

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 **18.03.01 Химическая технология**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Проект вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков				
УДК 66.047.3.049.6:663				
Студент				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна			

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трубченко Т.Г	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г

**Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01 «Химическая технология»
выпуска 2021 г.**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способность воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способность поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способность создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Дополнительная универсальная компетенция университета	
УК(У)-9	Способность проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

Код компетенции	Наименование компетенции
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)-21	Готовность разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способность проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива
Дополнительная компетенция университета	
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

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 **18.03.01 Химическая технология**
 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
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна

Тема работы:

Проект вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков

Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021 №29-63/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Вакуум-сублимационная сушилка Содержание сухого вещества в исходном напитке – 20 % Конечное влагосодержание высушенного напитка - 6% Производительность сушилки по исходному продукту – 11 кг/ч</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение Обзор литературы Технологический расчет Конструктивный расчет Механический расчет Финансовый менеджмент; ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Технологическая схема 2. Вакуум-сублимационная сушилка. Вид общий 3. Вакуум-сублимационная сушилка. Выносные элементы</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент Трубченко Татьяна Григорьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Старший преподаватель Скачкова Лариса Александровна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>24.04.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		24.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна		24.04.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа 155 страницы., 24 рисунка, 32 таблицы, 68 источников, 3 приложения

Ключевые слова: вакуум-сублимационная сушка, сублимационная сушилка, сублиматор, десублиматор, конденсатор, сублимация, быстрорастворимые напитки.

Объектом исследования является (ются) вакуум-сублимационная сушилка для производства быстрорастворимых напитков, десублиматор

Цель работы – спроектировать вакуум-сублимационную сушилку для производства быстрорастворимых напитков

В процессе исследования проводились технологический, конструктивный, механический расчеты

В результате исследования был описан метод сублимации, охарактеризованы основные типы вакуум-сублимационных установок и вакуумные системы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: вакуум - сублимационная сушилка – имеет диаметр 1000мм, длину 1100мм, необходимая площадь загрузки сублиматора 0,06 м², размер полок 800x700x20 мм, количество полок 6 шт рабочее давление 104 Па, температура сублимации -14 °С, температура полок 50 °С; десублиматор (конденсатор) – высота 570 мм, диаметр 534 мм, размер пластин – 177x390x34 мм, количество пластин 2 шт, температура конденсации -40 °С, площадь 1.1 м².

Степень внедрения: сублимация быстрорастворимых напитков, а так же возможность сублимации других продуктов питания.

Область применения: пищевое производство

В ходе работы было подтверждено, что проектируемая вакуум-сублимационная сушилка соответствует всем предъявленным требованиям технологического проекта

Abstract

Final qualifying work 155 pages, 24 figures, 32 tables, 68 sources, 6 appendices

Key words: vacuum freeze drying, freeze dryer, sublimator, desublimator, condenser, sublimation, instant drinks.

The object of research is (are) a vacuum freeze dryer for the production of instant drinks, a desublimator

The purpose of the work is to design a vacuum freeze dryer for the production of instant drinks

In the course of the research, technological, constructive, mechanical calculations were carried out

As a result of the research, the sublimation method was described, the main types of vacuum-sublimation installations and vacuum systems were characterized.

The main design, technological and technical and operational characteristics: vacuum freeze dryer – diameter 1000 mm, length 1100 mm, required loading area of the sublimator 0.06 m², size of shelves 800x700x20 mm, number of shelves 6 pcs working pressure 104 Pa, sublimation temperature -14 °C, temperature shelves 50 °C; desublimator (condenser) - height 570 mm, diameter 534 mm, plate size - 177x390x34 mm, number of plates 2 pcs, condensation temperature -40 °C, area 1.1 m².

Implementation degree: sublimation of instant drinks, as well as the possibility of sublimation of other food products.

Application: food production

During the work, it was confirmed that the designed vacuum freeze dryer meets all the requirements of the technological project

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе были применимы следующие термины:

Сублимационная сушка (сублимация, лиофилизация): удаление жидкости из замороженного продукта в условиях вакуума, путем перехода из твердой фазы в пар, минуя жидкую фазу.

Десублиматор (конденсатор): аппарат, применяемый в сублимационной сушке, для намораживания льда, путем перехода пара (полученного при сублимации) в твердую фазу (лед), при этом минуя жидкую фазу.

Вакуум (разряжение): давление ниже атмосферного.

Пробное давление: давление при котором проводят испытание аппарата на прочность.

Трубчатый электронагреватель: электронагревательный прибор в виде металлической трубки, которая заполнена теплопроводящим электрическим изолятором.

Сокращения

ФЗ – федеральный закон;

ТК РФ – Трудовой Кодекс Российской Федерации;

ГОСТ – Государственный стандарт;

ТУ – технические условия;

ТЭН – трубчатый электронагреватель;

ВСС – вакуум-сублимационная сушка

ОГЛАВЛЕНИЕ

Реферат.....	6
Abstract.....	7
Определения, обозначения, сокращения	8
ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Типы вакуум-сублимационных установок	17
1.1.1 Вакуумно-сублимационная установка УСС-5.....	17
1.1.2 Вакуум-сублимационная установка В2-ФСБ	19
1.1.3 Вакуумно-сублимационная сушилка непрерывного действия ВСГ.....	20
1.2 Основные вакуумные системы.....	22
1.2.1 Вакуум-насосная система	22
1.2.2 Пароэжекторы	22
1.2.3 Механические (поршневые) вакуум-насосы.....	23
1.2.4 Центробежный крыльчатый насос	24
1.2.5 Поршневой центробежный насос.....	24
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА	26
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	27
3.1 Материальный расчет сублимационной сушилки	27
3.1.1 Определение скорости сублимации.....	27
3.1.2 Определение количество материала при сублимации:	28
3.2 Тепловой расчет сублимационной сушилки	28
3.2.1. Скрытая теплота сублимации.....	28
3.2.2 Количества тепла расходуемое на сублимацию	29
3.2.3 Расчет нагревателей.....	29
3.3 Расчет конденсатора.....	30
3.3.1 Материальный расчет.....	30
3.3.2 Определение поверхности конденсатора, обеспечивающая требуемую скорость откачки.	32
3.3.3 Определим площадь поверхности с учетом наморозки льда.	32
3.4 Тепловой расчет конденсатора	33
3.4.1 Тепловая нагрузка на холодильную установку:	33
3.4.2 Удельный тепловой поток	33
3.4.3 Определение температуры поверхности конденсации в конце цикла	33

3.4.4	Определим тепловую нагрузку на нагреватели.....	34
3.4.5	Определим расход тепла на расплавление замороженного в конденсаторе льда	34
3.4.6	Определим электрическую мощность нагревателей.....	34
4	Конструктивный расчет.....	35
4.1	Расчет сублимационной сушилки.....	35
4.1.1	Определение размеров габаритности	35
4.1.2	Определение размера полок сублиматора.....	36
4.1.3	Расчет диаметра корпуса.....	37
4.1.4	Выбор материала корпуса.....	37
4.1.5	Выбор материала крышки.....	38
4.1.6	Выбор и расчет штуцеров для сублиматора	38
4.2	Расчет конденсатора.....	39
4.2	Расчет конденсатора (десублиматора)	39
4.2.1	Расчет пластин десублиматора.....	39
4.2.2	Расчет корпуса десублиматора.....	40
4.2.3	Выбор материала	41
4.2.3	Выбор материала крышки.....	42
4.2.6	Выбор и расчет штуцеров для конденсатора	42
5	Механический расчет	44
5.1	Расчет сублимационной сушилки.....	44
5.1.1	Расчетные параметры	45
5.1.2	Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 1, рисунок 11).....	47
5.1.3	Расчет толщины стенки эллиптической крышки (позиция №3,4, рисунок 11)	48
5.1.4	Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ	50
5.1.5	Подбор и расчет стандартной опоры аппарата.....	66
5.2	Расчет конденсатора.....	76
5.2.1	Расчетные параметры	77
5.2.2	Расчет толщины стенки конической обечайки	79
5.2.3	Расчет толщины стенки эллиптической крышки	80
5.2.4	Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ	82
5.2.5	Расчет необходимости укрепления отверстий.....	97
5.2.6	Подбор и расчет стандартной опоры аппарата	99
	Выводы проведенного исследования.....	104
6	финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	106

6.1	Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений..	106
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	106
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	107
6.2	SWOT-анализ	109
6.3	Планирование технического проекта	111
6.3.1	Структура научно-технического исследования.....	111
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	113
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	116
6.4	Бюджет технического проекта	120
6.4.1	Материальные затраты на выполнение проекта.....	120
6.4.2	Амортизационные отчисления	121
6.4.3	Заработная плата исполнителей	122
6.4.4	Отчисление во внебюджетные фонды.....	124
6.4.5	Бюджет затрат НТИ.....	124
6.5	Расчет бюджета реализации проекта.....	125
6.5.1	Расчет численности необходимого персонала.....	125
6.5.2	Баланс эффективности годового времени	126
6.5.3	График сменности.....	126
6.5.4	Общий фонд заработной платы рабочих за год.....	127
6.5.5	Расчет затрат на реализацию проекта.....	128
	Заключение	132
7	Социальная ответственность	135
	Введение.....	135
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	135
7.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательств	135
7.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	136
7.2	Производственная безопасность.....	137
7.2.1	Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов.....	137
7.2.2	Анализ вредных производственных факторов	139
7.3	Анализ опасных производственных факторов	143
7.3.1	Электробезопасность.....	143
7.3.2	Пожаробезопасность	143
7.4	Экологическая безопасность	144
7.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	145

Выводы раздела «Социальная ответственность».....	147
Заключение	148
Список литературы:	149
приложения.....	155

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, одним наиболее прогрессивным методом хранения продуктов с наиболее полным сохранением полезных свойств, является метод вакуум-сублимационной сушки. Сублимационная сушка характеризуется как, переход влаги из предварительно замороженного продукта в парообразное состояние, при этом, не переходя в жидкую фазу. Суть сублимационного обезвоживания продуктов – это заморозка и последующее высушивание. Таким образом, исходные свойства, такие как вкус, внешний вид, запах, размер и содержание питательных веществ, остается неизменным, и быстро восстанавливаются после сублимационного обезвоживания [1].

Благодаря сублимационной сушке, продукты приобретают небольшой вес, который достаточно важен для сокращения расходов на транспортировку.

Ассортимент продукции, которые можно подвергать процессу сублимации, не так уж и велик, но при этом сублимационной сушке могут подвергаться продукция фармацевтической сферы, косметической и пищевой. В пищевой сфере сублимационной сушке подвергаются продукты как растительного происхождения, то есть, фрукты, ягоды, соки, чай, овощи, приправы, кофе, так и животного, например, мясо [2].

В данной работе, мы рассматриваем именно вакуумно-сублимационную сушку напитков. Один из самых распространенных напитков, высушенных методом сублимации, является кофе. Как известно, для сублимации используются зерна сорта кофе – робуста. [3].

Зерна кофе, подвергаются варке, в процессе которой из паров (возникающих при варке) извлекаются эфирные масла. Кофейная масса без эфирных масел, подвергается сублимации и дроблению на небольшие гранулы. Полученные гранулы ароматизируют парами полученных эфирных масел [4].

Сублимационная сушка пищевых продуктов имеет ряд преимуществ:

- Уменьшение веса продукта;
- Отсутствие надобности хранения в холодильнике. Продукты после сублимационной сушки, могут длительное время храниться без холодильника;
- Упрощенная реализация (продажа) продукта. Благодаря длительности хранения вне холода, продукты можно реализовывать в торговых точках, не обеспеченных холодильниками;
- Отсутствие надобности хранения в холодильнике.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					13	2
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

Продукты после сублимационной сушки, могут длительное время храниться без холодильника;

- Упрощенная реализация (продажа) продукта. Благодаря длительности хранения вне холода, продукты можно реализовывать в торговых точках, не обеспеченных холодильниками;
- Сохранение свойств продукции [1];

Одним из главных недостатков сублимации является не экономичность, данный вид сушки является достаточно дорогим.

Цель выпускной квалификационной работы: спроектировать вакуум-сублимационную сушилку, для производства быстрорастворимых напитков

Для достижения цели, необходимо выполнить следующие задачи:

- Охарактеризовать метод сублимации;
- Описать уже существующие вакуум-сублимационные установки;
- Составить технологическую схему процесса;
- Произвести технологический расчет сушилки;
- Рассчитать конструкторские размеры сушилки и конденсатора;
- Выбрать используемые материалы, для проектируемой сушилки и конденсатора;
- Провести механический расчет;
- Спроектировать и составить общий чертеж сублимационной сушилки и десублиматора;

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						14
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Как известно, влага из продукта можно удалить благодаря одному из фазовых превращений, таких как:

- Жидкость - пар. Данный процесс происходит при тепловой сушке;
- Твердая фаза - пар. Это непосредственно сублимационная сушка [1].

На рисунке 1 представлена диаграмма равновесия фаз воды, на которой видно условие возникновения каждого фазового превращения.

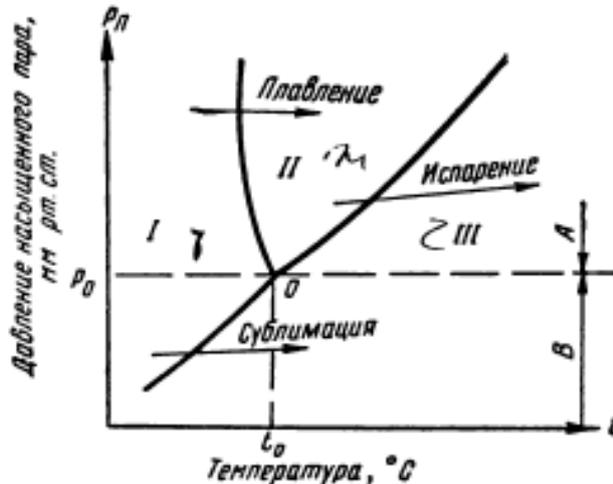


Рисунок 1 – Диаграмма равновесия фаз для воды:

I- область твердого состояния; II- область жидкости; III- область пара [1].

Из диаграммы рисунка 1 видно, что вода, имеющая сразу три фазы, находится в тройной точке (температура равная 0,001 °C и давлению равном 4,58 мм.рт.ст.) Процесс сублимации, на рисунке 1, находится на переходе через пограничную линию лед-пар, слева на право [1].

Остаточное давление в сушильной камере при методе сублимационной сушке, обычно составляет от 1,5 до 0,1 мм.рт.ст. [1].

Аппарат, в котором непосредственно и осуществляется сублимационная сушка продуктов, называется сублиматор. Сам сублиматор состоит из сосуда, который обязательно должен быть герметичным, с внутри расположенными полками. Полки, на которые размещают высушиваемый продукт на поддоны (гастроёмкости) обогреваются теплоносителями или трубчатыми электронагревателями (ТЭН) [5]

Десублиматор представляет собой аппарат для охлаждения парогазовой смеси, образовавшейся при сушке.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ			
изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Трушкина В.С.			Обзор литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Тихонов В.В.					15	11
Консульт.						ТПУ гр. 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП								

В десублиматор поступает хладагент, благодаря которому на трубки, расположенные в десублиматоре намораживается парогазовая смесь.

Так как сублимация происходит под глубоким вакуумом, важную роль в установке имеет вакуум-насос.

Основные этапы сублимационной сушки продуктов:

1) Замораживание продукта. Продукт, который необходимо сублимировать, располагают на гастроремкости (поддоны) и замораживают.

