$

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

$$F_{vpr} := \beta \cdot m_v \cdot \omega^2 \cdot A_v \quad (4.200)$$

$$F_{vpr} = 10.462 \text{ N}$$

Комплексы:

$$B_5 := \begin{cases} \sum_{i=0}^{Z_m-1} \left[F_{1_i} \cdot (L_v - l_{p_i}) + Q_m \cdot \sum_{i=0}^{Z_m-1} (L_v - l_{p_i}) \right] & \text{if } \text{Typerashv} = 0 \\ 0 & \text{if } \text{Typerashv} = 1 \end{cases} \quad (4.201)$$

$$B_5 = 38.206 \text{ J}$$

$$B_6 := \left[\sum_{i=0}^{Z_m-1} (F_{1_i} \cdot l_{k_i}) \right] \quad (4.202)$$

$$B_6 = 38.733 \text{ J}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

$$M_{mkr1j} := \frac{N_p}{\omega \cdot Z_m} \quad (4.209)$$

$$M_{mkr1} = (119.366) J$$

Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении:

$$\sigma_{ekv1j} := \frac{\sqrt{(M_{mi1j})^2 + (M_{mkr1j})^2}}{w_z(d_{vz})_j} \quad (4.210)$$

$$\sigma_{ekv1} = (2.14) \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Проверка23} := \text{if} \left[\left(\max \left(\frac{M_{mi1}}{M_{mkr1}} \right) < 0 \right), \text{"Расчет на статическую прочность"}, \text{"Расчет на усталостную прочность"} \right]$$

Проверка23 = "Расчет на усталостную прочность"

Определение допускаемого напряжения в опасных сечениях:

Определение масштабного коэффициента:

$$k_m := 0.5074 + \left(\frac{12.77}{\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m}} \right) - \left[\frac{185.5}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^2} \right] + \left[\frac{1397}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^3} \right] - \left[\frac{3874}{\left(\frac{\min(d_{vz}) \cdot 10^3}{m} \right)^4} \right] \quad (4.211)$$

$$k_m = 0.628$$

Минимально допустимый коэффициент запаса прочности на выносливость:

$$k_z := 1.541$$

Коэффициент учитывающий концентрацию напряжений:

$$k_\sigma := 1$$

Определение допускаемого напряжения:

$$\sigma_{dopv} := k_m \cdot \frac{\sigma_1}{k_\sigma \cdot k_z} \quad (4.212)$$

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

Условие прочности

$$\text{Проверка24} := \text{if} \left[\left(\max(\sigma_{ekv1}) \leq \sigma_{dopv} \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$$

Проверка24 = "Условие выполняется"

Минимально допустимый диаметр:

$$d_v = 100 \cdot \text{mm}$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Резюмируем произведённый расчёт:

- прочность вала по условию виброустойчивости – обеспечена;
- прочность вала по условию жёсткости – обеспечена;
- выполнение условия механической прочности вала – обеспечено.

Таким образом, делаем вывод, что надёжность конструкции вала обеспечена по всем необходимым критериям.

4.14 Расчет укрепления отверстий

Целью расчёта является проверка надёжности конструкции отверстий по критерию прочности, а также проверка взаимного влияния отверстий по этому же критерию.

Названия элементов – отверстия для технологических штуцеров в аппарате.

Схема расположения штуцеров на поверхности аппарата наиболее полно представлена в расчётной модели.

Все вычисления проводятся в соответствии с пособием [15].

Схема для расчёта укрепления отверстий представлена на рисунке 15.

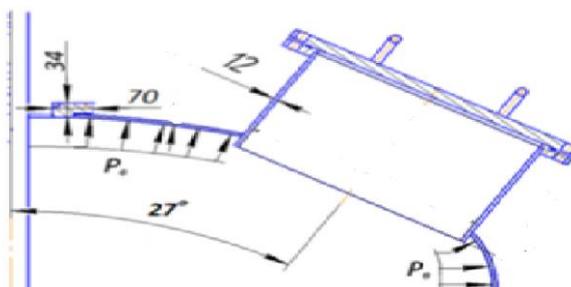


Рисунок 15 – Расчётная схема укрепления взаимовлияющих отверстий люка-лаза где p_v – внутреннее избыточное давление в аппарате при рабочих условиях или пробное давление при условиях гидроиспытания, МПа.

Геометрические параметры всех штуцеров указаны в таблице 2 настоящей работы.

Условие укрепления одиночного отверстия:

$$l_1 \cdot s_1 - (s_1 p - c_s) \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + l_3 \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot x_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \geq 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p \quad (4.213)$$

где:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

l_1, l_2, l_3, l_p – расчётные длины внутренней и внешней части штуцера, накладного кольца и зоны укрепления вокруг отверстия, мм; s_1, s_2, s_3, s – исполнительные толщины внутренней и внешней части штуцера, накладного кольца и зоны укрепления вокруг отверстия, мм; s_{1p}, s_p – расчётные толщины внутренней части штуцера и зоны укрепления вокруг отверстия, мм; c_s, c_{s1}, c – прибавки на различные виды разрушений для штуцеров, укрепляющих элементов и зоны укрепления; d_p – расчётный диаметр отверстия, мм; d_{op} – расчётный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления, x_1, x_2, x_3 – отношения допускаемых напряжений материалов обечайки и штуцера.

Условие прочности для одиночного и взаимовлияющих отверстий:

$$p \leq p_d \quad (4.214)$$

p – расчётное внутреннее давление на зону укрепления отверстия или перемышку между взаимно влияющими отверстиями, МПа; p_d – допускаемое внутреннее давление на зону укрепления отверстия или перемышку между взаимно влияющими отверстиями.

Расчётные диаметры укрепляемых элементов для штуцеров, расположенных нормально к поверхности обечайки и смещённых штуцеров на эллиптическом днище:

$$D_p := D$$

$$D_{.p} := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x}{D} \right)^2} \quad (4.215)$$

где x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, мм [15]. Поскольку исполнительные и расчётные толщины укрепляемых элементов уже определены, необходимо рассчитать для каждого из отверстий максимальный диаметр, не требующий дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента:

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{.p} \cdot (s - c)} \quad (4.216)$$

где s – исполнительная толщина укрепляемого элемента, мм; s_p – расчётная толщина укрепляемого элемента.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Все имеющиеся отверстия в данный момент рассматриваются как одиночные.

$$sp := 0.012$$

$$c := 0.001$$

$$x_1 := 0.525$$

$$s := 0.012$$

$$D_1 := 1.6$$

Так как штуцера для ввода смеси и для установки датчиков давления и температуры, а так же люк-лаз имеют одинаковое расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, тогда, м:

$$D_{p1} := 2 \cdot D_1 \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_1}{D_1} \right)^2} = 2.633 \quad (4.217)$$

$$do := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{sp} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} = 0.04 \quad (4.218)$$

Соответственно на основе полученного расчета принимаем расчетный диаметр равный 40 мм.

Рассчитаем диаметр для штуцера ввода воды в рубашку, по формуле 4.218, м:

Так как $x = 0$, тогда:

$$D_{p2} := D = 1.7$$

$$do := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{sp} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s - c)} = 0.032$$

Соответственно на основе полученного расчета принимаем расчетный диаметр равный 32 мм.

Рассчитаем диаметр для штуцера отвода продукта из реактора, по формуле 4.217-4.218, м:

$$D_1 = 1.6$$

$$x_3 := 0$$

$$D_{.p3} := 2 \cdot D_1 \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_3}{D_1} \right)^2} = 3.2$$

$$do := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{sp} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{.p3} \cdot (s - c)} = 0.044$$

Соответственно на основе полученного расчета принимаем расчетный диаметр равный 44 мм.