2) Сушка замороженного продукта. Замороженный товар на лотках помещают в сублиматор и герметично закрывают его. С помощью вакуум-насосов создается давление от 13.3 до 66.7 Па. После достижения требуемого по регламенту разряжения, к продукту подводится тепло от нагревательных устройств, вследствие чего замерзшая влага испаряется из высушиваемого продукта. В десублиматоре на трубах, охлажденных хладагентом (аммиаком) намораживается поступивший полученный пар. Температура на данном этапе варьируется от минус 10 до минус 20 °С и по времени занимает от 8 до 10 часов.

При отсутствии скороморозильной камеры, продукт сразу помещается в сублиматор, где создается глубокий вакуум и продукт самозаморозится, за счет испарения влаги.

3) Третий этап – тепловая сушка. После высушивания продукта в сублиматоре при низких температурах, продукт иногда дополнительно подсушивается при плюсовой температуре, в виду того, что на холодный высушенный продукт, выгружаемый из сублиматора, сорбируется влага из воздуха рабочего помещения [5].

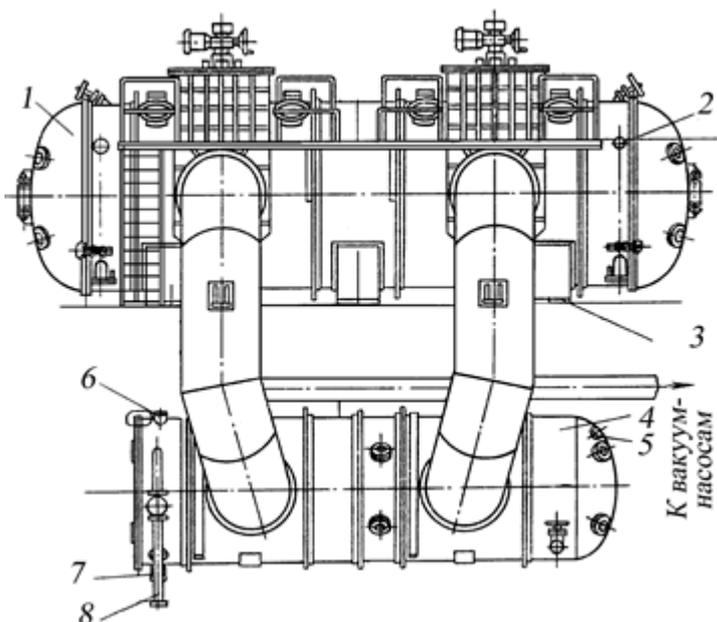


Рисунок 2 – Сублимационная сушилка [5]:

- 1- сублиматор; 2- вход теплоносителя; 3- выход теплоносителя; 4 – десублиматор;
5- вход воды; 6- выход газообразного аммиака; 7- вход жидкого аммиака; 8 – выход воды.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						16
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Рассмотрим сублимационную сушилку, представленную на рисунке 2.

На рисунке 2 видно сублиматор (1), состоящий из горизонтального цилиндра, на торцах которого имеются две полусферические крышки. Для присоединения вакуум-насоса и конденсатора, сублиматор имеет четыре патрубка, по два с каждой стороны, снаружи аппарата так же расположены: люки стыковки проводов, провода термопар, вентили и другое [5].

Нагрев продукта сублимационной сушилки (рисунок 2), осуществляется благодаря горизонтально расположенным, полым плитам с перегородками. Через сильфонные патрубки подается теплоноситель в плиты [5].

Согласно источнику [5] десублиматор – горизонтальный цилиндрический аппарат полый внутри, состоящий из цилиндрического корпуса, с двумя камерами, которые разделены с помощью вакуумно-плоской перегородки, эллиптической и плоской крышки. Хладагент, в качестве которого в основном используется аммиак, подается через трубы, расположенные вертикально в камерах. Для контроля процесса десублиматор имеет смотровые окна. Обе камеры подключены к вакуум-насосам, которые создают давление в десублиматоре до 66,7 Па [5].

Сублиматор и десублиматор соединены четырьмя патрубками с вакуум-затворами. Поддержание параметров процесса осуществляется с пульта управления.

После заморозки продукта, расположенного на противнях, в морозильных камерах до -25... -30°C, отправляют в сублиматор с помощью подвесных рельсовых путей и подвесным тележкам. Непосредственно в сублиматоре, откачивается воздух вакуум-насосами. В процессе сублимации, выделившаяся влага поступает в десублиматор, где намораживается на трубах. Газы, которые не сконденсировались, удаляются в атмосферу.

Вакуум-система отключается, когда продукт достигает температуры 50-55°C. После отключение вакуум-системы, сублиматор девакуумируется азотом. По окончании процесса сублимации, аппарат открывают, и подвесные тележки с продуктом отправляют на расфасовку [5].

1.1 Типы вакуум-сублимационных установок

Рассмотрим основные типы вакуумно-сублимационных установок.

1.1.1 Вакуумно-сублимационная установка УСС-5

Установку УСС-5 (рисунок 3) в основном используют для сублимации напитков, овощей, молочных продуктов и другого [6].

Данная установка включает в себя три блока. В каждом блоке есть десублиматор (7) и сам сублиматор (3). Системы для контроля сушки, для подачи теплоносителя, для создания вакуума, общая для установки [6].

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						17
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

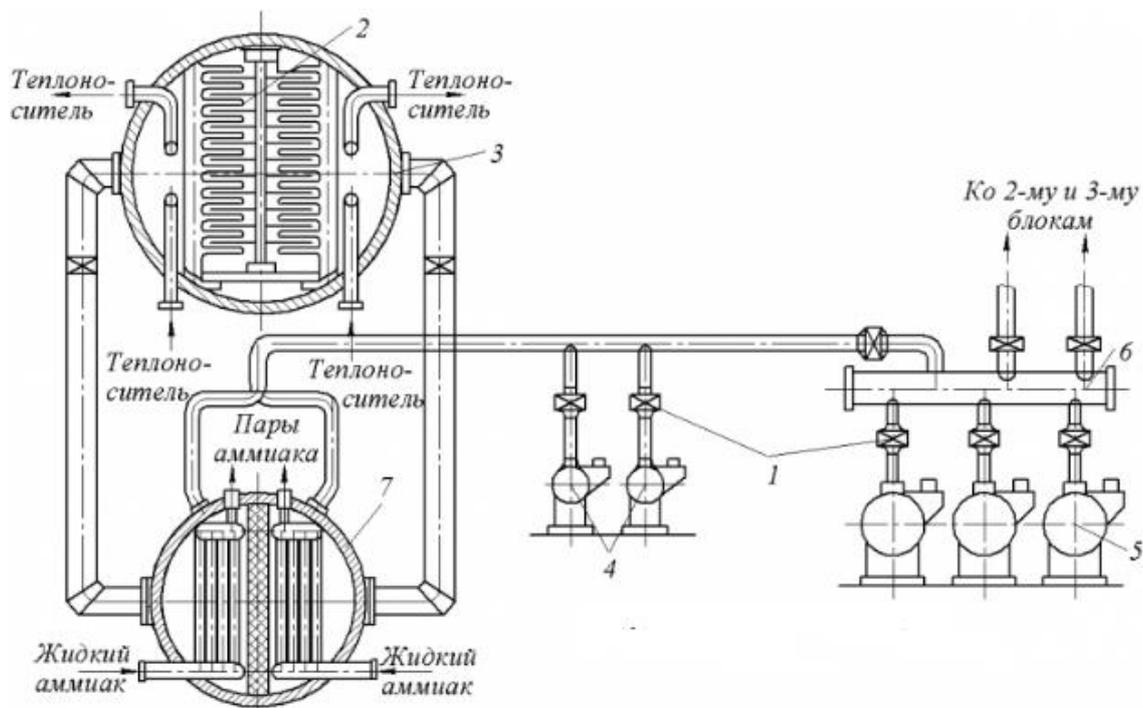


Рисунок 3 – Вакуумно-сублимационная установка УСС-5 [6]

Сублиматор (3) представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус с плитами, которые в свою очередь нагреваются с помощью элементов (2). Количество нагревательных элементов примерно 260 штук. Обогрев элементов осуществляется с помощью дифенильной смеси (ДФС). Благодаря гидравлическому приводу, есть возможность регулировать крышки сублиматора (3) [6].

Конденсатор (десублиматор) (7) представлен в виде цилиндрического корпуса, расположенного горизонтально, при этом внутри имеет вертикальную перегородку. В каждой из камеры есть по четыре трубных секции. В одной камере десублиматора идет вымораживание паров воды, а в другом оттаивание [6].

Для создания вакуума присоединяется вакуум-насосная станция, которая включает в себя три пусковых насоса (5), три основных (4), три резервных (4), вакуумный коллектор (6) и затвор (1) [6].

Холодоснабжение состоит из пяти аммиачных двухступенчатых агрегатов, которые комплектуются с электродвигателем благодаря компрессору [6].

Общая техническая характеристика вакуумно-сублимационной сушилки УСС-5 представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Техническая характеристика сублимационной сушилки УСС-5 [6]

Техническая характеристика	Единицы измерения	Значения
Загрузка	кг	2700-3900
Число циклов	сут	10-15
Продолжительность цикла,	ч	2

Продолжение таблицы 1

Техническая характеристика	Единицы измерения	Значения
Производительность по сырью	т/сут	7,5
Производительность по испаренной влаге	т/сут	6,0
Производительность по сухому продукту	т/сут	1,5
Температура нагревателей	°С	180
Площадь рабочей поверхности десублиматора	м ²	176
Температура поверхности десублиматора	°С	40
Рабочее давление в сублиматоре	Па	60
Установленная мощность	кВт	310
Масса	кг	20500

1.1.2 Вакуум-сублимационная установка В2-ФСБ

Установка В2-ФСБ применяется для сублимации мясных продуктов (фарш, ломтики мяса), молочной продукции и другой [6].

На рисунке 4 представлена установка В2-ФСБ, состоящая из сублиматора (1), десублиматора (2), установки гидропривода (7), трубопровода подачи хладагента (6), коллектора трубопроводом (5), насосного бака (8), направляющих для выдвижения систем контроля (9) [6].

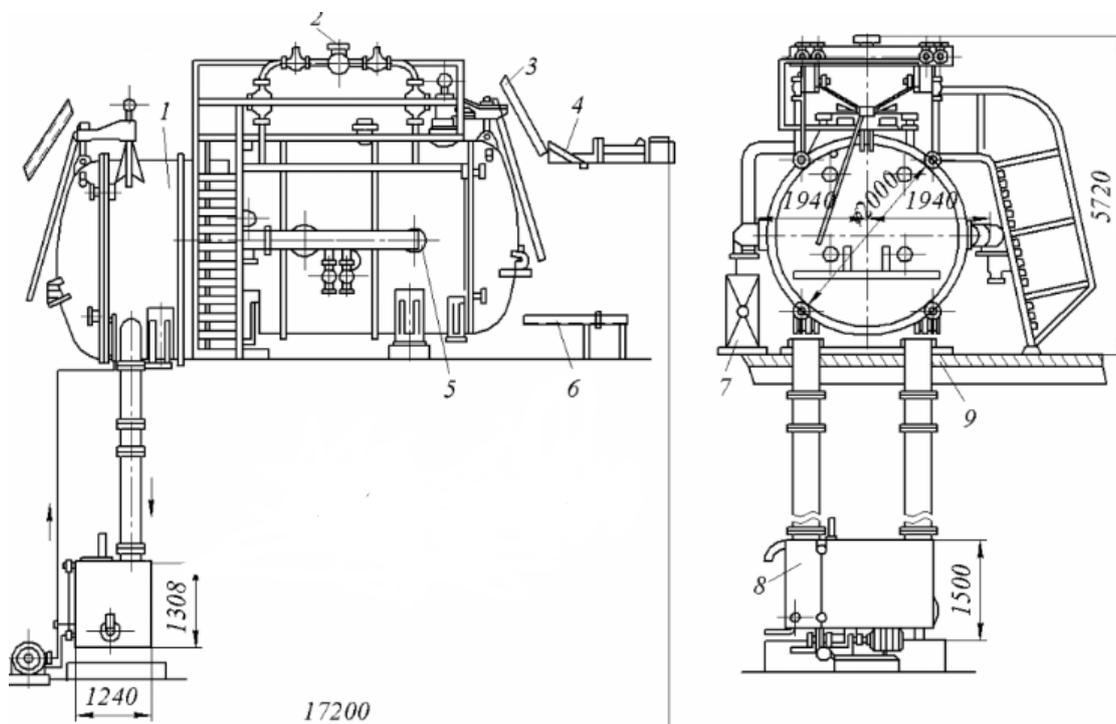


Рисунок 4 – Вакуумно-сублимационная установка В2 - ФСБ [6]

Сублиматор (1) - горизонтально расположенный цилиндрический аппарат, внутри с десублиматором. Подвижные нагревательные устройства и толкатель для передвижения полок с продуктами, так же расположены в самом сублиматоре.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						19
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Десублиматор представляет собой десять секций труб, в которые подается хладагент [6].

В сублиматоре так же расположены тележки, на которые располагаются поддоны с сублимируемым продуктом [6].

В насосную установку (7) входит четыре вакуум – насоса, два типа ВН-500М для начального вакуумирования при давлении 100-50 Па и два насоса ВН-7ГМ применяемых для дальнейшего рабочего процесса. Вакуумметрами контролируют вакуум [6].

Трехфазные тиристорные блоки регулируют мощность на нагревателях. Холодильная установка состоит из двух холодильных агрегатов, где в качестве хладагента используется аммиак [6].

Общая техническая характеристика вакуумно-сублимационной сушилки В2- ФСБ представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Техническая характеристика сублимационной сушилки В2- ФСБ

Техническая характеристика	Единицы измерения	Значения
Производительность по испаренной влаге	кг/сут.	2300
Площадь противней	м ²	106,6
Загрузка противня продуктом,	кг/м ²	10,5
Установленная мощность	кВт	628
Расход воды	м ³ за цикл	21
Расход хладагента при -35°С	кДж/ч	471625
Габаритные размеры сублиматора	мм	8490x5140x4806
Габаритные размеры сушилки	мм	17200x5720x4806
Масса	кг	31970

1.1.3 Вакуумно-сублимационная сушилка непрерывного действия ВСГ

Сублимационная сушилка ВСГ представлена на рисунке 5 [6].

Сублимационная сушилка ВСГ установлена на подъемнике, для регулирования корпуса (4) сушилки, десублиматор и вакуум-насос присоединен к сушилке с помощью патрубка.

В корпусе сублиматора находится вращающийся барабан (5). Барабан состоит из двух участков:

- Сплошной участок, имеет насадки в виде барабанного дозатора (7);
- Перфорированный участок;

Барабанный дозатор закреплен с помощью кронштейнов (6) и содержит в себе подпружиненные клапаны.

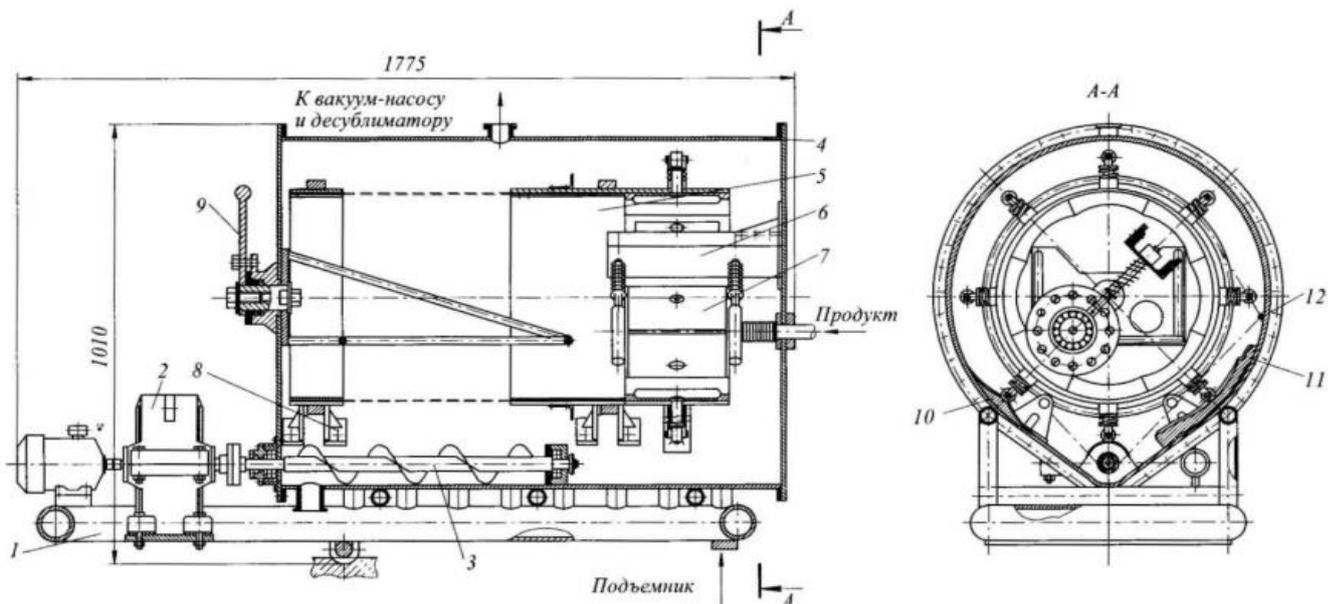


Рисунок 5 – Вакуумно-сублимационная сушилка непрерывного действия ВСГ [6]

В нижней части насадки располагаются подпружиненные толкатели, которые в свою очередь содействуют с неподвижными копирами (10) и (11). На подшипниках качения поставлен барабанный дозатор (7), благодаря валом. Вал дозатора соединен с трубопроводом и патрубком. Панель с инфракрасным нагревом и рукояткой (9) находится в барабане. Разгрузочный шнек (3) соединен с приводом (2) и с цепной передачей. На корпусе сублиматора (4) так же располагаются шлюзовой затвор и патрубок для разгрузки [6].

Процесс работы сублимационной сушилки ВСГ:

- 1) Первоначально с помощью привода (2) обеспеченного устройством для натяжения цепи (12), начинается вращаться барабан (5) и разгрузочный шнек (3);
- 2) Через трубопровод, патрубок (гофрированный) и полый вал жидкий продукт поступает в барабан;
- 3) Заостренные кромки насадок, при вращении барабана (5), зацепляются и за счет этого, происходит перекачивание по насадкам;
- 4) Испарения и самозамораживание под вакуумом, жидкого вещества происходит из-за взаимодействия копира (10) и ролика толкателя;
- 5) После разрушения пористой массы продукта, она поступает в рабочую зону;
- 6) Благодаря вращению барабана происходит измельчение и перемешивание продукта, за счет чего он начинает высыхать;
- 7) В перфорированной части барабана осуществляется досушивание образовавшихся крупных гранул продукта и благодаря трению высохший слой изолируется от гранул. Удаление гранул на конвейер(1) происходит за счет разгрузочного шнека (3) через патрубки [6].

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						21
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Общая техническая характеристика вакуумно-сублимационной сушилки непрерывного действия ВСГ представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Техническая характеристика сублимационной сушилки непрерывного действия ВСГ

Техническая характеристика	Единицы измерения	Значения
Производительность по раствору	л/ч	Не менее 10,0-20,0
Давление в десублиматоре	Па	50-100
Температура панели в десублиматоре	°С	-50
Расход охлаждаемой воды	л/ч	400
Общая потребляемая мощность	кВт	80,0
Габаритные размеры	мм	1775x1010x950

Одной из важных ролей в процессе сублимации и сублимационной установке играет вакуумная система, которая отсасывает от поверхности высушиваемого продукта водяной пар [7].

1.2 Основные вакуумные системы

Рассмотрим основные вакуумные системы, используемые в процессе сублимации.

1.2.1 Вакуум-насосная система

Основное назначение: эвакуировать камеру за минимальное время до давления, при котором замороженный материал легко оттаивать не будет. Необходимое давление 5-1 мм.рт.ст., оно достигается ориентировочно за 10 минут, далее благодаря насосу давление снижается до требуемого для сублимации и непосредственно поддерживается на протяжении всего периода сушки [7].

1.2.2 Пароэжекторы

Процесс работы: пар (давление выше атмосферного), поступает в коническую сужающуюся трубку, которая соединена с эвакуируемым сосудом, через сопло. Пар уносит пары из сосуда и газы через расширяющуюся трубку прямиком в атмосферу. Для создания вакуума эжекторы группируют по четыре и более установки.

Процесс работы: пар (давление выше атмосферного), поступает в коническую сужающуюся трубку, которая соединена с эвакуируемым сосудом, через сопло. Пар уносит пары из сосуда и газы через расширяющуюся трубку прямиком в атмосферу. Для создания вакуума эжекторы группируют по четыре и более установки.

На рисунке 6 представлена схема пароэжектора.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						22
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

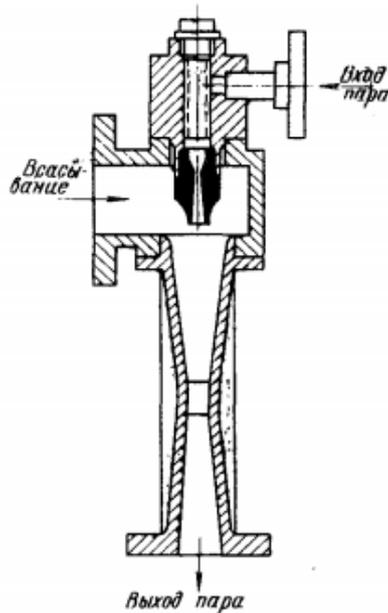


Рисунок 6 – Пароэжектор [7]

На рисунке 7 представлена схема четырехступенчатого пароэжектора с вспомогательным эжектором.

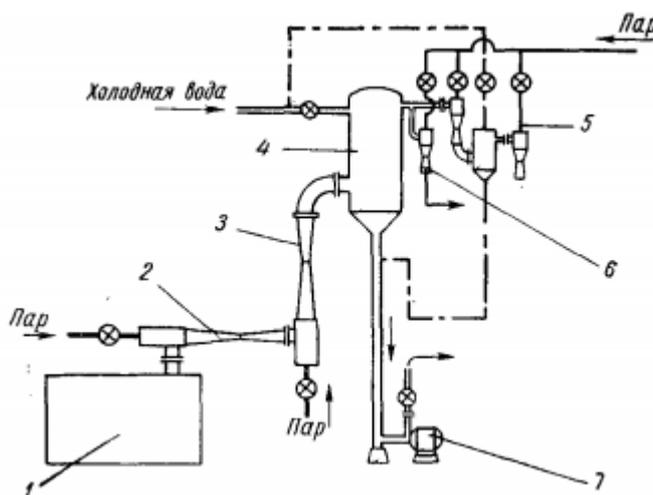


Рисунок 7 - схема четырехступенчатого пароэжектора с вспомогательным эжектором:

1- сушильная камера; 2- форсажное устройство первой ступени; 3 – промежуточное форсажное устройство; 4 – главный конденсатор; 5- двухступенчатый эжектор с промежуточным конденсатором; 6- вспомогательный эжектор; 7- насос для откачивания воды [7].

1.2.3 Механические (поршневые) вакуум-насосы

Могут создавать низкое давление для процесса сублимации. Эвакуированная система создает давление, при котором сам насос не может образовать высокое давления для выброса его в атмосферу, за счет ограниченной площади пространства между поршнем и цилиндром в конце хода [7].

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	Лист
						23
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2.4 Центробежный крыльчатый насос

Данный насос может создавать давление до 1 мкм.рт.ст. Состоит насос из цилиндрического ротора, который установлен в полем цилиндрическом стартере, двух подпружиненных крыльчаток, перемещающихся в диаметральной щели ротора и соприкасающихся с полостью и пластинами [7].

Поршневой и крыльчатый насос обычно применяются вместе и собираются в установку представленной на рисунке 8.

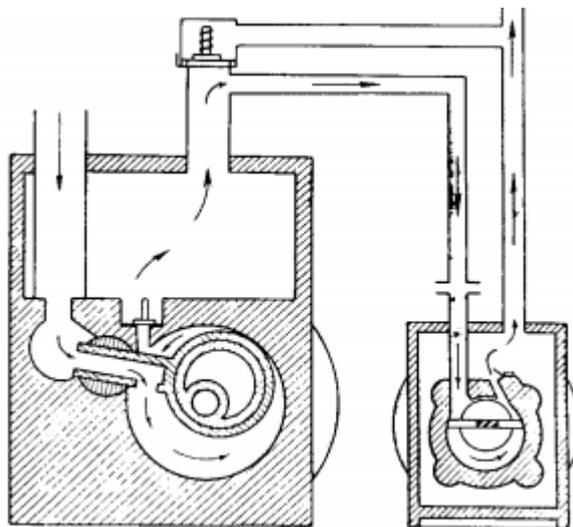


Рисунок 8 – схема установки центробежного поршневого и центробежного крыльчатого насосов [7]

1.2.5 Поршневой центробежный насос

Поршневой насос состоит из цилиндрической полости и центрального вала, несущего эксцентричного укрепленного кулачка.

Принцип работы: Полость разделена центробежным поршнем, который в свою очередь соприкасается с концевыми пластинами и стенкой, в зависимости от мер вращения кулачка, пространство за поршнем увеличивается и туда входит газ, а газ, который находился перед поршнем, сжимается и вытесняется непосредственно через выпускной клапан [7].

Одним из основного пункта в процессе сублимационной сушки является упаковка и хранение уже высушенных продуктов. Важным этот пункт является потому что, даже если весь процесс сушки был произведен правильно, то нарушение упаковки или хранения может испортить продукт и изменить его свойства, окислить его.

Особенность продуктов, высушенных вакуумно-сублимационным методом, это пористость, то есть продукты обладают большой адсорбционной способностью и легко поглощают извне кислород и влагу [8].

Поглощение влаги продуктом зачастую возникает сразу же после процесса сушки в начальном периоде хранения, поэтому высушенный продукт следует расфасовывать и

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						24
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

упаковывать в помещениях с кондиционированным воздухом при влажности не более 30%. Так как хранение продукта так же зависит от состава газовой среды, то упаковка должна быть вакуумной и герметичной.

Материал для упаковки продуктов высушенных методом сублимации, должны отвечать следующим требованиям [8]:

Надежное изолирование продукта от контакта с окружающей средой;

Обладать непроницаемостью паров и газов, а также влаги из окружающей среды;

Обладать механической прочностью;

Материал не должен обладать посторонним запахом;

Вакуум-сублимационные сушилки не пользуются особой актуальностью в применении, так как являются достаточно затратным производством, но, несмотря на это продукты, высушенные методом сублимационной сушки, удобны в применении, а также сохраняют свои полезные свойства, намного лучше, нежели при обычной сушке или заморозке. Одни из наиболее популярных продуктов, подвергшихся сублимации, являются быстрорастворимые напитки (сублимированное кофе, соки, молоко и другие), поэтому было принято решение о проектировании вакуум-сублимационной сушилки, для производства быстрорастворимых напитков.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						25
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

На рисунке 9 представлена технологическая схема сублимационной сушки продуктов.

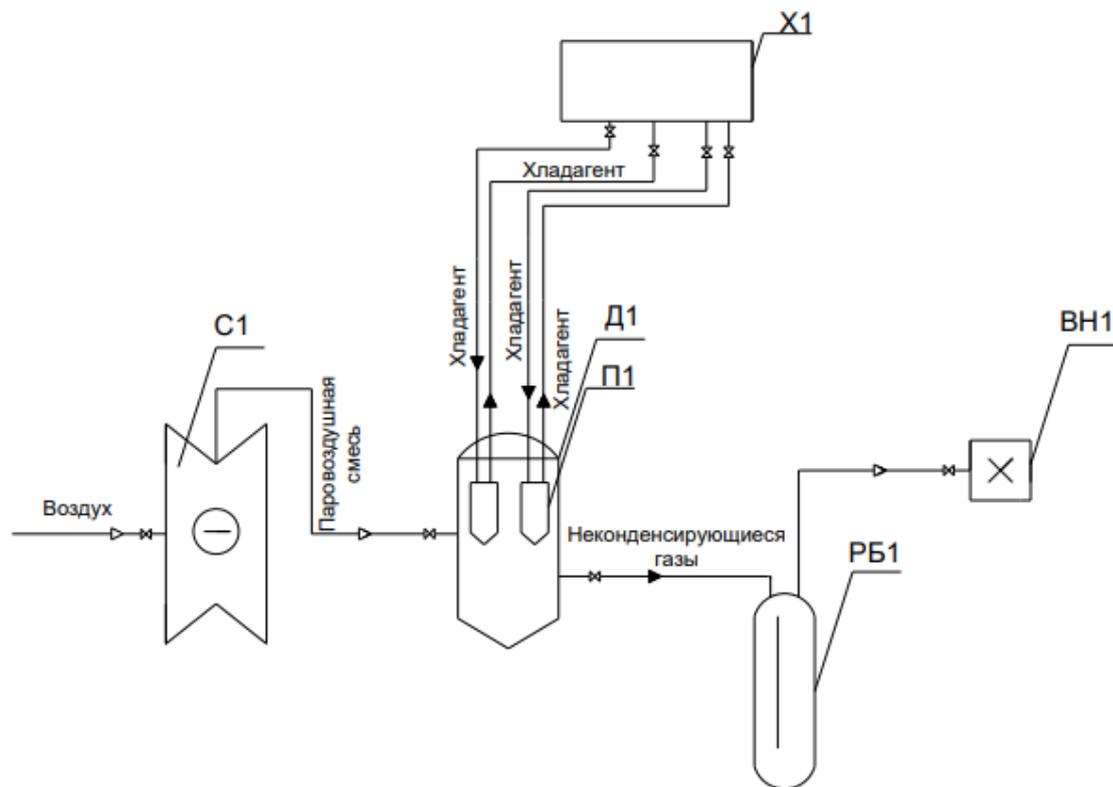


Рисунок 9- Технологическая схема сублимационной сушки продуктов:

С1- сублиматор; Д1- десублиматор; П1-пластины с хладагентом и электронагревателем; X1- холодильная установка (аммиачная), ВН1- вакуум-насос; РБ1 – ресивер-брызгоуловитель

В сублиматор (С1) на полки помешают лотки с высушиваемым продуктом. Продукт предварительно замораживают в скороморозильной камере. Полки сублиматора нагреваются с помощью встроенных в них трубчатых электронагревателей (ТЭН). Образовавшиеся в сублиматоре пары, откачиваются с помощью вакуум-насоса (ВН1) и попадают в десублиматор (Д1). В пластины (П1), работающие поочередно, через трубы десублиматора подается хладагент через холодильную установку (X1), состоящую из компенсатора, охладителя и испарителя, благодаря чему и происходит конденсация паров воды. Возможные брызги влаги, попадают в ресивер-брызгоуловитель (РБ1), тем самым предотвращая их попадание в вакуум-насос.