Рассчитаем диаметр для штуцера отвода воды из рубашки, по формуле 4.217-4.218, м:

$$x_4 := 0.300$$

$$D = 1.7$$

$$D_{.p4} := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x_4}{D} \right)^2} = 3.237$$

$$do := 2 \cdot \left(\frac{s - c}{sp} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{.p4} \cdot (s - c)} = 0.044$$

Соответственно на основе полученного расчета принимаем расчетный диаметр равный 44 мм.

Поскольку в данном случае мы имеем дело с большим количеством однотипных расчётов, структурируем их в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчёт диаметров отверстий, не требующих дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда

Обозначение	Dy по [18], мм	D, мм	x, мм	Dp, мм	s, мм	sp, мм	do, мм
А	32	1600	525	3055	12	12	30
Б	50	1700	-	1700	12	12	32
В	32	1600	0	3600	12	12	44
Г	50	1700	300	3759	12	12	44
П	25	1600	525	3107	12	12	44
М	25	1700	525	3107	12	12	44
Л	250	1700	525	3107	12	12	44

Как видно из приведённой выше таблицы, необходимо проверить условие укрепления одиночного отверстия для люка-лаза.

Расчётный диаметр люка-лаза:

$$d_{\text{л}} := 0.250$$

$$D_{\text{рл}} := D_{\text{р1}} = 2.633$$

$$x := 0.525$$

$$d_{\text{рл}} := \frac{d_{\text{л}} + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x}{D_{\text{рл}}}\right)^2}} = 2.454 \quad (4.219)$$

где $d_{\text{л}}$ – принятый исполнительный диаметр отверстия, равный 250 мм.

Расчётный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления,

м:

$$d_{\text{орл}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{\text{рл}} \cdot (s - c)} = 0.068 \quad (4.220)$$

Расчётная длина зоны укрепления, м:

$$l_{\text{рл}} := \sqrt{D_{\text{рл}} \cdot (s - c)} = 0.17 \quad (4.221)$$

Проверим, соблюдается ли условие укрепления одиночных отверстий для люка лаза при наличии штуцера без укрепляющего кольца. Люк-лаз вварен внутрь аппарата на длину $l_{3\text{л}} = 5$ мм, выдаётся на $l_{1\text{л}} = 150$ мм от поверхности эллиптической крышки. Толщина штуцера под люк лаз постоянна и равна 12 мм.

Поскольку штуцера изготавливаются из той же стали 12Х18Н10Т, что и корпусные элементы, все соотношения допускаемых напряжений равны 1.

Коэффициенты прочности сварных швов также принимаются равными 1.

Прибавку на коррозию ввиду единства среды для штуцеров примем также единой и равной 1 мм. Тогда, мм:

$$s_{1\text{л}} := 12$$

$$s_{3\text{л}} := 0.12$$

$$s_{\text{р.}} := 12$$

$$\chi_1 := 1$$

$$\beta := 30$$

$$K_3 := \frac{1 + \cos(\beta)^2}{2} = 0.512 \quad (4.226)$$

$$K_1 := 2$$

где β – угол, определяющий положение штуцера на крышке и конструктивно принятый равным 30° .

Допускаемое давление для рабочих условий и условий испытаний, МПа:

$$P_{д.} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{д.}}{0.5 \cdot (D_{p3} + D_{p1}) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2.405 \quad (4.227)$$

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{д.20}}{0.5 \cdot (D_{p3} + D_{p1}) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 3.279 \quad (4.228)$$

Принимаем избыточное давление на крышку и днище (рассчитанное ранее), МПа:

$$P := 0.283$$

Принимаем пробное давление в корпусе при гидравлических испытаниях (рассчитанное ранее), МПа:

$$P_{пр} := 0.482$$

Проверим выполнение условия прочности одиночных отверстий:

$$\text{Проверка25} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } P \leq P_{д.} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка25} = \text{"Условия прочности выполняется"}$$

$$\text{Проверка26} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } P_{и} \leq P_{д.и} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка26} = \text{"Условия прочности выполняется"}$$

Условие прочности отверстия под люк-лаз выполняется как при рабочих условиях, так и при условиях испытания.

Следовательно, принятый штуцер люка-лаза с условным проходом 250 мм, толщиной стенки 12 мм и длиной 150 мм обеспечивает надёжность конструкции.

4.15 Расчет шпоночного соединения вала с мешалкой

Целью расчёта является проверка надёжности конструкции шпоночного соединения по прочности на смятие и срез. Все вычисления проводятся в соответствии с пособием [14].

Исходные данные для расчета:

Крутящий момент	$M_{кр} := 397.887 \cdot N \cdot mm$
Диаметр вала	$d_{вал} := 100 \cdot mm$
Глубина шпоночного паза	$U := 10 \cdot mm$
Ширина шпонки	$b := 16 \cdot mm$
Высота шпонки	$h := 28 \cdot mm$
Выступ шпонки от шпоночного вала	$K := b - U = 6 \times 10^{-3} \cdot m$
Длина шпонки	$l := 100 \cdot mm$
Допускаемое напряжение смятия	$\sigma_{доп.см} := 110 \cdot \frac{N}{mm^2}$
Допускаемое напряжение среза	$\tau_{доп.ср} := 70 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Площадь поверхности смятия шпонки:

$$A_{см} := (K - 0.006 \cdot h) \cdot l \quad (4.229)$$

$$A_{см} = 5.832 \times 10^{-4} \cdot m^2$$

Условие прочности шпонки на смятие:

$$\sigma_{см} := 2 \cdot \frac{M_{кр}}{d_{вал} \cdot A_{см}} = 1.364 \times 10^4 \cdot Pa \quad (4.230)$$

Проверка27 := if $\left[\left(\sigma_{см} \leq \sigma_{доп.см} \right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"} \right]$

Проверка27 = "Условие выполняется"

Площадь поверхности смятия шпонки:

$$A_{ср} := b \cdot l \quad (4.231)$$

$$A_{ср} = 1.6 \times 10^{-3} \cdot m^2$$

Условие прочности шпонки на срез:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

$$\tau_{\text{ср}} := 2 \cdot \frac{M_{\text{кр}}}{d_{\text{вал}} \cdot A_{\text{ср}}} = 4.974 \times 10^3 \text{ Pa} \quad (4.232)$$

Проверка28 := if $\left[\left(\tau_{\text{ср}} \leq \tau_{\text{доп.ср}}\right), \text{"Условие выполняется"}, \text{"Условие не выполняется"}\right]$

Проверка28 = "Условие выполняется"

Условия прочности выполняются. Делаем вывод, что принятая призматическая шпонка с шириной 16 мм и рабочей длиной 100 мм обеспечивает надёжность конструкции соединения.

4.16 Расчет опор

Целью выполнения расчёта является проверка надёжности конструкции опор.

Все необходимые для проверки данного условия расчёты осуществляются в соответствии с источниками [12, 13].