ФЮРА. 066562.001 ПЗ				
изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Трушкина В.С.		
Руковод.		Тихонов В.В.		
Консульт.				
Н. контр.				
Рук-ль ООП				
Технологическая схема				
		Лит.	Лист	Листов
			26	1
ТПУ гр. 3-4Г61				

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Цель технологического расчета сублимационной сушилки, а так же конденсатора, является определение материального баланса сушилки, теплового баланса сушилки и конденсатора, определение площади поверхности конденсатора и поверхность сублимации.

3.1 Материальный расчет сублимационной сушилки

Исходные данные:

Высушиваемый материал - быстрорастворимые напитки

Содержание сухого вещества в исходном напитке, % $W_{\text{кон}} = 20$

Конечное влагосодержание высушенного напитка, % $W_{\text{кр}} = 6$

Начальная плотность напитка, кг/м³ $\rho_{\text{н}} = 1100$

Конечная плотность материала, кг/м³ $\rho_{\text{к}} = 1140$

Производительность сушилки по исходному продукту, кг/ч $G = 11,0$

Для расчета принимаем:

$h = 0.01$ м - толщина слоя экстракта [10]

$t_{\text{кон}} = 50$ °С - предельная температура материала в конце суши [10]

$t_{\text{с}} = -14$ °С - температура сублимации [9]

$t_{\text{к}} = -40$ °С - температура конденсации [9]

$\beta = 0.68$ кг/мм.рт.ст.·м²· - коэффициент массоотдачи быстрорастворимого напитка (на примере кофе) [11]

3.1.1 Определение скорости сублимации

Определим скорость сублимации согласно формуле 13 [11]

Согласно таблице 11 [9] определяем давление при принятых температурах:

при температуре сублимации = -14 °С $p_{\text{н}} := 1.385$ мм.рт.ст

при температуре конденсации = -40 °С $p_{\text{к}} := 0.095$ мм.рт.ст

$$S_{\text{св}} := \beta \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{к}}) \quad (1)$$

где,

β - коэффициент массоотдачи при сублимации, кг/мм.рт.ст.·м²·ч

$\rho_{\text{н}}$ - начальная плотность материала, кг/м³

$\rho_{\text{к}}$ - конечная плотность материала, кг/м³

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			<i>Технологический расчет</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					27	8
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

где,

β - коэффициент массоотдачи при сублимации, кг/мм.рт.ст.·м²·ч

ρ_n - начальная плотность материала, кг/м³

ρ_k - конечная плотность материала, кг/м³

$$S = 0.877 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right) = 2.437 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right)$$

3.1.2 Определение количество материала при сублимации:

Определение количество материала при сублимации:

Количество сухого напитка, содержащегося в 11 кг, с учетом что исходное содержание сухого вещества = 20%, равно

$$M_1 := m \cdot \omega_1 = 2.2 \text{ кг} \quad (2)$$

Где,

m - масса конечного продукта, кг $m := 11$

ω_1 - количество сухого вещества в исходном напитке $\omega_1 := 0.2$

Количество влажного продукта после сублимации, с учетом что конечная влажность продукта 6%:

$$M_2 := \left(\frac{M_1}{100 - 6} \right) \cdot 100 = 2.34 \text{ кг} \quad (3)$$

Количество влаги, которую необходимо выморозить и испарить:

$$M_3 := m - M_2 = 8.66 \text{ кг} \quad (4)$$

Таким образом, продолжительность сублимации будет равна:

$$\tau_c := \frac{M_3}{S} = 9.872 \text{ ч} \quad (5)$$

3.2 Тепловой расчет сублимационной сушилки

3.2.1. Скрытая теплота сублимации

Скрытую теплоту сублимации определяем согласно формуле 38а [10]

Коэффициент теплопроводности продукта [12], Вт/м·К $\lambda_n = 0.159$

Толщина слоя высушенного продукта согласно рекомендациям [10], м $l_b = 0.005$

Температура льда в зоне сублимации, согласно рекомендациям [9], °С $t_{л,с} = -10$

Температура поверхности материала [11]:

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						28
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$t_{\text{п.м}} := t_{\text{л.с}} + \frac{S \cdot \rho_{\text{н}} \cdot l_{\text{в}}}{2 \cdot \lambda_{\text{п}}} = 5.172 \quad ^\circ\text{C} \quad (6)$$

Тогда скрытая теплота сублимации:

$$r_{\text{с}} := \frac{\lambda_{\text{п}}}{l_{\text{в}}} \cdot (t_{\text{п.м}} - t_{\text{л.с}}) \quad (7)$$

$$r_{\text{с}} = 482.46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

3.2.2 Количество тепла расходуемое на сублимацию

Определим количество тепла, расходуемое на сублимацию по формуле 314 [9]

$$Q_{\text{с}} := S \cdot r_{\text{с}} \quad (8)$$

$$Q_{\text{с}} = 423.214 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

3.2.3 Расчет нагревателей

Согласно рекомендациям [9] примем коэффициент неравномерности сублимации = 1.2

$$Q_{\text{н}} := 1.2 \cdot Q_{\text{с}} = 507.857 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \quad (9)$$

Необходимая поверхность загрузки для сублимации [9]

$$F_{\text{з}} := \frac{G}{m} = 0.066 \text{ м}^2 \quad (10)$$

Полная мощность нагревателей [1] :

$$Q_{\text{з.Ф}} := F_{\text{з}} \cdot Q_{\text{н}} \quad (11)$$

$$Q_{\text{з.Ф}} = 33.703 \text{ Вт}$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						29
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3.3 Расчет конденсатора

3.3.1 Материальный расчет

Примем исходные данные для расчета конденсатора:

Продолжительность цикла намораживания, согласно рекомендациям [3], ч $\tau_K := 12$.

Температура сублимации, °C $t_c := -14$

Температура парогазовой смеси, °C $t_{п.с} := 20$

Температура работы конденсатора (при намораживании), °C $t_H := -40$

Хладагент - аммиак

Согласно рекомендациям [1] примем,

диаметр вакуумного затвора, м $D_3 := 0.7$

длину соединительного патрубка с затвором, м $L_{п} := 0.6$

1) Определим среднюю температуру при намораживании

$$t_{п1} := 20 \quad \rightarrow \quad t_{п2} := 20$$

$$t_{1к} := -40 \quad \rightarrow \quad t_{2к} := -10$$

$$t_6 := 60^{\circ}\text{C} \quad t_M := 30^{\circ}\text{C}$$

Так как, $\frac{t_6}{t_M} = 2$, то средняя температура будет равна:

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{t_6 + t_M}{2} = 45^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

2). Определим массовый расход поступающего пара в час

Количество влаги, которую необходимо выморозить и испарить:

$$M_3 := 10.56_{\text{кг}}$$

Продолжительность сублимации $\tau_c := 12$ ч

Производительность конденсатора:

$$G_{\text{пара}} := \frac{M_3}{\tau_c} = 0.88 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad \text{или} \quad G_{\text{п}} := \frac{G_{\text{пара}}}{3600} = 2.444 \times 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (13)$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						30
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3) Определим массовый расход необходимого количества аммиака для конденсации пара:

Теплоемкость пара при средней температуре [15]

$$c_{\text{п}} := 1901 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Удельная теплота парообразования, при средней температуре [15]

$$r_{\text{п}} := 2382000 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$G_{\text{NH}_3} := \frac{G_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (t_{\text{б}} - t_{\text{м}})}{r_{\text{п}}} = 5.853 \times 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (14)$$

4) Определение объема водяного пара при среднем давлении [1]:

p_0 - давление у поверхности сублимации, согласно таблице 11[1], Па $p_0 := 186.6$

$p_{\text{к}}$ - давление у поверхности конденсации, согласно таблице 11 [1], Па $p_{\text{к}1} := 5.33$

Среднее давление в системе:

$$p_{\text{с}} := \frac{p_0 + p_{\text{к}1}}{2} = 95.965 \text{ Па} \quad (15)$$

Тогда объем водяного пара равен:

$$V_{\text{д}} := 276 \cdot \frac{M_{\text{н}}}{p_{\text{с}}} = 2.531 \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (16)$$

где,

$M_{\text{н}}$ - масса вымороженной влаги, кг $M_{\text{н}} := 0.88$

$p_{\text{с}}$ - среднее давление в системе, Па

5) Определим ориентировочную пропускную способность соединительного патрубка [1]

$$L_{\text{п}} := 5.6 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{r_{\text{у}}^4}{L_{\text{п}} + D_3} \right) \cdot \frac{p_0 + p_{\text{к}1}}{2} = 6.203 \times 10^3 \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (17)$$

где,

$r_{\text{у}} := \frac{D_3}{2} = 0.35$
 $r_{\text{у}}$ - радиус участка, м

D_3 - диаметр затвора, м

$L_{\text{п}}$ - длина участка, м

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						31
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

б) Определим скорость откачки пара конденсатором по формуле 250 [1]

$$S_K := \frac{1}{\frac{1}{V_d} - \frac{1}{L}} = 2.532 \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (18)$$

где, V_d - объем отсасываемого пара, л/с

L - пропускная способность соединительного патрубка л/с

3.3.2 Определение поверхности конденсатора, обеспечивающая требуемую скорость откачки.

Согласно формуле 251 [1]

$$F_1 := \frac{S_K}{14.8 \cdot \left(1 - \frac{P_{K1}}{P_c}\right) \cdot f} = 0.273 \text{ м}^2 \quad (19)$$

где, f - функция затвердевания с учетом намороженного льда, находим согласно [1]

$$f := a^{P_{c1}} = 0.663 \quad (20)$$

Значение a , при принятом характерном размере области течения [1]

$$d_K := 0.1 \text{ м}$$

$$a := 0.012$$

среднее давление в системе, кПа $P_{c1} := 0.093$

3.3.3 Определим площадь поверхности с учетом наморозки льда.

Примем толщину слоя льда согласно [1] 10 мм. Продолжительность конденсации составляет 12 часов, так как в конденсаторе присутствуют две пластины работающих поочередно, то на каждую пластину рассчитано по 6 часов. Соответственно количество льда на одну пластину за 6 часов равно:

$$M_K := 6 \cdot G_{\text{пара}} = 5.28 \text{ кг} \quad (21)$$

площадь поверхности конденсатора с учетом намороженного льда по формуле 265 [1]:

$$F'_2 := \frac{M_K}{\rho_L \cdot \delta_L} = 0.574 \text{ м}^2 \quad (22)$$

где,

толщина слоя льда, м $\delta_L := 0.01$

плотность льда [5], кг/м³ $\rho_L := 920$

С учетом двух пластин:

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						32
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$F_2 := F'_2 \cdot 2 = 1.148 \text{ м}^2 \quad (23)$$

В ходе проведенного расчета, при сравнении площадей конденсатора F_1 и F_2 , делаем выбор в пользу поверхности $1,15 \text{ м}^2$, так как необходимо учитывать толщину намораживаемого льда.

3.4 Тепловой расчет конденсатора

3.4.1 Тепловая нагрузка на холодильную установку:

а) технологическая нагрузка по формуле 252 [9]

$$Q_T := M_H \cdot [r_c + c_{п.с} \cdot (t_{п.с} - t_k)] = 523.301 \text{ Вт} \quad (24)$$

где, M_H - часовое количество вымораживаемого пара, кг

r_c - скрытая теплота сублимации, Вт/м²·ч

$c_{п.с}$ - теплоемкость водяного пара, согласно [14], кДж/кг·°C $c_{п.с} := 1.87$

$t_{п.с}$ - температура входящей парогазовой смеси, °C

t_k - температура конденсации, °C

б) потери в окружающую среду принимаем согласно рекомендациям [9], 10 % от технологической нагрузки:

$$Q_{п} := 0.1 \cdot Q_T = 52.33 \text{ Вт} \quad (25)$$

Определим необходимую холодопроизводительность холодильной установки по формуле 253 [9]

$$Q_d := Q_T + Q_{п} = 575.631 \text{ Вт} \quad (26)$$

3.4.2 Удельный тепловой поток

Согласно формуле 254 найдем удельные тепловой поток [19]

$$q := \frac{Q_d}{F_2} = 501.497 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \quad (27)$$

3.4.3 Определение температуры поверхности конденсации в конце цикла

Определение температуры поверхности конденсации проводим с учетом принятой толщине намороженного льда (0,01 м) [9]:

$$t_{п} := t_H + \frac{q \cdot \delta_{л}}{\lambda_{л}} = -37.848 \text{ °C} \quad (28)$$

где,

t_H - температура поверхности конденсации в начале цикла при $\tau=0$ [1], °C

q - удельный тепловой поток, Вт/м²·ч

$\delta_{л}$ - толщина слоя намороженного льда, м

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						33
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$\lambda_{\text{л}}$ - коэффициент теплопроводности льда [15], Вт/м·С $\lambda_{\text{л}} := 2.33$

Таким образом, температура в конце цикла намораживания поверхности конденсации ниже максимально допустимой температуры (-40 °С) равная -38 °С.

3.4.4 Определим тепловую нагрузку на нагреватели

r_1 - удельная теплота плавления льда[8], кДж/кг $r_1 := 333.5$

r_2 - удельная теплота нагрева жидкого конденсата[7], кДж/кг $r_2 := 2.390$

t_0 - температура плавления льда, °С $t_0 := 0$

$$Q := M_{\text{к}} \cdot [c_{\text{л}} \cdot (t_0 - t_{\text{к}}) + r_1 + r_2] = 2.168 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (29)$$

3.4.5. Определим расход тепла на расплавление намороженного в конденсаторе льда

Согласно [9]

$$Q := M_{\text{к}} \cdot [0.5 \cdot (t_0 - t_{\text{к}}) + r_1 + r_2] + M_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{к}}) = 1.884 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (30)$$

где,

$M_{\text{к}}$ - количество намороженного льда, кг

$t_{\text{к}}$ - температура конденсации, °С

$t_{\text{в}}$ - температура выводимого жидкого конденсата, °С [9] $t_{\text{в}} := 10$

$M_{\text{м}}$ - масса ТЭНа, кг [9] $M_{\text{м}} := 0.21$

$c_{\text{м}}$ - теплоемкость материала ТЭНа [15], кДж/кг·°С $c_{\text{м}} := 0.5$

t_0 - температура плавления льда, °С $t_0 := 0$

3.4.6 Определим электрическую мощность нагревателей

Время оттаивания намороженного льда 40 мин = $\tau := 0.66 \text{ с}$

860 - тепловой эквивалент, 1 кВт*ч

η - коэффициент полезного действия нагревателя (=0.95) $\eta := 0.95$

$$N := \frac{Q}{\tau \cdot 860 \cdot \eta} = 3.495 \text{ кВт} \quad (31)$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	Лист
						34
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ

4.1 Расчет сублимационной сушилки

4.1.1 Определение размеров gastronемкости

Гастрономности представляют собой некие лотки из металла, обычно используется нержавеющая сталь. Гастрономности используются как при приготовлении блюд в печах, при сублимации продуктов, при хранении продуктов [17].

Гастрономности (поддоны) в процессе сублимации используются для размещения на них продуктов, которые будут подвергаться сублимации. Так как продукты предварительно замораживают и в любом случае имеют влагу, gastronемкости должны быть выполнены из нержавеющей стали. Обычно в пищевой промышленности используется нержавеющая сталь Aisi 304 и сталь марки 12X18H10T.

Согласно расчету, произведенному в пункте 3.1.1 (технологического расчета), норма загрузки на 1 м^2 составляет 11 кг, а толщина слоя экстракта 10мм (0,01 м).

Для выбора gastronемкости используем каталог [18]. Согласно каталогу, выберем gastronемкость с размерами:

- внешними 650x520 мм;
- внутренними 600x500 мм;

Для определения необходимой нам глубины gastronемкости, проведем расчет.

Как было сказано ранее, толщина слоя на 1 м^2 составляет 0,01м. Так как поддон имеет размер внутренний 600x500 мм то есть: $0.6 \cdot 0.5 = 0.3\text{ м}^2$, соответственно толщина слоя при данном размере поддона будет составлять:

$$h_1 = \frac{0.01}{0.3} = 0.03\text{ м} = 30\text{ мм} \quad (32)$$

Норма загрузки на 1 м^2 , определим по формуле 289 [9]

$$m := h \cdot \rho_n \quad (33)$$

где,

m – норма загрузки продукта на 1 м^2

h - толщина слоя сублимируемого материала, h=0.01 м

ρ_n - начальная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$m = 11 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \quad (34)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Трушкина В.С.			Конструктивный расчет	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Тихонов В.В.					31	10
Консульт.						ТПУ гр. 3-4Г61		
Н. контр.								
Рук-ль ООП								

Следовательно, норма загрузки на 0,3 м²:

$$m = \frac{11}{0.3} = 36.6 \text{ кг} \quad (35)$$

Таким образом, выбираем согласно каталогу [18] выберем подходящую глубину гастоёмкости, равную 40 мм. Следовательно, выбранный тип гастоёмкости GN 2/1 с внутренними размерами 600х500 мм, внешними 650х530 мм, глубиной 40 мм и объемом 17л. Гастоёмкость представлена на рисунке 10.

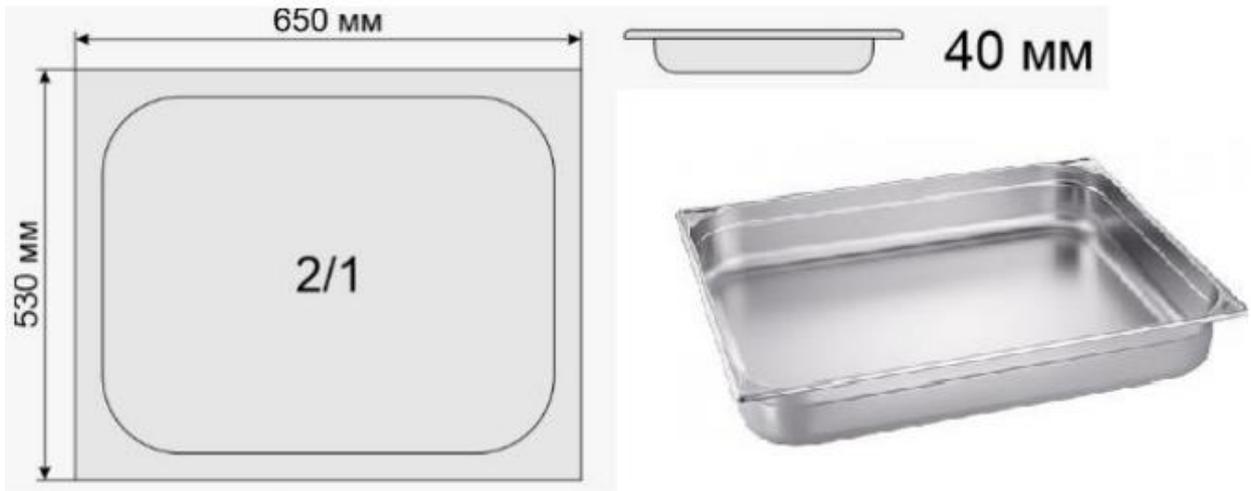


Рисунок 10 – Гастоёмкость размера 40х650х630 мм [18]

4.1.2 Определение размера полок сублиматора

Полки в сублимационной сушилке предназначены для нагрева поддонов с сублимируемым продуктом. Обогрев полок будет осуществляться с помощью трубчатого электронагревателя (ТЭНа).

В качестве материала, для полок используется алюминий, так как полки необходимо равномерно нагревать. Лист алюминия выбираем согласно ГОСТ 21631-76 «Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия» таблицы 2 [19]. Выбираем лист «без термической обработки», шириной 800 мм, так как ширина гастоёмкости 650мм, длиной 2000м. Длину стандартного листа алюминия уменьшаем до 700 мм.

Определим необходимую толщину листа для полки. Так как полки будут обогреваться ТЭНами со стандартным диаметром согласно рекомендациям [20] равным 13 мм. Таким образом, для крепления ТЭНа к полке, в листе необходимо сделать канавку для ТЭНа, глубиной примерно 6 мм. При закреплении электронагревателя на листе (полке), с другой стороны (снизу), где находится нагреватель, закрывается еще одним листом алюминия. Следовательно, согласно ГОСТ 21631-76, выбираем листы толщиной 10мм.

Исходя из этого, определим размеры полки сублиматора:

- 1) Толщина самой полки, так как нагреватель крепиться к одному листу алюминия и прикрывается вторым, то:

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						36
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$h_{\text{полки}} = 10 * 2 = 20 \text{ мм} \quad (36)$$

2) ширина полки равно 800мм

3) длина полки равно 700 мм.

Определим расстояние от низа полки до верха гастроемкости, находящейся на полке: так как высота полки равно 20 мм, глубина гастроемкости 40 мм, то расстояние от низа полки до верха поддона будет равно 60 мм.

Примем расстояние между полками 60 мм и количество полок 6 штук. Следовательно, расстояние от первой полки до последней будет равно:

$$H_{\text{полок}} = (60 + 20) * 6 = 480 \text{ мм} \quad (37)$$

Материал исполнения: алюминий А0 – так как является первичным материалом, технически чистым.

4.1.3 Расчет диаметра корпуса

Рассмотрим и определим, необходимый внутренний диаметр аппарата. Так как размер полок составляет 800мм в ширину, 700мм в длину и толщиной каждой полки 20мм, стандартный диаметр аппарата 800мм нам не совсем подходит, так как полки будут находиться впритык к стенкам аппарата. Из-за того, что в ходе эксплуатации возможны ремонтные работы, извлечение полок, ТЭНов из полок и другое, необходимо расстояние от полок до внутренней части корпуса. Следовательно, примем внутренний диаметр аппарата 1000мм, с расстоянием от полок до стенок аппарата сверху и снизу по 260мм, справа и слева по 100мм. Длину корпуса принимаем из расчета длинный полки (равной 700 мм) с запасом, таким образом примем длину корпуса равной 1100 мм.

4.1.4 Выбор материала корпуса

В процессе сублимации из продуктов выделяется парогазовая смесь, образовавшаяся влага может поспособствовать образованию коррозии, именно поэтому аппарат необходимо выполнять из нержавеющей стали.

Основные марки стали согласно рекомендациям [21], используемые в пищевой промышленности это: сталь марки Аisi 304, 304L, Deco, Аisi 316, сталь марки 12Х18Н10Т и сталь марки 08Х18Н10. Рассмотрим каждую из них и выберем подходящую марку стали для исполнения корпуса сублиматора.

1) Марка стали Аisi 304 (марка по ГОСТ 8-12Х18Н10), 304L, Deco. Стали данной марки обладают хорошими антикоррозионными свойствами, являются достаточно доступными в цене. Сталь 304 легко поддается сварке, не окисляется, а так же практически не реагирует на климатические перепады.

В составе стали находится достаточно большое содержание хрома – от 18 до 20% и никеля от 8 до 10%.

Скорость коррозии составляет 0,0025 мм/год [21].

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						37
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Средняя цена листа стали марки Aisi 304 размером 0.7x1000x2000мм – 4000 р/шт [22].

2) Марка стали 12X18Н10Т. Данная марка является конкурентом или же аналогом стали Aisi 304. В составе стали марки 12X18Н10Т содержится до 10% никеля, 18% хрома и до 12% углерода [21].

Сталь обладает хорошей механической прочностью и легко подвергается сварке, так же устойчива к коррозии.

Скорость коррозии составляет 0,009 мм/год [23]

Средняя цена листа стали марки 12X18Н10Т размером 0.8x1000x2000мм – 4600 р/шт [24].

3) Сталь марки Aisi 316. Данная марка стали, так же может быть использована в пищевом производстве, но при этом она более усовершенствованная по сравнению с маркой Aisi 304. В составе стали 316 обладает никель и молибден, за счет этого сталь марки Aisi 316 более устойчива к коррозии [21].

Скорость коррозии составляет 0,0025 мм/год [21]

Средняя цена листа стали марки Aisi 316 размером 0,8x1000x2000 мм – 5600 р/шт [25].

4) Марка стали 08X18Н10. Сталь жаропрочная и коррозионностойкая, в составе имеет 17-19% хрома, 9-11% никеля, и небольшое количество молибдена – 0,3%.

Скорость коррозии составляет 0,1 мм/год [26]

Средняя стоимость листа стали марки 08X18Н10 размером 0.7x1000x2000 мм – 3400 р/шт [27].

Исходя из вышеперечисленной характеристики сталей, выберем наиболее подходящие, это сталь марки Aisi 304 и сталь марки 12X18Н10Т, так как они обладают более высокими антикоррозионными свойствами и имеют доступную цену, а также сходны по своим свойствам. Сталь марки Aisi 304 имеет скорость коррозии 0,0025 мм/год что гораздо меньше, чем у стали 12X18Н10Т, значит, данная сталь будет эксплуатироваться намного дольше, следовательно, для исполнения корпуса сублимационной сушилки выбираем сталь марки Aisi 304, средней толщины 5мм.

4.1.5 Выбор материала крышки

Крышка сублимационной сушилки – эллиптическая, имеющая смотровой люк диаметром 300 мм.

Материал исполнения – нержавеющая сталь марки Aisi 304 (марка по ГОСТу 8-12X18Н10).

4.1.6 Выбор и расчет штуцеров для сублиматора

Для сублимационной сушилки необходимо два штуцера. Первый для впуска атмосферного воздуха, для того чтоб в дальнейшем открыть сублиматор, так как внутри создавался вакуум. Второй необходим для отвода парогазовой смеси в конденсатор.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						38
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Рассчитаем штуцер для отвода парогазовой смеси:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \omega_{\text{шт}} \cdot \pi}} \quad (38)$$

Где, G_1 – производительность сублиматора = 0,73 кг/ч

ρ_1 - плотность парогазовой смеси (насыщенный водяной пар, при 20 °С), согласно таблице LVI [28] = 0,01729 кг/м³

$\omega_{\text{шт}}$ - скорость потока в штуцере м/с. Примем согласно таблице 1.1 [28]. $\omega_{\text{шт}} = 3$ м/с

Таким образом, расчетный штуцер равен:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,73 / 3600}{0,01729 \cdot 3 \cdot 3,14}} = 0,71 \text{ м} = 71 \text{ мм} \quad (39)$$

Примем стандартный размер штуцера

$$Dy_1 = 100 \text{ мм}$$

Штуцер для впуска атмосферного воздуха примем согласно рекомендациям [29] равным

$$Dy_2 = 20 \text{ мм}$$

Штуцер для вывода проводов электронагревателей примем равным:

$$Dy_3 = 20 \text{ мм}$$

4.2 Расчет конденсатора

4.2 Расчет конденсатора (десублиматора)

4.2.1 Расчет пластин десублиматора.

Конденсатор состоит из конусовидного корпуса, штуцеров, двух пластин, работающих поочередно.

Пластины конденсатора так же имеют конусную форму, для того, чтобы лед, который наморозиться в процессе сублимации, мог легко спадать с пластины (при его нагревании). В каждой пластине будет проходить хладагент и трубчатые электронагреватели (ТЭНы).

В качестве материала пластин используется алюминий, так как он проводит тепло равномерно. Согласно ГОСТу 21631-76 выбираем толщину алюминиевого листа - 10 мм. Данная толщина выбрана из учета того, что в каждой пластине необходимо сделать канавки для проведения в них трубок (с хладагентом) и ТЭНов.

По ГОСТу 10704-91 выбираем стальные трубки для хладагента, диаметром 12x1 мм. ТЭНы выбираем со стандартным диаметром 13 мм. Таким образом, в листе алюминия толщиной 10мм, необходимо сделать канавки для трубки и ТЭНа 6 мм. Следовательно, толщина пластины с учетом трубки будет равна:

$$b_{\text{п.т}} = ((12 - 6) + 10) * 2 = 32 \text{ мм} \quad (40)$$

С учетом ТЭНа:

$$b_{\text{п.тэН}} = ((13 - 6) + 10) * 2 = 34 \text{ мм} \quad (41)$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						39
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Исходя из этого, выбираем толщину пластины в 34 мм.

Определим ширину пластины. Расстояние от края пластины до начала трубки примем в 10 мм, от трубки до нагревателя 3.5 мм. Размеры U-образного ТЭНа согласно [30]:

- Длина 267 мм
- Диаметр нагревателя 13 мм
- Радиус 29 мм
- Расстояние от одного конца ТЭНа к другому 100мм

следовательно, ширина пластины равна:

$$h_{пл} = (10 + 13 + 12 + 3.5) * 2 + 100 = 177 \text{ мм} \quad (42)$$

Определим длину пластины. Примем длину трубки 320 мм, длина ТЭНа – 267 мм, расстояние от низа трубки до низа пластины 70 мм, таким образом:

$$l_{п} = 320 + 70 = 390 \text{ мм} \quad (43)$$

Размер пластины: 177x390x34 мм

4.2.2 Расчет корпуса десублиматора.

Корпус десублиматора должен иметь достаточно места для расположения двух пластин, с учетом намораживания на них льда и место для скопления льда, после оттаивания льда с каждой пластины.

Как было известно ранее, толщина намораживаемого льда – 10 мм, исходя из этого расстояние между пластинами с запасом, примем 60 мм, между внутренней стенкой аппарата и пластиной так же примем расстояние в 60 мм. Непосредственно сам конус, расстояние от низа пластины до низа корпуса, примем с учетом льда, который будет скапливаться внизу аппарата. За период сублимации (12 часов), на каждую пластину наморозиться примерно по 10 мм льда, следовательно, в общем, наморозиться примерно 20-30 мм льда. Согласно этому, примем расстояние от низа пластины до низа корпуса - 180 мм.

Следовательно, высота аппарата составит:

$$l_{д} = 390 + 180 = 570 \text{ мм} \quad (44)$$

Ширина:

$$H_{д} = (60 + 177) * 2 + 60 = 534 \text{ мм} \quad (45)$$

Так же у десублиматора имеются четыре патрубка сверху для отвода и подвода хладагента (для каждой пластины), один патрубок для соединения с сублиматором и один для соединения с ресивером-брызгоуловителем (соответственно с вакуум-насосом).

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						40
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

4.2.3 Выбор материала

Материал корпуса:

Выберем материал исполнения для корпуса десублиматора. Рассмотрим обычную легированную сталь и коррозионностойкую.