Исходные данные для расчета:

Масса эллиптической крышки, кг [8]	$m_{\text{э.к}} := 237.3$
Масса днища рубашки, кг [8];	$m_{\text{д.р}} := 276.3$
Длина развёртки цилиндрической обечайки, м	$l_{\text{ц}} := 2.655$
Высота цилиндрической обечайки, м [9]	$H_{\text{ц}} := 1915$
Толщина стенки цилиндрической обечайки, м	$s_{\text{ц}} := 0.0012$
Объём аппарата, м ³ [9]	$V := 3.2$
Плотность материала корпуса, кг/м ³ [10]	$\rho_{\text{ст}} := 7920$
Диаметр рубашки, мм	$D_{\text{р}} := 1700$
Длина развёртки обечайки рубашки, м	$l_{\text{ц.р}} := 2.126$
Высота обечайки рубашки, м [9]	$H_{\text{ц.р}} := 1.0$
Толщина стенки рубашки, м	$s_{\text{ц.р}} := 0.0012$
Плотность материала рубашки, кг/м ³ [10]	$\rho_{\text{ст.р}} := 7920$
Давление гидроиспытания в рубашке, МПа	$P := 0.2$

Допускаемое напряжение стали рубашки, МПа

$$\sigma_{д.руб} := 160$$

Масса фланцевого соединения, кг [6]

$$m_{\phi} := 697.3$$

Масса привода, кг [12]

$$m_{\Pi} := 538$$

Условием прочности является следующее условие:

$$F_1 \leq F_{1.д} \quad (4.233)$$

где F_1 – сила, с которой опора действует на подкладной лист и обечайку рубашки аппарата, Н;

$F_{1.д}$ – допускаемая сила, с которой на обечайку может действовать опора, Н [13].

Предварительно необходимо рассчитать максимальный вес аппарата, соответствующий условиям гидроиспытаний, когда аппарат и рубашка целиком заполнены водой.

Вес крышки:

$$G_{э.к.1} := 9.81 \cdot m_{э.к} = 2.328 \times 10^3 \quad (4.234)$$

Поскольку крышка идентична днищу, удваиваем данный вес:

$$G_{э} := G_{э.к.1} \cdot 2 = 4.656 \times 10^3 \quad (4.235)$$

Объем материала цилиндрической обечайки, м³:

$$V_{ц} := l_{ц} \cdot H_{ц} \cdot s_{ц} = 6.101 \quad (4.236)$$

Масса обечайки, кг:

$$m_{ц} := V_{ц} \cdot \rho_{ст} = 4.832 \times 10^4 \quad (4.237)$$

Вес обечайки, Н:

$$G_{ц} := m_{ц} \cdot 9.81 = 4.74 \times 10^5 \quad (4.238)$$

Объем обечайки рубашки, м³:

$$V_{ц.р} := l_{ц.р} \cdot H_{ц.р} \cdot s_{ц.р} = 2.551 \times 10^{-3} \quad (4.239)$$

Масса рубашки, кг:

$$m_{ц.р} := V_{ц.р} \cdot \rho_{ст.р} = 20.206 \quad (4.240)$$

Вес обечайки, Н:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_{ц.р} := m_{ц.р} \cdot 9.81 = 198.216 \quad (4.241)$$

Вес днища рубашки, Н

$$G_{д.р} := m_{д.р} \cdot 9.81 = 2.711 \times 10^3 \quad (4.242)$$

Вес фланцевого соединения, Н

$$G_{ф} := m_{ф} \cdot 9.81 = 6.841 \times 10^3 \quad (4.243)$$

Вес привода и мешалки, Н

$$G_{п} := (m_{п} + 2 \cdot m_{м}) \cdot 9.81 = 5.378 \times 10^3 \quad (4.244)$$

Вес штуцеров и других вспомогательных устройств принимаем равным 10% от веса аппарата без учёта веса привода, Н:

$$G_{шт} := 0.1 \cdot (G_{ф} + G_{д.р} + G_{ц.р} + G_{ц} + G_{э}) = 4.884 \times 10^4 \quad (4.245)$$

Общий вес пустого аппарата, Н:

$$G_{ап} := (G_{ф} + G_{д.р} + G_{ц.р} + G_{ц} + G_{э} + G_{шт}) + G_{п} = 5.427 \times 10^5 \quad (4.246)$$

Объём воды в рубашке, м³:

$$V_{руб} := (V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) \quad (4.247)$$

где V_1 – объём цилиндрической обечайки рубашки, м³; V_2 – объём цилиндрической обечайки корпуса, м³; V_3 – объём эллиптического днища рубашки, м³; V_4 – объём эллиптического днища корпуса, м³. Объёмы цилиндрических сегментов, согласно [9], равны 11,90 и 10,629 м³ соответственно.

Объёмы эллиптических сегментов, согласно [8], равны 1,07 и 0,862 м³ соответственно. Тогда:

$$V_{руб} := (11.90 - 10.629) + (1.07 - 0.862) = 1.479 \quad (4.248)$$

Объём воды в аппарате при гидравлическом испытании, м³:

$$V_{воды} := V_{руб} + V = 4.679 \quad (4.249)$$

Вес воды в аппарате, Н:

$$G_{воды} := V_{воды} \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 9.81 = 4.59 \times 10^4 \quad (4.250)$$

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вес аппарат при гидравлическом испытании, Н:

$$G_{п.ап} := G_{ап} + G_{воды} = 5.886 \times 10^5 \quad (1.251)$$

Примем количество лап равным четырём. Тогда на одну лапу придётся веса:

$$F_1 := \frac{G_{п.ап}}{4} = 1.471 \times 10^5 \quad (4.252)$$

В соответствии со стандартом [38] принимаем в качестве опорных устройств штампованные опорные лапы с допускаемой нагрузкой на одну лапу, равной 63000 Н.

Параметры опоры следующие [38]:

расстояние между средними линиями рёбер опоры, мм	$g = 215$
высота опорной лапы, мм	$h_1 := 445$
ширина основной плиты опорной лапы, мм	$b_4 := 225$
длина подкладного листа, мм	$b_3 := 600$
ширина подкладного листа, мм	$b_2 := 360$
толщина подкладного листа, мм	$s_2 := 4$
длина опорной лапы, мм	$l_1 := 240$

Расстояние между точкой приложения усилия и подкладным листом, мм [9]:

$$e_1 := \frac{5}{6} \cdot l_1 = 200 \quad (4.253)$$

Допускаемое усилие, с которым опора воздействует на обечайку:

$$F_1 \leq F_{1.д} = \frac{\sigma_{i.д} \cdot b_3 \cdot (s_{ц.р} - c)^2}{K_8 \cdot (e_1 - s_2)} \quad (4.254)$$

где $\sigma_{i.д}$ – предельное напряжение изгиба, МПа; K_8 – коэффициент, учитывающий конструкцию опор [13].

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i.д} := K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_д \quad (4.255)$$

где K_1 и K_2 – вспомогательные коэффициенты.

K_2 для условий гидроиспытания принимаем равным 1,05.

K_1 рассчитывается по формуле:

$$K_2 := 1.05$$

$$K_1 := \frac{1 - (\nu^2)_2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2\right)^2 + \left[1 - (\nu^2)_2\right] \cdot (\nu^2)_1}} \quad (4.256)$$

где ν_1 – коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба; ν_2 – коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями.

Для определения упомянутых в предыдущем пункте коэффициентов произведём расчёт следующих вспомогательных параметров:

- общие мембранные напряжения, МПа:

$$\sigma_m := \frac{P \cdot D_p}{2 \cdot (s_{ц.р} - c)} \quad (4.257)$$

$$\sigma_m := 32.5$$

- расстояние между опорным узлом и ближайшим сварным швом более, мм:

$$\sqrt{(D_p - s_{ц.р})} = 124.9 \quad (4.258)$$

а потому позволительно принять коэффициент прочности сварных швов ϕ , расположенных в области опорного узла, равным 1.