В качестве коррозионностойкой марки стали можно использовать:

- 08X18H10 – в состав стали входит 0.8% углерода, наличие хрома 18%, никеля 10%. Благодаря свойствам стали, аппараты могут работать без потери эксплуатационных характеристик даже при температуре от -196 до +600 °С. Так же сталь обладает высокой прочностью, свариваемостью, легкой обработкой, и длительным сроком эксплуатации [2]. Срок коррозии 0,1 мм/год. Средняя стоимость листа стали марки 08X18H10 размером 0.7x1000x2000 мм – 3400 р/шт [11].
- 10X17H13M2T – в составе 0,1% углерода, 17% - хрома, 13%- никеля. Сталь обладает высокой прочностью, пластичностью, немагнитностью, длительностью эксплуатации, стойкость к температурам до +600 °С и резким ее перепадам, нейтральность при эксплуатации в химических средах. Средняя стоимость листа стали размером 6x1000x2000 мм – 3200 р/шт [3].
- 09Г2С – в составе 0,12% углерода, 1,5% марганца, кремния 0,6%, хрома и никеля меньше 0,3%. Сталь обладает устойчивостью к механическим разрушениям, возможна обработка стали свариванием, диапазон температур от -70 до +425 °С [4]. Средняя стоимость листа стали размером 6x1200x2500 мм – 4700 р/шт

Из перечисленных выше марок стали, выберем подходящую сталь для корпуса, сталь 08X18H10 является достаточно прочной, пластичной и бюджетной, так же имеет плюс, что она коррозионно-устойчивая. Так же, исходя из того, что аппарат будет использоваться в пищевой промышленности, лучше выбрать сталь, предназначенную для этого. Таким образом, материал корпуса – сталь марки 08X18H10.

Материал трубок

Трубки в конденсаторе используются для прохода хладагента в пластины. Соответственно сталь должна быть коррозионностойкая, а так же должна быть достаточно пластичной.

Примем марку стали 10X17H13M2T, так как она обладает высокой прочностью, пластичностью, нейтральностью при эксплуатации в химических средах, а так же является достаточно бюджетной.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						41
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Материал фланцев

Основные марки стали, используемые для фланцев:

- 08X18H10T – сталь содержит более 0,08% углерода, 18% хрома, 10% никеля, и 1% титана, данный состав делает сталь достаточно прочной. Используется при высокой агрессивности веществ, обладает высокой коррозионной стойкостью, немагнитная, жаропрочная, легко поддается обработке [5]
- 12X18H10T - в составе содержится до 10% никеля, 18% хрома и до 12% углерода, устойчивая, прочная, легко поддается сварке, применима в пищевых производствах.

Примем марку стали 12X18H10T, так как нет необходимости применять сталь для высоко агрессивных веществ, так же сталь 12X18H10T применима в пищевых производствах.

Выбор материала крышки

Крышка конденсатор – плоская.

Материал исполнения – примем материал исполнения как у корпуса – 08X18H10

Выбор материала прокладки:

В качестве прокладки используем, как и в самом сублиматоре – вакуум-уплотнительную резину.

4.1.6 Выбор и расчет штуцеров для конденсатора

Для конденсатора необходимо шесть штуцеров. Два для ввода хладагента, два для отвода. Один для подвода парогазовой смеси в конденсатор, еще один для поддержания вакуума в аппарате.

Рассчитаем штуцера для подвода и отвода хладагента:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \omega_{ш} \cdot \pi}} \quad (46)$$

Где, G_1 – массовый расход аммиака = 0,00000585 кг/с

ρ_1 - плотность аммиака (при 45 °C), согласно таблице IV [6] = 571.2 кг/м³

$\omega_{ш}$ - скорость потока в штуцере м/с. Примем согласно таблице 1.1 [6]. $\omega_{ш} = 1.5$ м/с

Таким образом, расчетный штуцер равен:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00000585}{571.2 \cdot 1.5 \cdot 3.14}} = 0,0016 \text{ м} = 0,16 \text{ мм} \quad (47)$$

Примем стандартный размер штуцера

$Dу_1 = 10$ мм

Рассчитаем штуцер для подвода парогазовой смеси:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \omega_{ш} \cdot \pi}} \quad (48)$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						42
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Где, G_1 – производительность сублиматора = 0,73 кг/ч

ρ_1 - плотность парогазовой смеси (насыщенный водяной пар, при 20 °С), согласно таблице LVI [6] = 0,01729 кг/м³

$\omega_{ш}$ - скорость потока в штуцере м/с. Примем согласно таблице 1.1 [6]. $\omega_{ш} = 3$ м/с

Таким образом, расчетный штуцер равен:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,73 / 3600}{0,01729 \cdot 3 \cdot 3,14}} = 0,71 \text{ м} = 71 \text{ мм} \quad (49)$$

Примем стандартный размер штуцера

$Dy_1 = 100$ мм

Штуцер для соединения с ресивером-брызгоуловителем.

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \omega_{ш} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,88 / 3600}{0,01729 \cdot 3 \cdot 3,14}} = 0,077 = 77 \text{ мм} \quad (50)$$

Где, G_1 – производительность конденсатора = 0,88 кг/ч

ρ_1 - плотность парогазовой смеси (насыщенный водяной пар, при 20 °С), согласно таблице LVI [6] = 0,01729 кг/м³

$\omega_{ш}$ - скорость потока в штуцере м/с. Примем согласно таблице 1.1 [6]. $\omega_{ш} = 3$ м/с

Примем стандартный размер штуцера

$Dy_1 = 100$ мм

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						43
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

5.1 Расчет сублимационной сушилки

Исходные данные

Тип аппарата - сублимационная сушилка

Производительность, кг/ч $G_1 := 0.73$

Начальная плотность напитка, кг/м³ $\rho_H := 1100$

Конечная плотность материала, кг/м³ $\rho_K := 1140$

Температура сублимации, °C $t_c := -14$

Температура поступающей парогазовой смеси, °C $t_{п.с} := 20$

Обогрев сушилки с помощью ТЭНов

Температура нагрева полок, °C $t_n := 50$

Конструктивные данные сублимационной сушилки

Внутренний диаметр аппарата $D_{вн} := 1000$ мм

Толщина стенки аппарата $s_H := 6$ мм

Поверхность загрузки сублимации $F_3 := 0.033$ м²

Длина обечайки $L := 1.1$ м

Скорость коррозии (марка стали Aisi 304), мм/год $\Pi := 0.0025$

Срок эксплуатации, лет: $\tau := 30$

Рабочее давление в аппарате, МПа $P_1 := 0.0001046$

Количество полок, шт $n := 6$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			Механический расчет	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					44	59
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

Материал исполнения сушилки:

корпус - Aisi 304

крышки - Aisi 304

полки - алюминий А0

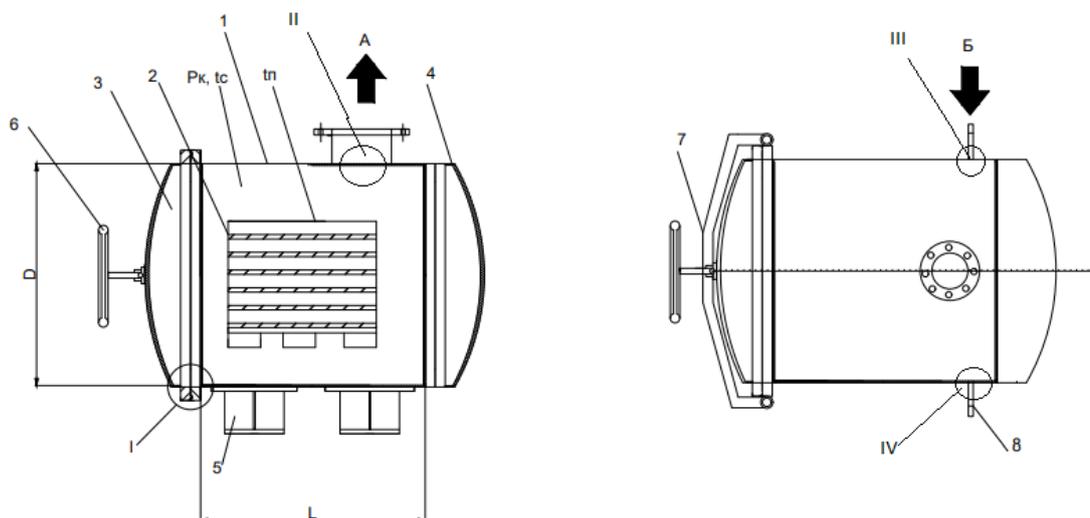


Рисунок 11 – Расчетная модель ВСС:

P_k – давление в корпусе, t_c – температура сублимации, t_p – температура полок, 1 – кожух аппарата, 2 – полки, 3,4 – крышка аппарата, 5 – опора седловая, 6 – вентиль, 7 – скоба зажимная, 8 – штуцер для вывода проводов нагревателей, I – фланцевое соединение, II, III, IV – отверстие под штуцер, А – выход паровоздушной смеси, Б – впуск атмосферного воздуха.

5.1.1 Расчетные параметры

Так как аналогом марки стали Aisi 304 является сталь марки 12X18H10T, то допустимое нормативное напряжение материала при температуре 20 °С, согласно ГОСТ 34233.1-2017 "Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования" таблицы А 3 [31]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала Aisi 304 (12X18H10T) при температуре сублимации = -14 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.3[31]:

$$\sigma_c := 184 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала алюминия А0 при температуре полок 50 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А. 5 [31]:

$$\sigma_{a50} := 15 \text{ МПа}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						45
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Допускаемое напряжение материала алюминия А0 при температуре 20 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А. 5 [31]:

$$\sigma_{a20} := 16 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали Аisi 304 (12Х18Н10Т) при t=20°С определяем из таблицы Б.7 [31]:

$$R_{e1} := 276 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для алюминия А0 при t=20°С определяем из таблицы Б.10 [31]:

$$R_{e2} := 24 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса прочности для стали при гидравлическом испытании определяем по таблице 1[31]:

$$n_T := 1.1$$

Коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [31] принимаем:

$$\phi := 1$$

Давление в аппарате

Расчетное давление в сушилке при рабочих условиях:

т.к. аппарат расположен горизонтально, то расчетное давление принимаем равным рабочему:

$$P_{рас1} := P_1 = 1.046 \times 10^{-4} \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1 [31]:

$$P_{н1} := 1.25 \cdot P_{рас1} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_c} \quad (51)$$

$$P_{н1} = 1.308 \times 10^{-4} \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали Аisi 304 (12Х18Н10Т) при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3 [31]:

$$\sigma_{н1} := \text{Floor} \left(\frac{R_{e1}}{1.1}, 0.5 \right) \quad (52)$$

$$\sigma_{н1} = 250.5 \text{ МПа}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						46
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.1.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 1, рисунок 11)

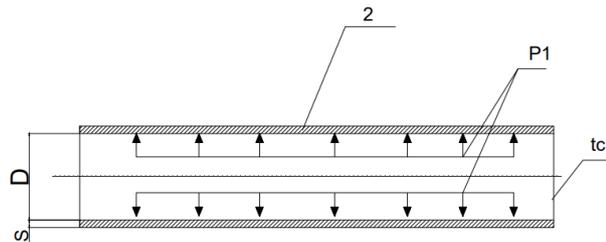


Рисунок 12- Расчетная схема цилиндрической обечайки

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведется согласно [32]

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении, определяется по формуле 2 [33]:

Наружный диаметр аппарата:

$$D := D_{\text{вн}} + 2s_{\text{н}} = 1.012 \times 10^3 \text{ мм} \quad (53)$$

$$s_{\text{p}} := \max \left(P_{\text{рас1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{с}} - P_{\text{рас1}}}, P_{\text{н1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н1}} - P_{\text{н1}}} \right) \quad (54)$$

$$s_{\text{p}} = 2.877 \times 10^{-4} \text{ мм}$$

Рассчитаем прибавку к расчетной толщине стенки:

Для компенсации коррозии обечайки:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau \quad (55)$$

$$c_1 = 0.075 \text{ мм}$$

Поправка на минусовое отклонение [33]

$$c_2 := 0.6 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [31] примем:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad (56)$$

$$c = 0.675 \text{ мм}$$

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

$$s_{\text{нн}} := \text{ceil}(s_{\text{p}} + c) \quad (57)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						47
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$s_H = 1 \text{ мм}$$

Оптимальная толщина стенки обечайки аппаратов работающие с разряжением, согласно многим каталогам, равна 6 мм, соответственно за исполнительную толщину стенки принимаем данное значение:

$$s_H := 6 \text{ мм}$$

Проверим применимость формул теории [32]:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_H - c}{D} < 0.1 \\ \text{"условия не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"условие выполняется"}$$

Проверка на условие прочности

Рассчитаем по формуле 3[32] допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_c \cdot \Phi \cdot (s_H - c)}{D + (s_H - c)} \quad (58)$$

$$P_{д1} = 1.926 \text{ МПа}$$

Проверяем условие прочности

$$\text{Prov}_1 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{н1} < P_{д1} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}_1 = \text{"условие прочности выполняется"}$$

Условия прочности и применимости формул выполняются, значит окончательно принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки 6 мм.

5.1.3 Расчет толщины стенки эллиптической крышки (позиция №3,4, рисунок 11)

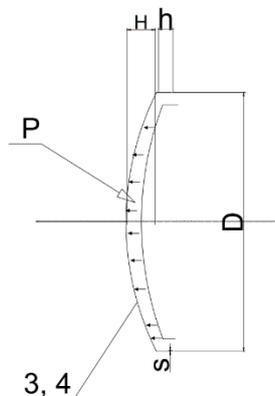


Рисунок 13- Расчетная схема эллиптической крышки

Расчет толщины стенки эллиптической крышки ведется согласно [32]

Высоту выпуклой части днища проводят без учета цилиндрической, по формуле:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						48
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\underline{H} := 0.25 \cdot D_{\text{вн}} \quad (58)$$

$$H = 250 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$\underline{R} := \frac{D^2}{4H} = 1.024 \times 10^3 \text{ мм} \quad (59)$$

Толщину стенки эллиптического днища сублиматора проводят при расчетном и гидравлическом давлении.

Коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [32] принимаем:

$$\underline{\phi} := 1$$

Скорость коррозии Aisi 304 (12X18H10T), мм/год

$$\underline{\Pi} := 0.0025$$

Срок эксплуатации, лет:

$$\underline{\tau} := 30$$

$$\underline{c}_1 := \underline{\Pi} \cdot \underline{\tau} = 0.075 \text{ мм}$$

$$\underline{c}_2 := 0.6 \text{ мм}$$

$$\underline{c}_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле:

$$\underline{c} := \underline{c}_1 + \underline{c}_2 + \underline{c}_3 \quad (60)$$

$$c = 0.675 \text{ мм}$$

Толщина стенки днища равна:

$$s_{p2} := \max \left(P_{\text{рас1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{a20} - P_{\text{рас1}}}, P_{\text{н1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н1}} - P_{\text{н1}}} \right) \quad (61)$$

$$s_{p2} = 3.308 \times 10^{-3} \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища:

$$s_{\text{нэ}} := \text{ceil}(s_{p2} + c) \quad (62)$$

$$s_{\text{нэ}} = 1 \text{ мм}$$

Согласно таблице 1 [34] принимаем днище стальное эллиптическое отбортованное с размерами:

$D_{\text{н}} = 1012 \text{ мм}$ (по ГОСТу 6533-78 из таблицы берем диаметр 1020 мм)

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						49
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$h_1 = 25 \text{ мм}$$

$$h_n = 255 \text{ мм}$$

$$s = 6 \text{ мм}$$

$$F = 1,18 \text{ м}^2$$

$$V = 151,81 \text{ дм}^3$$

$$\text{Масса} = 56,1 \text{ кг}$$

Так как согласно [34] минимальная толщина стенки днища при данном диаметре = 6 мм, то принимаем исполнительную толщину стенки днища:

$$s_{\text{исп}} := 6 \text{ мм}$$

Рассчитаем допустимое внутреннее избыточное давление:

$$P_{\text{д2}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi \cdot (s_{\text{из}} - c)}{D + (s_{\text{из}} - c)} \quad (63)$$

$$P_{\text{д2}} = 0.167 \text{ МПа}$$

Проверка на условие применимости формул

$$Prov_2 := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0.2 < \frac{H}{D_{\text{вн}}} < 0.5 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_2 = \text{"условие применение формул выполняется"}$$

$$Prov_3 := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0.002 < \frac{s_{\text{из}} - c}{D_{\text{вн}}} < 0.1 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_3 = \text{"условие применение формул выполняется"}$$

Проверяем условие прочности

$$Prov_4 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{н1}} < P_{\text{д1}} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_4 = \text{"условие прочности выполняется"}$$

5.1.4 Подбор фланцев и прокладок для обечайек и днищ

С помощью фланцевых соединений идет совмещение узлов и различных частей сублимационной сушилки. При подборе фланцевых соединений необходимо руководствоваться такими параметрами как:

- наружный диаметр обечайки $D_n = 1012$ мм;
- давление в сублиматоре $P = 104,6$ Па или же $0,000104$ МПа

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						50
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

– расчетная температура;

Исходя из данных параметров, по [36] были подобраны фланцы стальные плоские приварные встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз направленные коррозионностойкой сталью. Принимаем в качестве соединения – скобу прижимную металлическую.