По рекомендации стандарта принимаем ν_1 равным 0,4. В то же время коэффициент ν :

$$\nu_1 := 0.4$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_m}{K_2 \cdot \sigma_d \cdot \phi} = 0.193 \quad (4.259)$$

$$K_1 := \frac{1 - 0.193^2}{\left(\frac{1}{3} + 0.4 \cdot 0.193\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + 0.4 \cdot 0.193\right)^2 + (1 - 0.193^2) \cdot 0.4^2}} = 0.984 \quad (4.260)$$

Отсюда, МПа:

$$\sigma_{i.д} := K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 165.297 \quad (4.261)$$

Для определения коэффициента K_8 предварительно определяются следующие вспомогательные параметры, м:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$x := \ln \left[\frac{D_p}{2(s_{ц.п} - c)} \right] \quad (4.262)$$

$$x := 5.091$$

$$y := \ln \left(\frac{h_1}{D_p} \right) = -1.478 \quad (4.263)$$

$$y_1 := \ln \left(\frac{b_3}{D_p} \right) = -1.179 \quad (4.264)$$

Коэффициент К:

$$K_g := \min \left(\begin{array}{l} \exp(-49.919 - 39.119x - 107.01y_1 - 1.6393x^2 - 11.920x \cdot y_1 - 39.276 \cdot y_1^2 + 0.237x^3 + 1.608 \cdot x^2 \cdot y_1 + 2.76 \cdot x \cdot y_1^2 - 3.854 \cdot y_1^3) \cdot 10^{-2} \\ \exp(-5.964 - 11.395x - 18.984y - 2.413x^2 - 7.286x \cdot y - 2.0442 \cdot y^2 + 0.1322x^3 + 0.4833 \cdot x^2 \cdot y + 0.8469 \cdot x \cdot y^2 + 1.428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2} \end{array} \right)$$

$$K_g := 0.242 \quad (4.265)$$

$$F_{1д} := \frac{165.297 \cdot 600(8 - 1)^2}{0.242 \cdot (200 - 8)} = 1.046 \times 10^5 \quad (4.266)$$

Проверим условие прочности обечайки от воздействия опор:

$$Y_{\text{проч}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } F_1 \leq F_{1д} \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y_{\text{проч}} = \text{"Условие выполняется"}$$

Условие прочности выполняется, следовательно, принятые опорные лапы обеспечивают надежность конструкции.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 Поверочный расчет реактора

При поверочном расчёте осуществляется оценка надёжности всей конструкции аппарата во время его работы. Рассмотрим некоторые нагрузки, для которых необходим поверочный расчёт:

– химический реактор не испытывает в процессе работы дополнительных температурных деформаций.

В конструкции реактора нет деформирующихся под действием температуры деталей, которые были бы жёстко закреплены с двух сторон, как это происходит в теплообменных аппаратах;

– опорные нагрузки для реактора были рассчитаны, дополнительных опорных нагрузок реактор не испытывает;

– поскольку реактор располагается в помещении, нет необходимости производить его расчёт на ветровую или снеговую нагрузку;

– предполагается осуществление установки и ведение реактора в эксплуатацию в Новосибирской области. Эта область не подвержены значительному воздействию сейсмической активности, а потому нет необходимости в проведении данного поверочного расчёта.

Таким образом, можно сделать вывод, что в дополнительных поверочных расчётах реактора для нет необходимости.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Повышение энергоэффективности и оптимизация производства одна из передовых целей «ПФК Обновление». Достичь желаемый уровень энергоэффективности можно не только заменой морально и физически устаревшего оборудования, но и модернизацией существующего основного фонда. Интенсивность вышеуказанных мероприятий, в первую очередь, зависит от финансовых возможностей организаций.

В рамках данной выпускной работы предложено оптимизировать и повысить производительность производства ЛП Валерианы настойки на примере применения реактора с гладкой теплообменной рубашкой и перемешивающим устройством на стадии стандартизации и отстаивания продукта.

6.1 SWOT–анализ «ПФК Обновление»

ПФК «Обновление» было основано в 1997г. ПФК «Обновление» — это компания, которая начинала свою деятельность в Сузунском районе, а сейчас работает на бывшей площадке завода медпрепаратов. По йоду и зеленке она, пожалуй, монополист в России, выпускает все 100 процентов этого вида лекарств, производит еще большую линейку новых медицинских растворов. Эта компания сегодня не только одна из лучших в России. По качеству она на уровне передовых зарубежных фармацевтических компаний. До 2008 года компания выпускала в основном только твердые лекарственные средства (таблетки). С 2008 года было приобретено новое оборудование по производству и розливу стерильных препаратов. В 2018 г запустили производство галеновых препаратов. За счет запуска производства компания смогла нарастить свою долю на рынке в этом спектре продукции в упаковках с 10-15% до 25%.

В середине 2020 года ПФК «Обновление» намерено открыть в Сузуне еще одну производственную площадку по производству до 15 видов мазей.

Сейчас эту продукцию компания производит в тестовом режиме на основной новосибирской площадке на улице Станционной. Здесь отрабатываются технологии

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

и методы контроля за производством, которое будет размещаться в Сузуне. В месяц на новом производстве компания планирует выпускать около 3 млн упаковок мазей. На основной площадке в Новосибирске в первом квартале 2020 года компания намерена запустить пятиэтажный цех по производству таблетированной формы лекарственных препаратов.

ПФК «Обновление» является лидером российского фармрынка на сегменте продукции стоимостью до 100 рублей — около 10%. Задача ПФК «Обновление» на ближайшие два года — занять первые места в категории продукции по цене от 100 до 300 рублей. Сегодня компания выпускает каждую 30 упаковку лекарственных препаратов (сейчас выпуск составляет 15-20 млн упаковок в месяц). Задача — к концу 2021 года выйти на производство 300 млн упаковок в год. Последние 5 лет среднегодовые темпы прироста производства компании составляют от 20 до 50%.

На основе всего выше сказанного проведет комплексный анализ сильных и слабых сторон предприятия. Данные по SWOT – анализу представлены в таблице 5.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						111
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5 - SWOT – ПФК «Обновление»

	<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование нового высококачественного оборудования; 3. Повышение квалификации персонала 	<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Появление новых конкурентов; 3. Большое количество конкурентов;
<p>Сильные стороны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Выгодное расположение в Сибирском регионе, близость с административным центром; 2. Обеспечение местных жителей рабочими местами; 3. Применяемое оборудование сертифицировано и имеет разрешение Ростехнадзора 	<p>Результаты полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет повышения качества продукции по мировым стандартам увеличим рынок сбыта продуктов; 2. За счет увеличения ассортимента продуктов – эффективно продвигать товар на рынке, пользующийся большим спросом; 	<p>Результаты полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет качества и увеличения ассортимента исключить угрозу появления новых конкурентов; 2. Использование качественной продукции. 3. Возможность для местных жителей трудоустроиться на высокотехнологичное производство.
<p>Слабые стороны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нехватка квалифицированных кадров; 2. Старение высококвалифицированных рабочих. 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет использования новых автоматизированных технологий уменьшить трудозатраты персонала на совершение операций; 2. За счет повышения квалификации персонала исключить возможность появления чрезвычайных и аварийных ситуаций 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет снижения затрат на производство повысить конкурентоспособность продукции; 2. Привлечение молодых специалистов.

6.2 Анализ эффективности действующего производства. Расчет производственной мощности предприятия

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

$$M = P_{\text{час}} \times T_{\text{эф}} \times K_{\text{об}} \quad (6.1)$$

$$M=170*7512*1=1277040 \text{ кг/год}$$

где Пчас - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

Тэф – эффективный фонд времени работы оборудования;

Коб – количество однотипного оборудования.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{эф} = T_{ном} - T_{ппр} - T_{то} \quad (6.2)$$

$$T_{эфф} = 365 - 42 - 10 = 313$$

где Tном – номинальный фонд работы оборудования;

Tппр – время простоя в ремонтах за расчетный период;

Tто – время технологических остановок.

$$T_{ном} = T_{кал} - T_{вых} - T_{ппр} \quad (6.3)$$

$$T_{ном} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где Tвых – количество выходных дней в году;

Tппр – количество праздничных дней в году.

Таблица 6 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
– выходные	0(0)
– праздники	0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365(8760)
Простой оборудования в ремонтах	42 (1008)
Простой оборудования по технологическим причинам	10 (240)
Эффективное время работы оборудования	313(7512)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования находим по формуле:

$$K_{экс} = \frac{T_{эф}}{T_{н}} \quad (6.4)$$

$$K_{экс} = 7512/8760 = 0,857$$

										Лист
										113
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066629.001 ПЗ					

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = \frac{Q_{\text{пп}}}{Q_{\text{макс}}} \quad (6.5)$$

$$K_{\text{инт}} = 180/200 = 0,9$$

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

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

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \times K_{\text{инт}} \quad (1.272)$$

$$K_{\text{им}} = 0,857 \times 0,9 = 0,77$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \times M \quad (6.6)$$

$$N_{\text{год}} = 0,77 \times 1277040 = 983320,8 \text{ кг}$$

6.3 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						114
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7 – Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик	ИТР	Высшее	1	1
ИТОГО			3	
Мастер	Производственный персонал	6	4	2
Аппаратчик	Производственный персонал	5	8	2
ИТОГО			12	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4	4	2
Дежурный электрик	Ремонтный персонал	4	4	2
Наладчик КИП	Ремонтный персонал	5	4	2
ИТОГО			12	
ИТОГО			27	

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника

Таблица 8 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни -выходные -праздники	104 14	832 96
3	Номинальный фонд рабочего времени	247	7832
4	Планируемые невыходы – очередные и дополнительные отпуска – невыходы по болезни – декретные отпуска – отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	28 14 0 0 0	224 112 0 0 0
5	Эффективный фонд рабочего времени	207	7496

Таблица 10 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм	Цена тыс.руб	Расход, т		Затраты, т	
			На единицу готовой продукции	На весь объём производства	На единицу готовой продукции	На весь объём производства
Валерианы корневища	т	2	0,2	204,0	0,4	408,0
Спирт этиловый	т	4	0,8	1021,6	3,2	4086,4

5. Расчет амортизационных отчислений

Таблица 11 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб
Здания			
Административно бытовые	3000	5	150
Пультовая	5000	5	250
Итого			400
Оборудование			
Перколятор	1500	10	150
Центрифуга	1000	10	100
Реактор	700	10	70
Насос Н-1	450	10	45
Насос Н-2	450	10	45
Итого			410
			810

Экономический эффект от внедрения нового реактора

Расчет экономического эффекта реактора выполняется по формуле:

$$\mathcal{E}_m = \frac{P_2 - \mathcal{Z}_2}{k_n + E_n} \quad (6.8)$$

где:

$P_{Г}$ – стоимостная оценка результатов использования усовершенствованного реактора;

$Z_{г}$ –затраты на реализацию, ч;

$k_{п}$ – норма реновации основных фондов, определяемая с учетом фактора времени,

$k_{п} = 0,0061$;

$E_{н}$ –норматив эффективности капитальных вложений, $E_{н} = 0,1$.

Затраты на реализацию проекта состоят из капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Сумма капитальных вложений будет состоять из стоимости нового реактора, и затрат на вспомогательные материалы.

Изучив коммерческие предложения, было выяснено что реактор стоит 700 тысяч рублей. Затраты на вспомогательные материалы (болты, смазки и пр.) заложим 10% от суммы капитальных вложений, 70 тыс. руб.

Рассчитаем заработную плату сотрудников, привлеченных к реализации предложения по повышению производительности реактора.

Премиальная (дополнительная) часть заработной платы составляет 20 % от оклада.

В расчете принимаем 7500 руб.

Районный коэффициент для Новосибирской области – 1,25.

Таким образом, затраты на заработную плату сотрудников составят 32875 руб.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) Z_{зп} = 0,35 \cdot (18800 + 7500) = 9205 \text{ руб.} \quad (1.276)$

где:

$K_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и пр.), 30,2-38,5%.

Фонд заработной платы по данному проекту составляет 35505 руб.

При расчете экономического эффекта от внедрения предложения затраты на проведение тех. обслуживания и ремонта не будут учтены из – за того, что

периодичность ремонта и обслуживания реакторов не измениться в результате модернизации, и будут проводиться согласно инструкции завода – изготовителя.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Операция	Персонал	Время, смена	Оклад за смену, руб./смена	Сумма, руб.
Монтаж				
Установка реактора на опоры	1 мастер 2 рабочих	½ смена	2800 1800	3200
Приварка, монтаж трубопроводов	5 рабочих	1 смена	1800	9000
Сборка оборудования				
Сбор оборудования, испытания	1 мастер 2 рабочих	1 смена	2800 1800	6400
Итого				18800

$$C_{эл} = P \cdot t \cdot T \quad (6.11)$$

$$C_{эл} = 45 \cdot 7512 \cdot 4 = 1051.680 \text{ тыс. руб.}$$

где:

P – мощность установки, кВт;

t – среднее время работы установки в месяц, ч;

T – тариф за электроэнергию, кВт*ч/руб. Произведем расчет экономического эффекта

$$\Delta T = 1051.680 - 770 / 0,0057 + 0,1 = 2664,900 \text{ тыс.руб.} \quad (6.12)$$

где:

$R_{г}$ – стоимостная оценка результатов использования усовершенствованного реактора;

$Z_{г}$ – затраты на реализацию, ч;

$k_{п}$ – норма реновации основных фондов, определяемая с учетом фактора времени,

$$k_{п} = 0,0057;$$

$E_{н}$ – норматив эффективности капитальных вложений, $E_{н} = 0,1$.

Вычислим себестоимость продукции после внедрения нового реактора

$$\text{Эффект} = V_{пр} - \Delta T \quad (6.13)$$

$$\text{Эффект} = 11589 - 2664,9 = 8924,1 \text{ тыс.руб.}$$

Как было заявлено ранее, замена оборудования позволит эффективно, а главное с небольшими затратами:

– сократить время технологического процесса, тем самым повысить производительность;

– сократить количество часов, необходимых на обслуживание оборудования;

– сокращение межремонтных сроков службы рассматриваемого объекта, а следовательно, и сокращение времени простоя технологической линии.

А так же снизить себестоимость продукции на 20,3% , тем самым увеличить прибыль на 2664 тыс. руб.

7 Социальная ответственность

Введение

В рамках данного раздела выпускной квалификационной работы изложены вредные и опасные факторы производства галеновых препаратов, представлены пути нейтрализации либо минимизации их вредного влияния на работников, даны рекомендации по предотвращению чрезвычайных ситуаций путем поддержания оборудования и технических средств в исправном состоянии, своевременным ремонтом, герметизацией аппаратов, поддержанием режима, утвержденного в технологическом регламенте для установки.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня.

Основная цель производственной безопасности - предотвращение и минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах, выявление вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного аппарата.