В качестве прокладки используем – плоскую вакуумную уплотнительную резину.

В качестве крепления был принят – центральный вентиль.

Основные геометрические размеры представлены в таблицах 4, 5, 6:

Таблица 4 - Геометрические размеры фланцев

D, мм	P _y , М Па	Размеры, мм										Марка стали
		D _ф	D _Б	D ₁	D ₂	D ₃	h	a	a ₁	s	d	
1000	0.3	1130	1090	1052	1062	1050	30	15.5	13	8	24	12X18H10T

Таблица 5 - Геометрические размеры скобы

Номинальный диаметр резьбы, d, мм	Ширина скобы, мм	Толщина, мм	Материал
24	1130	45	Марка стали 20

Таблица 6 - Геометрические размеры центрального вентиля

Условное обозначение резьбы, d, мм	Диаметр вентиля мм	Толщина мм	Вылет вентиля мм	Материал
42	400	40	155	Ст3

Таблица 7 - Геометрические размеры прокладки (вакуумной уплотнительной резины)

Вид	Диаметр наружный, мм	Диаметр внутренний, мм	Толщина, мм	Материал
плоская	1050	1034	5	резина

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						51
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

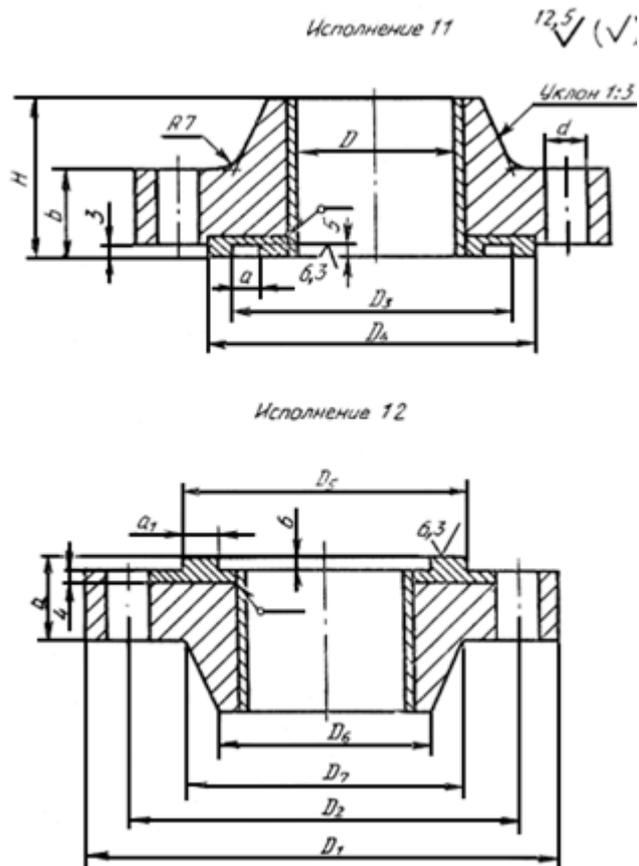


Рисунок 14 - Расчетная схема фланцевого соединения [35]

Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (позиция I, рисунок 11)

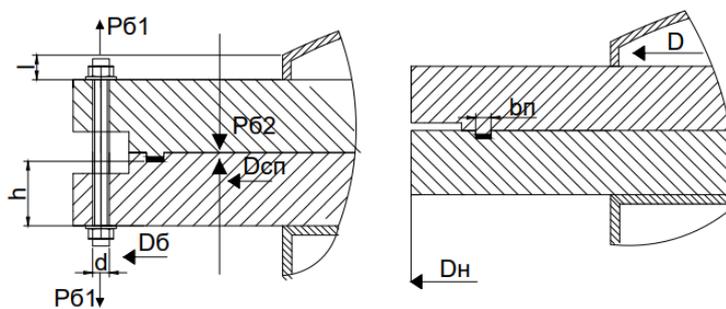


Рисунок 15 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата $D_{вн} := 1000$ мм

Рабочее давление $P := 0.0001046$ МПа

Число болтов $n := 2$

Суммарная прибавка к расчетной толщине $c_o := 1.5$ мм

Рабочая температура $t := -14$ °C

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	Лист
						52
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Внешний изгибающий момент $M := 0 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Осевая сила $F := 0 \text{ Н}$

Наружный диаметр фланца $D_{\text{н}} := 1052_{\text{мм}}$

Диаметр расположения болтов $D_{\text{б}} := 1062_{\text{мм}}$

Диаметр болтов $d := 24_{\text{мм}}$

Толщина тарелки фланца $h := 0.5 \cdot (D_{\text{н}} - D_{\text{вн}}) = 26_{\text{мм}}$

Толщина обечайки $S_0 := 6_{\text{мм}}$

Коэффициент $\beta := 2.5$

Толщина втулки приваренного встык фланца

в месте присоединения к тарелке $S_1 := \beta \cdot S_0 = 15_{\text{мм}}$

Наружный диаметр прокладки $D_{\text{п}} := 1050_{\text{мм}}$

Ширина прокладки $b_{\text{п}} := 15_{\text{мм}}$

Толщина прокладки $h_{\text{п}} := 2_{\text{мм}}$

Высота втулки фланца $l := 3 \cdot (S_1 - S_0) = 27_{\text{мм}}$

Расчетные значения:

Расчетные температуры:

Расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по таблице В1 [37]:

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t \quad (64)$$

$$t_{\text{ф}} = -13.44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетные температура шпилек:

$$t_{\text{г}} := 0.85 \cdot t \quad (65)$$

$$t_{\text{г}} = -11.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35 по таблице Г1 при 20 С (так как расчетная температура меньше 20 С. [37]:

$$\sigma_{\text{дб}} := 130_{\text{МПа}}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 35 при расчетной температуре по таблице Ж1 [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						53
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$E_{\sigma} := 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение для шпилек при температуре 20 градусов по таблице Г1 [37]:

$$\sigma_{20\sigma} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания 20 градусов по таблице Ж1 [37]:

$$E_{20\sigma} := 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35 при температуре равной 20-100 градусов по таблице Ж2 [31]:

$$\alpha_{\sigma} := 11.1 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

Допустимое напряжение для фланцев и обечайки из стали 12X18H10T определим по таблице А3 [31]:

$$\sigma_{\phi} := 183 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листа проката, то:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д}\phi} := \eta \cdot \sigma_{\phi} \quad (66)$$

$$\sigma_{\text{д}\phi} = 183 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 12X18H10T при расчетной температуре по [31]:

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение для стали 12X18H10T при температуре 20 градусов по [31]:

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad (67)$$

$$\sigma_{\text{д}20} = 184 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре испытания 20 градусов по [31]:

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12X18H10T при температуре 20-200 градусов по [31]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						54
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

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

Допустимое напряжение для болтов из стали 35 при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [37]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

для рабочих условий

$$K_{урр} := 1.0$$

для условий испытания

$$K_{ури} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{уз} := 1.0$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций:

$$K_{ут} := 1.3$$

$$\sigma_{дмб} := \xi \cdot K_{урр} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{20б} \quad (68)$$

$$\sigma_{дмб} = 202.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{дмр} := \xi \cdot K_{ури} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{20б} \quad (69)$$

$$\sigma_{дмр} = 273.78 \text{ МПа}$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения:

Эффективная ширина круглой прокладки по формуле 4 [37]:

$$b_0 := \frac{b_{п}}{4} = 3.75 \text{ мм} \quad (70)$$

Расчетный диаметр прокладки по формуле 5 [37]:

$$D_{сп} := D_{нп}$$

$$D_{сп} = 1.05 \times 10^3 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [37]:

Прокладочный коэффициент $m := 0.5$

Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж} := 2.0 \text{ МПа}$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						55
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Дополнительное удельное давление $q_d := 18$ МПа

Коэффициент обжатия $K_{обж} := 0.04$

Условный модуль сжатия прокладки $E_{п} := 0.3 \cdot 10^5$ МПа

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [37]:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad (71)$$

$$P_{обж} = 1.237 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [37]:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P \quad (72)$$

$$R_{п} = 0.647 \text{ Н}$$

Усилие в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях:

Площадь поперечного сечений болта для М24 по приложению Д [37]:

$$f_{б} := 324 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или наружному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [37]:

$$A_{б} := n \cdot f_{б} = 648 \text{ мм}^2 \quad (73)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [20]:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P = 90.573 \text{ Н} \quad (74)$$

Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [37]

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad (75)$$

$$y_{п} = 5.389 \times 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{б0} := 500 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости по стр.32 [37]:

$$L_{б} := L_{б0} + 0.56 \cdot d = 513.44 \text{ мм} \quad (76)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						56
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Податливость болтов по формуле К.2 [37]

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} = 3.72 \times 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}} \quad (77)$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

а) параметр длины обечайки по формуле К.3 [37]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 77.923 \text{ мм} \quad (78)$$

б) отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [37]:

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.04 \quad (79)$$

в) коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [37]:

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.896 \quad (80)$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 54.497 \quad (81)$$

$$\beta_{\text{Y}} := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 50.116 \quad (82)$$

$$\beta_{\text{Z}} := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 25.81 \quad (83)$$

г) коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [37]:

$$\beta_{\text{V}} := 0.25 \quad f := 2.9 \quad \beta_{\text{F}} := 0.7$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.5$$

$$\frac{l}{l_0} = 0.346$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.013$$

д) коэффициент λ по формуле К.11 [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						57
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\lambda := \left(\frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} \right) + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} = 0.679 \quad (84)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [37]:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} \quad (85)$$

$$y_\Phi = 5.998 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами по формуле К.18 [37]:

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 2.86 \quad (86)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [37] при

$$D \geq 20 \cdot S_1 \quad \text{и} \quad f > 1$$

$$D_{пр} := D$$

Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [37]:

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп}) = 6 \text{ мм} \quad (87)$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [20]:

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.022 \quad (88)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [37]:

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 6.13 \text{ мм} \quad (89)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [37]

$$e_{ww} := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_3) = 15.935 \text{ мм} \quad (90)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [37]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						58
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\sigma} \cdot \frac{E_{20\sigma}}{E_{\sigma}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 2.657 \times 10^5 \quad (91)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [37]:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)] = -2.778 \times 10^3 \text{ Н} \quad (92)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [37]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - (2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b)}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 1.03 \quad (93)$$

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

$$P_{\sigma} := \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t \end{array} \right] = \left(\begin{array}{l} 93.979 \\ 2.872 \times 10^3 \end{array} \right) \text{ Н} \quad (94)$$

$$P_{\sigma 1} := \max(P_{\sigma}) = 2.872 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$P_{\sigma 2} := \max[(P_{\text{обж}}), 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20\sigma}] = 3.37 \times 10^4 \text{ Н} \quad (95)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [37]:

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) = 3.37 \times 10^4 \text{ Н} \quad (96)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [37]:

$$P_{\sigma p} := P_{\sigma M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 3.092 \times 10^4 \text{ Н} \quad (97)$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

а) при затяжке по формуле 19 [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						59
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 52 \text{ МПа} \quad (98)$$

б) в рабочих условиях по формуле 20 [37]:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} = 47.709 \text{ МПа} \quad (99)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [37]:

Проверяем условие прочности

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие при затяжке не выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{\text{дмб}} \\ \text{"условия при рабочих условиях не выполняется"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{\text{дмб}} \\ \text{"условия прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условия прочности выполняется"

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 0.681 \text{ МПа} \quad (100)$$

В соответствии [37] прокладки, выполненные из резины, подвергаются проверке на прочность.

Условие прочности прокладки

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности прокладки не выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"условия прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условия прочности прокладки выполняется"

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [37]:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 5.781 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (101)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [37]:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + Q_d \cdot (e), |Q_d| \cdot e] = 5.346 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (102)$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

а) меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						60
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 4.613 \text{ МПа} \quad (103)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0:

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 13.379 \text{ МПа} \quad (104)$$

б) напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [37]:

-радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \left(\frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \right) \cdot M_M = 1.63 \text{ МПа} \quad (105)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 0.279 \text{ МПа} \quad (106)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1 по формуле 34 [37]:

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 4.266 \text{ МПа} \quad (107)$$

-меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0 по формуле 35 [37]:

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 12.37 \text{ МПа} \quad (108)$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [37]:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1:

$$\sigma_{P1MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)} \right] = 2.079 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (109)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0:

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)} \right] = 6.293 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (110)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						61
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении S0 вычисляются по формуле 39 [37]:

$$\sigma_{Pomo} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 0.012 \text{ МПа} \quad (111)$$

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

- радиальное напряжение по формуле 40 [37]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 1.507 \text{ МПа} \quad (112)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [37]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 0.258 \text{ МПа} \quad (113)$$

Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [37].

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

Согласно п 8.10 [36] проведем расчет допускаемых напряжений (мембранных и изгибных), допускаемое напряжение изгибных и мембранных (общих и местных).

$$\sigma := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 276 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 552 \text{ МПа}$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{lp} - \sigma_{Plmm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{lp} - \sigma_{Plmm} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{lp} + \sigma_{Plmm}| \end{array} \right) \right) \quad (114)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S1

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

- при затяжке

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						62
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\sigma_{3\max} := \max(|\sigma_{1M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{1M} + \sigma_{TM}|) \quad (115)$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S1

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3\max} \leq K_T \cdot \sigma_{d.M} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0

- в рабочих условиях

$$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}|$$

$$W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}|$$

$$e := |0.3\sigma_{0p} - \sigma_{P0Mo}|$$

$$R := |0.3\sigma_{0p} + \sigma_{P0Mo}|$$

$$T := |0.7\sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$Y := |0.7\sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$\sigma_{P\max} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 12.377$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S0 прочности

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{P\max} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S0

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Для фланцев всех типов в сечении S0 должно выполняться условие по формуле 53

[37]:

Проверка условий для фланцев в сечении S0

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(\sigma_{P0Mo}, |\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						63
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Prov = "условие прочности выполняются"

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [37]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RМ}|, |\sigma_{ТМ}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

- в рабочих условиях по формуле 55 [37]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [37]:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 3.206 \times 10^{-4} \text{ рад} \quad (116)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца равен [37]:

$$D = 1.012 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D' := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix} \quad \Theta_d := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_d := \text{interp}(D', \Theta_d, D) = 8.677 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие при испытаниях не выполняются"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"условие в рабочих условиях не выполняются"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"условие поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие поворота фланца выполняется"

Проверка малоциклового прочностного элементов фланцевого соединения

Данная проверка по [38] не осуществляется в связи с тем, что были проведены подобные анализы и ввод в эксплуатацию с положительными результатами, аналогичных фланцевых соединений, представленных в [39].