Деятельность «ПФК Обновление» ведется в соответствии с законодательством Российской Федерации, внутренними нормативными документами, политиками и процедурами завода.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном пункте приводятся особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта. Например, виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, запрещение использования труда женщин и подростков, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания и т.д.

При эксплуатации реактора, согласно Трудовому кодексу , ограничивается применение труда женщин при работах с вредными и (или) опасными условиями

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

труда, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию, а также, запрещается применение труда лиц в возрасте до восемнадцати лет на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на подземных работах, а также на работах, выполнение которых может причинить вред их здоровью и нравственному развитию. Также, работнику в обязательном порядке предоставляются краткосрочные внеплановые и ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска.

Предприятие работает 24 часа в сутки, рабочий процесс осуществляется попеременно двумя сменами по двенадцать часов: с 8 до 20 часов – дневная смена, с 20 до 8 часов – ночная смена. После 4 часов работы с начала смены каждому работнику предоставляется часовой обеденный перерыв.

Машины, механизмы и другое производственное оборудование, химические вещества, средства индивидуальной и коллективной защиты работников, должны соответствовать государственным нормативным требованиям охраны труда и иметь декларацию о соответствии или сертификат соответствия.

Рабочие и служащие, занятые на тяжелых и вредных работах, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные предварительные при поступлении и периодические медицинские осмотры для определения пригодности их к поручаемой работе и предупреждения профессиональных заболеваний. Каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда, обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом, получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов, отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности, обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		123

труда за счет средств работодателя, обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя, личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, внеочередной медицинской осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра, гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

7.2 Специальные нормы трудового законодательства

Характерными заболеваниями на таком производстве являются хронические и аллергические заболевания органов дыхания, кожи, переднего отрезка глаза. Для профилактики заболеваний подобного рода необходимо проходить профилактические осмотры не реже 1 раз в год.

В соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации [32], а именно статьями 92, 117, 147 и 222, работники, задействованные на предприятиях с вредными или опасными производственными факторами, имеют право на следующие льготы:

- предоставление дополнительного оплачиваемого отпуска длительностью не менее 7 календарных дней;
- повышение заработной платы на величину, составляющую не менее 4% от оклада работников, занятых на должностях с нормальными условиями труда.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		124

7.3 Компоновка оборудования

В соответствии с нормами и правилами производственные здания имеют прямоугольную форму.

Многопролетные здания должны компоноваться из параллельно расположенных пролетов, ширину и высоту которых следует принимать одинаковыми. Так ширина пролетов одноэтажных и двухэтажных зданий равна 18, 24, 30 м.

Многоэтажные здания следует проектировать шириной не менее 18 м. Шаг колонны составляет 6 и 12 м, высота этажей 4,8 м и 6 м.

Компоновка оборудования включает также проектирование самих помещений:

1. Производственные помещения, в которых располагается основное технологическое оборудование.
2. Прицеховые помещения, где хранится запас того или иного сырья, которое используется для получения полимера.
3. Слесарные мастерские, где производится мелкий ремонт оборудования.
4. Бытовые помещения, гардеробные, помещения для сушки, для обеспыливания одежды, уборная, душевая, курилки.

В основных помещениях предусмотрены отделения для теплового пункта, водокolleкторная, операторные помещения. Также предусмотрены помещения для химических лабораторий.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса. Эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливать его соответствие антропометрическим, физиологическим, психофизиологическим и психологическим свойствам человека и обусловленным этими свойствами гигиеническим требованиям с целью сохранения здоровья человека и достижения высокой эффективности труда, к тем его элементам, которые сопряжены с человеком при

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						125
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования.

При установлении эргономических требований к производственному оборудованию необходимо рассматривать оборудование в комплексе со средствами технологической и в необходимых случаях организационной оснастки.

Перед запуском в работу проводится осмотр основного оборудования с целью устранения возможных проблем и неполадок. Уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

На предприятии разработаны санитарные требования к территории, водоснабжению, канализации, зданиям и помещениям, оборудованию, инвентарю, тарам, сырью и технологическому процессу.

7.4 Производственная безопасность

Производственная безопасность — это неотъемлемая организация обстановки, исключающей возникновения заболеваний, связанных с трудовой деятельностью и возникновение травм на рабочем месте, которая является одной из основных задач при организации труда так как охрана здоровья, обеспечение безопасной трудовой деятельности, минимизация возникновения заболеваний и

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						126
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

травм, полученных в процессе работы составляет одну из главных забот человеческого общества.

Реактор для стандартизации настоек является взрывопожароопасным объектом. Применяемые в производстве этиловый спирт является опасными для здоровья человека.

Вредное влияние, оказываемое спиртом и медикаментозной пылью на организм человека при систематическом соприкосновении с ними или вдыхание их паров спирта, пыли может привести к профзаболеваниям и отравлениям.

Анализ причин пожаров, взрывов и несчастных случаях на предприятиях показывает, что в подавляющем большинстве они возникли из-за несоблюдения графика планово-предупредительного ремонта, из-за отклонения технологического режима, а зачастую из-за незнания или грубого нарушения техники безопасности. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды (включающей в себя технологические площадки и рабочие зоны) представлены в таблице 14.

Таблица 14 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	работ	овлен	лугата	
1. Химически опасные и вредные вещества	+	+	+	- ГОСТ Р 51723-2001 Спирт этиловый пищевой 95%-ный [21]
				- ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества.[22]
2. Повышенный уровень шума	+	+	+	- Классификация и общие требования безопасности [23] ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности» [24]. - СП 51.13330.2011. Защита от шума. [25] - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [26].
				- ГОСТ 30494-2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [27]. - СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [28].
3. Отклонение показателей микроклимата		+	+	

Продолжение Таблицы 14

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ				Нормативные документы
	а0	а1	а2	а3	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.		+	+		-СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [29]. -ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [30]
5. Взрывоопасность.	+	+	+		- ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [31]
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;			+	+	- ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. [32]

1. *Химически опасные и вредные вещества*

Спирт этиловый представляет собой бесцветную, прозрачную, горючую жидкость со специфическим запахом.

В зависимости от дозы, концентрации, пути попадания в организм и длительности воздействия этанол также может обладать наркотическим и токсическим действием. Под наркотическим действием обозначается его способность вызвать кому, ступор, нечувствительность к боли, угнетение функций ЦНС, алкогольное возбуждение, привыкание, а также его наркотическое действие. Основным метаболитом этанола ацетальдегид является токсичным, мутагенным и канцерогенным веществом.

Этанол может наносить вред здоровью и при вдыхании паров при достаточно большой концентрации. В РФ установлена ПДК этого вещества: 1000 мг/м³ (среднесменная, за 8 часов) и 2000 мг/м³ (максимально-разовая), 4 класс опасности.

Длительное употребление этанола может вызвать такие заболевания, как цирроз печени, гастрит, некротизирующий панкреатит, язва желудка, рак груди, рак желудка и рак пищевода (то есть является канцерогеном), гемолитическая анемия,

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		128

артериальная гипертензия, инсульт, стать причиной внезапной смерти людей, страдающих ишемической болезнью сердца; может вызвать серьёзные нарушения обмена веществ. Алкоголь может увеличить риск рождения ребёнка с врождёнными аномалиями нервной системы и обусловить задержку роста. Употребление этанола может вызвать оксидативное повреждение нейронов головного мозга, а также их гибель вследствие повреждения гематоэнцефалического барьера. Злоупотребление алкогольными напитками может привести к клинической депрессии и алкоголизму.

При работе со спиртом применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011-89, ГОСТ 12.4.103-83. Для индивидуальной защиты в местах с концентрацией паров спирта, превышающей ПДК, применяют противогазы марки БКФ, шланговые противогазы марки ПШ-1 или аналогичные в соответствии с ГОСТ 12.4.034-2017.

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты. Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80. Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021-75. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.

2. *Повышенный уровень шума.*

Основным источником шума является насос внутренней перекачки. Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются

уровни звуковых давлений в октановых полосах 78 дБА со среднегеометрическими частотами 500 Гц. А нормирующий уровень 80 дБА.

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие:

- размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;
- расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малозумных помещений;

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		129

Вдоль границы территории цеха устроено охранное освещение.

5. *Взрывоопасность.*

Основным источником возникновения взрыва является разгерметизация оборудования и утечка газа. Взрыв смеси может произойти только при определенных соотношениях горючих газов с воздухом или кислородом, характеризующихся нижним и верхним пределами взрываемости. Нижним пределом взрываемости называется то минимальное содержание газа или пара в воздухе, которое при воспламенении может привести к взрыву. Верхним пределом взрываемости называется то максимальное содержание газа или пара в воздухе, при котором в случае воспламенения еще может произойти взрыв. Опасная зона взрываемости лежит между нижним и верхним пределами.

Для предотвращения возможности возникновения взрыва необходимо:

- уменьшить или исключить наличие веществ, способных образовывать взрывоопасные смеси;
- установить детекторы газа или потока, совмещённые с системой аварийной сигнализации;
- контролировать герметичность установок, трубопроводов и другой технологической аппаратуры
- соблюдать правила работы со взрывоопасными веществами.

В ходе производственной практики было выявлено что блок гидроочистки может привести к химическому удушению, а также есть опасность взрыва горючих веществ, с целью обезопасить этот фактор, на оборудование устанавливается предохранительный клапан, который производит сброс давления на выкидную линию.

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

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		131

- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные.

Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарномонтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
- Изоляция токопроводимых частей;
- Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- Использование средств защиты и приспособлений.

7.5 Экологическая безопасность

7.5.1 Твердые и жидкие отходы, сточные воды, выбросы в атмосферу

На установке в процессе производства накапливаются твердые отходы – отработанное сырье.

Отработанное сырье должно храниться на территории в специальных для этого контейнерах до формирования транспортной партии. Периодичностью один раз в квартал данные отходы должны отправляться на утилизацию (сжигание) в специальные организации по уничтожению отходов фармацевтических, медицинских производств.

Для защиты гидросферы от вредных веществ, имеющих возможность попасть в среду через стоки предприятия, сточные воды от промывки оборудования

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						132
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

и мытья полов должны быть направлены в химзагрязненную канализацию и далее на установку локальной очистки сточных вод для очистки.

При эксплуатации аппарата количество образующихся паров спирта не оказывает существенного влияния на атмосферу.

7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее опасной чрезвычайной ситуацией на данном производстве следует принять возникновение пожара.

Причинами возникновения данных ЧС могут являться:

- технические неполадки, в результате которых происходит отклонение технологических параметров, с последующим разрушением оборудования;
- неосторожное обращение с огнем при производстве ремонтных работ; события, связанные с человеческим фактором;
- внешнее воздействие техногенного или природного характера;
- повышенная температура воздуха и предметов;
- пониженная концентрация кислорода в воздухе.

В случае возникновения пожара немедленно сообщить об этом начальнику цеха или механику, а также караулу ВОХР по телефону 12-45. При необходимости остановить машины, агрегаты, выключить электродвигатели и вентиляторы, закрыть двери, окна, люки и прочие отверстия, выходящие в соседние помещения и наружу, и приступить к ликвидации огня. До прибытия пожарной команды лицо, ответственное за пожарную безопасность (начальник цеха, а при его отсутствии механик) обязано принять на себя руководство работой по тушению пожара. Одновременно с тушением пожара принять меры по спасению людей, защите и эвакуации имущества.

Лица, виновные в нарушении настоящей инструкции, привлекаются к строгой ответственности в соответствии с действующим законодательством.

Для тушения пожара применяются разнообразные средства. В зависимости от физико-химических свойств, применяемых в производстве веществ, и технологического процесса применяются: вода в виде струи; вода в распылённом

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		133

состоянии; песок; огнетушитель воздушно-пенный ОХВП-10; огнетушитель углекислотный ОУ-2, ОУ-5, О

У-8; передвижной углекислый огнетушитель УП-2М. порошковый огнетушитель.

Для предотвращения пожара рабочее место обеспечено системой предотвращения пожара, направленная на минимизацию ущерба на людей от пожара и ограничения ущерба от него, проведены организационные мероприятия, обеспечено наличие технических средств, уменьшающих риск возникновения пожара.

Мероприятия, которые проводятся для обеспечения пожаробезопасности:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуацию людей в случае пожара;
- применение средств индивидуальных и коллективных средств защиты от огня;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта.

На участках с непосредственным контактом с водой необходимо следить за тем, чтобы вода не попадала на электропроводку и распределительные коробки для избегания короткого замыкания и возникновения пожара.

Категорически запрещается загромождать проходы, эвакуационные выходы, первичные средства пожаротушения, а также подходы к электрощитовым.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						134
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вывод

В данном разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, выявлены вредные и опасные факторы, а также разработаны мероприятия по снижению или ликвидации действия данных факторов на работников завода. Описано возможное влияние различных факторов на окружающую среду, рассмотрены способы минимизации их воздействия. Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и профилактические мероприятия для их предотвращения и ликвидации.

Данные по разделу могут быть введены в производство, но с использованием дополнительных данных и расчетов.

Заключение

В рамках данной дипломной работы был произведен технологический и конструктивно-механический расчет аппарата с перемешивающим устройством и гладкой рубашкой, предназначенного для стадии отстаивания и стандартизации при производстве настоек.

В результате произведённых расчетов были определены основные геометрические параметры аппарата, рассчитаны штуцера, фланцевое соединение, опоры, подобраны привод и стойка для перемешивающего устройства, а также выбрана мешалка.

По результатам механических расчетов, представленных в разделе 4, можно сделать заключение, что все подобранные элементы конструкции удовлетворяют условиям прочности и устойчивости, вал перемешивающего устройства так же удовлетворяет условиям жесткости и виброустойчивости.

В связи с чем, результаты данной работы могут быть применены для подбора аппарата и использования его на действующих промышленных предприятиях, специализирующихся на подобной продукции.

В качестве примера заинтересованного предприятия можно привести «ПФК Обновление». В разделе «Финансовый менеджмент» произведен SWOT-анализ и оценен научно-технический эффект и конкурентоспособность данной разработки.

Помимо вышеуказанного в работе приведён раздел «Социальная ответственность», где отражены рекомендации по безопасной работе персонала с данным аппаратом и рассмотрены вопросы обеспечения охраны окружающей среды.

Список использованных источников

1. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ м, 2017. — 56 с. — Государственные стандарты.
2. Лацинский, А. А.. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. — Москва; Ленинград: Машгиз, 1963. — 464 с.: ил.. — Библиогр.: с. 465-468.
3. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ м, 2017. — 56 с. — Государственные стандарты.
4. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : учебное пособие для вузов / М. Ф. Михалев [и др.]; под ред. М. Ф. Михалева. — 2-е изд., испр. и доп.. — Москва: АРИС, 2010. — 310 с.: ил.
5. ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2017. — 134 с. — Государственные стандарты.
7. ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2005. — 49 с. — Государственные стандарты
8. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2017. — 121 с. — Государственные стандарты.
9. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2). — Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1985. — 115 с. — Государственные стандарты.

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		137

10. Беляев В. М., Расчёт и конструирование основного оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами: учебное пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов, В. В. Тихонов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 92 с.

11. АТК 24.201.17-90 Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования. — Изд. офиц. М.: Министерство тяжёлого машиностроения СССР, 1991 год. — 49 с. — Альбомы типовых конструкций.

12. Расчёт химического аппарата с механическим перемешивающим устройством: Методические указания / Сост: Л. Н. Аксенов, Н. Н. Лясникова, С. А. Кунавин, Е. С. Соколов-Бородкин, В. Ф. Хвостов, В. Н. Чечко. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005. — 88 с.

13. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч. II. Толстостенные сосуды и вращающиеся детали / сост. В.М. Беляев; Томский политехнический университет. — 2-е изд., испр. и доп. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. — 196 с.

14. РД РТМ 26-01-72-82 Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета. — Изд. офиц. Л.: РТП ЛенНИИхиммаша, 1982 год. — 58 с. — Руководящие документы.

15. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2). — Изд. офиц. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. — 21 с. — Государственные стандарты.

16. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2017. — 48 с. — Государственные стандарты.

17. Лазинский, А. А.. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. — Москва; Ленинград: Машгиз, 1963. — 464 с.: ил.. — Библиогр.: с. 465-468.

18. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. — Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры» (АО ЦКБН), 1995. — 46 с. — Альбомы типовых конструкций.

19. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию: учебное пособие / под ред. Ю. И. Дытнерского. — Изд. стер.. — Москва: Альянс, 2015. — 493 с.: ил., черт.

20. Перри, Джон Г.. Справочник инженера-химика : пер. с англ. : в 2 т. / Д. Г. Перри; под ред. Н. М. Жаворонкова. — Ленинград: Химия, 1969.

21. ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. — Изд. офиц. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. — 49 с. — Государственные стандарты.

22. ГОСТ Р 51723-2001 Спирт этиловый пищевой 95%-ный. Технические условия. - М.: Стандартиформ, 2018. — 9 с. — Государственные стандарты.

23. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартиформ, 2007— 9 с. — Государственные стандарты.

24. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание). М.: Стандартиформ, 2019.

25. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1). Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2010.

26. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

27. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартиформ, 2019.

28. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

29. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

30. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. М.: Стандартинформ, 2016.
31. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования (с Изменением N 1). Система стандартов безопасности труда. Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
32. ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. М.: Стандартинформ, 2009.
33. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020). Консультант плюс.
34. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
35. ГОСТ 12.4.103-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация. Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. -М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
36. ГОСТ 12.4.034-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка. М.: Стандартинформ, 2019.
37. ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляционные. Общие требования (с Изменением N 1). Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
38. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. М: Минрегион России, 2011.
39. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие / под ред. К. Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. — Изд. 7-е, перераб. И доп. Изд-во «Химия»— Ленинград., 1969. — 624 с.:

					ФЮРА.066629.001 ПЗ	Лист
						140
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А
(обязательное)

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
				<u>Документация</u>		
			ФЮРА.066629.001 ПЗ	Пояснительная записка	1	
			ФЮРА.066629.002 ВО	Реактор с мешалкой и рубашкой	1	
			ФЮРА.066629.003 ВО	Выносные элементы	1	
			ФЮРА.066629.004 Г2	Схема технологическая	1	
			ФЮРА.066629.005 ТБ	Экономические показатели	1	
				<u>Детали</u>		
		1	ГОСТ 6533-78	Крышка	1	
		2	ГОСТ 6533-78	Днище	1	
		3	ОН 26-01-73-68	Рубашка	1	
		4	ГОСТ 26296-84	Опора	4	
		5	ГОСТ 8732-78	Штуцер	2	Dy=30
		6	ГОСТ 8732-78	Штуцер	2	Dy=50
		7	ГОСТ 8732-78	Штуцер	2	Dy=25
		8	ОСТ 26-2010-83	Люк-лаз	1	
		9	МН 5874-66	Перемешивающее устройство	1	l=450
		10	ГОСТ 9617-76	Обечайка	1	Dy=1600
		11	ГОСТ 8732-78	Патрубок	2	Dy=30
		12	ГОСТ 8732-78	Патрубок	2	Dy=50
				ФЮРА.066629.001 ПЗ		
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		
<i>Разраб.</i>	<i>Сибирцева</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
<i>Пров.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>				у	1
<i>Н.конт</i>					<i>Листо</i>	
<i>Утв.</i>					2	
				Спецификация		ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 3-2К51

Приложение В

(справочное)

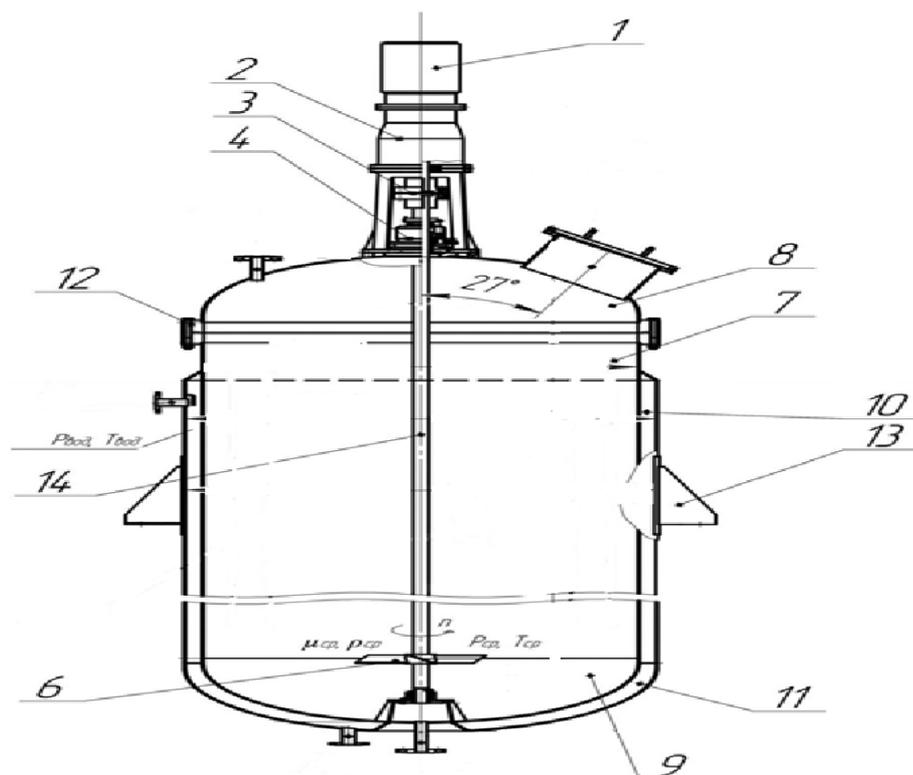


Рисунок 1.В - Расчётная модель реактора для осуществления механического расчёта аппарата

1 – мотор редуктор типа ВО; 2 – стойка привода типа I с концевой опорой; 3 – муфта втулочно-пальцевая; 4 – уплотнение торцевое; 6 – мешалка трёхлопастная; 7 – цилиндрическая обечайка корпуса, 8 – эллиптическая крышка корпуса, 9 – эллиптическое днище корпуса, 10 – цилиндрическая обечайка рубашки, 11 – эллиптическое днище рубашки, 12 – фланец типа шип-паз, 13 – опорная лапа; 14 – вал однопролётный.