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						64
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Расчет необходимости укрепления отверстий (позиция II,III,IV, рисунок 11)

Согласно требованиям [40] проведем расчет о необходимости укрепления отверстий. Сублимационная сушилка имеет 2 основных технических штуцера и 3 дополнительных. Проверку проводим для двух основных штуцеров.

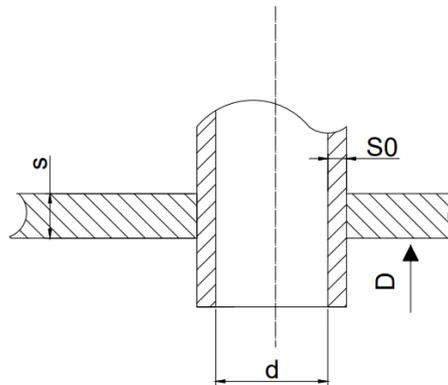


Рисунок 16 – Расчетная схема укрепления отверстий

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, мм; $D := 1000$

Марка стали; 12X18H10T

Внутреннее расчетное давление, МПа; $P := 0.0001046$

Исполнительная толщина стенки обечайки, мм; $s := 6$

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

Допускаемое напряжение при температуре °С, МПа; $\sigma_d := 184$

Коэффициент прочности сварных швов; $\phi = 1$

Внутренний диаметр штуцера, мм. $d_1 := 100$; $d_2 := 20$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [40]:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 103 \text{ мм} \quad (117)$$

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 23 \text{ мм} \quad (118)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру не выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие применения формул выполняется"

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						65
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру не выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие применения формул выполняется"

Расчетную толщину стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляют по формуле 16 [40]:

$$s_p := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 2.842 \times 10^{-4} \text{ мм} \quad (119)$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по 16 [40]:

$$s_{p.m} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 7.674 \times 10^{-6} \text{ мм} \quad (120)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера равна:

$$s_{н.ш} := s_{p.m} + c = 0.675 \text{ мм} \quad (121)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки определяется по формуле 26 [40]:

$$D_p := D = 1 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2.124 \times 10^6 \text{ мм} \quad (122)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p1} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Не требуется укрепление отверстий"

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p2} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Не требуется укрепление отверстий"

Вывод по расчету:

Согласно проведенному анализу, видно, что условия не требующее укрепления отверстий под штуцер выполнимо, соответственно укрепление не требуется.

5.1.5 Подбор и расчет стандартной опоры аппарата

Подбор опор (позиция 5, рисунок 11)

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						66
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях

· Масса обечайки:

Объем материала обечайки вычисляется по формуле:

$$D_{нар} := 1.012 \text{ м}$$

$$D_{вн} := 1 \text{ м}$$

$$L := 1.1 \text{ м}$$

$$V_{об} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \cdot L = 0.021 \text{ м}^3 \quad (123)$$

Масса обечайки рассчитывается по формуле:

$$\text{Плотность стали Aisi 304 (12X18H10T) - } \rho_{об} := 7740 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m_{об} := \rho_{об} \cdot V_{об} = 161.448 \text{ кг} \quad (124)$$

· Масса полок

Вес одного листа алюминия толщиной 10 мм, размером 800x1000мм = 25 кг

Так как для полки используется два листа алюминия, то вес одной полки равен:

$$m_{пл} := 23 \cdot 2 = 46 \text{ кг}$$

Тогда масса 6-ти полок:

$$m_{п} := m_{пл} \cdot 6 = 276 \text{ кг}$$

· Масса крышки и днища:

Согласно таблице 1[34] масса крышки Aisi 304 равна 56.1 кг.

Тогда, суммарная масса крышек равна:

$$m_{кр} := 2 \cdot 56.1 = 112.2 \text{ кг}$$

Масса трубчатых электронагревателей:

$$m_{тэн1} := 0.2 \text{ кг}$$

Так как в каждой полке находится по одному нагревателю общая масса нагревателей равна:

$$m_{тэн} := m_{тэн1} \cdot 6 = 1.2 \text{ кг}$$

· Общая масса аппарата без гастроемкости и продукта:

$$m_{апп} := m_{об} + m_{п} + m_{кр} + m_{тэн} = 550.848 \text{ кг} \quad (125)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						67
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Масса гастроемкости с продуктом:

Масса одной гастроемкости 650x530 мм

$$m_{Г.э} := 0.9 \text{ кг}$$

Масса сублимируемого экстракта:

$$m_э := 36.6 \text{ кг}$$

Таким образом, масса одного поддона с экстрактом:

$$m_{Г.э.э} := m_{Г.э} + m_э = 37.5 \text{ кг} \quad (126)$$

Так как на каждой полке устанавливают по одному поддону то,

$$m_{ёмкости} := m_{Г.э.э} \cdot 6 = 225 \text{ кг} \quad (127)$$

· Массу вспомогательных устройств примем за 20% от массы аппарата:

$$m_{вс} := 0.2 \cdot m_{апп} = 110.17 \text{ кг} \quad (128)$$

· Общая нагрузка на опоры:

Общая нагрузка на опоры рассчитывается по формуле:

$$g := 9.81 \frac{м}{с^2} \text{ - ускорение свободного падения}$$

$$G := (m_{апп} + m_{вс} + m_{ёмкости}) \cdot g = 8.692 \times 10^3 \text{ Н} \quad (129)$$

Установим аппарат на четыре опоры, в этом случае нагрузка на одну опору:

$$\frac{G}{4} = 2.173 \times 10^3 \text{ Н}$$

· Нагрузка от собственной массы равна:

$$F := G = 8.692 \times 10^3 \text{ Н}$$

По полученным значениям по [41] принимаем опору для горизонтального аппарата
ОСТ 26-2091-93

Исходные данные:

Безразмерный коэффициент, учитывающий условия гидроиспытний; $K_2 := 1.05$

Длина цилиндрической части сосуда, мм; $L := 1100$

Внутренний диаметр аппарата, мм; $D := 1000$

Внутреннее избыточное давление, МПа $P_n := 0.000104$

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

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						68
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Ширина седловой опоры, мм; $b := 250$

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

Ширина подкладного листа, мм; $b_2 := 250$

Допускаемое напряжение при 20°C, МПа; $\sigma_{20} = 184$

Длина выступающей цилиндрической части сосуда, мм; $a := 350$

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

Угол охвата седловой опоры, ${}^0\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$

Угол охвата сосуда подкладным листом, ${}^0\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$

Вес аппарата при гидроиспытаниях, Н; $G_{\text{ап}} := 8.692 \times 10^3$

Модуль продольной упругости при 20°C, МПа; $E_{20} = 1.99 \times 10^5$

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

Толщина стенки аппарата, мм $s := 6$

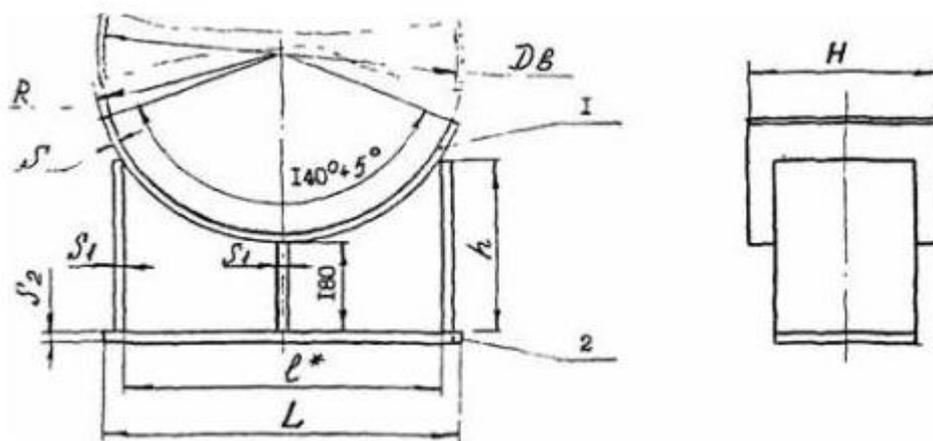


Рисунок 17 - Расчетная схема седловой опоры 2го типа [41]

Расчетная схема седловой опоры цилиндрического сосуда, который оперт на две опоры согласно рекомендациям [41], представлен на рисунке 18.

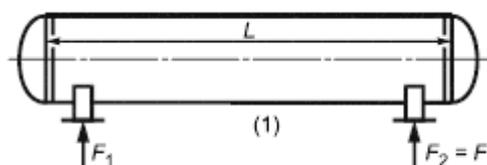


Рисунок 18 - Расчетная схема определения усилий [41]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	Лист
						69
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка применимости формул [42]:

$$Us12 := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s-c}{D} \leq 0.05 \\ s_2 \geq s \end{cases} \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us12 = \text{"Формулы применимы"}$

Согласно формулам 28, 29 [42] определим распределительную нагрузку и изгибающий момент:

а) распределительная нагрузка

$$q := \frac{G_{ан}}{L} = 7.902 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (130)$$

б) Расчетный изгибающий момент:

$$M_0 := q \cdot \left(\frac{D^2}{16} \right) = 4.939 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (131)$$

Опорное усилие согласно формуле 30 [42]

$$F_1 := \frac{F}{2} = 4.346 \times 10^3 \text{ Н} \quad (132)$$

Согласно формуле 31 [41] определим момент над опорой

$$M_1 := \left| \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right| = 9.877 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (133)$$

$$M_2 := M_1 = 9.877 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Максимальный момент между опорами, по формуле 32 [42]

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 \quad (134)$$

$$M_{12} = 1.679 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, согласно формуле 33 [42]

$$Q_1 := \left(\frac{L - 2 \cdot a}{L} \right) \cdot F_1 = 1.58 \times 10^3 \text{ Н} \quad (135)$$

Проверим несущую способность обечайки в сечении между опорами:

$$Prov_нес_{сш} := \begin{cases} \text{"Проверка требуется"} & \text{if } M_{12} \geq M_1 \\ \text{"Проверка НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						70
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Prov_нес_{СП} = "Проверка требуется"

Проверка несущей способности обечайки:

Примем по [42]

$$y := \frac{D}{s} = 166.667$$

$$\overset{www}{x} := \frac{L}{D} = 1.1$$

Определим коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью, согласно формуле 36 [42]:

$$K_9 := \max(a_{11} - a_{12} - a_{13} - a_{14}, 1) = 1.593 \quad (136)$$

$$a_{11} := 1.6 - 0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1) = 1.59$$

$$a_{12} := -(0.2391 \cdot 10^{-6}) \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) - 0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 - 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2$$

$$a_{12} = -2.747 \times 10^{-3}$$

$$a_{13} := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y - 0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x + 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3$$

$$a_{13} = 5.587 \times 10^{-6}$$

$$a_{14} := 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3 = 2.23 \times 10^{-4}$$

Проверим условия прочности

$$\text{Prov}_{\Pi} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \left(\frac{P \cdot D}{4 \cdot s} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 \cdot s} \right) \leq \sigma_D \cdot \phi \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov_Π = "Условие прочности выполняется"

Проверим условие устойчивости, для этого определим допускаемый изгибающий момент:

$$M_D := \frac{M_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\Pi}}{M_E} \right)^2}} = 6.355 \times 10^8 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (137)$$

где M_{Π} - допускаемый изгибающий момент из усилия прочности, Н*мм;

M_E - допускаемый изгибающий момент из усилия устойчивости, Н*мм

Допускаемый изгибающий момент из усилия прочности, по формуле 22 [32]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						71
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$M_{\Pi} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c)(s - c) \cdot \sigma_{20} = 6.532 \times 10^8 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (138)$$

Допускаемый изгибающий момент из усилия устойчивости по формуле 23 [32]

$$M_E := \left(\frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E_{20}}{1.8} \right) \cdot D^3 \cdot \left(\frac{100 \cdot s}{D} \right)^{2.5} = 2.744 \times 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (139)$$

Проверим условие устойчивости:

$$\text{Prov}_y := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \left(\frac{M_{12}}{M_d} \right) \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Prov}_y = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$

Проверка несущей способности обечайки в области опорного узла

Определение несущей способности необходимо проводить согласно [42].

По формуле 40 [42] определим параметр, зависящий от ширины пояса опоры.

$$\gamma_{mm} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s - c}{D}} = 0.066 \quad (140)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры вычисляются по формуле 40 [42]

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 3.391 \quad (141)$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла по формуле 41 [42]

$$\sigma_{mx} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 2.795 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (142)$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры по [42]

$$K_{10} := \max \left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25 \right) = 0.25 \quad (143)$$

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.295 \quad (144)$$

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \left(\frac{3 \sqrt{D}}{\sqrt{s - c}} \right) \cdot \frac{b_2}{D} \cdot \delta_2} = 0.311 \quad (145)$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата по [42]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						72
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.851 \quad (146)$$

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.071 \quad (147)$$

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.425 \quad (148)$$

Определим коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища по [42]:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}\right) = 0.248 \quad (149)$$

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 0.633 \quad (150)$$

По таблице 1 ГОСТ 34233.5-2017 определим безразмерные коэффициенты:

Меридиальное в точке 2 (рисунок 9а) [42]

$$\theta_{1.2} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.019$$

$$\theta_{2.1.2} := -\sigma_{\text{mx}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = -1.447 \times 10^{-5}$$

$$\theta_{2.2.2} := \left[\frac{P_{\text{н}} \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \sigma_{\text{mx}} \right] \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = 1.544 \times 10^{-5}$$

Окружное в точке 3 (рисунок 9а) [42]

$$\theta_{1.3} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_2)} = -1.991$$

$$\theta_{2.1.3} := 0$$

$$\theta_{2.2.3} := \frac{P_{\text{н}} \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_{20}} = 5.981 \times 10^{-5}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						73
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$K_{112} := \frac{1 - \theta_{2.1.2}^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.2} \cdot \theta_{2.1.2}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.2} \cdot \theta_{2.1.2}\right)^2 + (1 - \theta_{2.1.2}^2) \cdot \theta_{1.2}^2}} = 1.499$$

$$K_{113} := \frac{1 - \theta_{2.1.3}^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.3} \cdot \theta_{2.1.3}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.3} \cdot \theta_{2.1.3}\right)^2 + (1 - \theta_{2.1.3}^2) \cdot \theta_{1.3}^2}} = 0.425$$

$$K_{122} := \frac{1 - \theta_{2.2.2}^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.2} \cdot \theta_{2.2.2}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.2} \cdot \theta_{2.2.2}\right)^2 + (1 - \theta_{2.2.2}^2) \cdot \theta_{1.2}^2}} = 1.499$$

$$K_{123} := \frac{1 - \theta_{2.2.3}^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.3} \cdot \theta_{2.2.3}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_{1.3} \cdot \theta_{2.2.3}\right)^2 + (1 - \theta_{2.2.3}^2) \cdot \theta_{1.3}^2}} = 0.425$$

Определим безразмерные коэффициенты для определения предельного напряжения изгиба:

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 1.499$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.425$$

Предельное напряжение изгиба для 2 и 3 точки соответственно по формуле 1 [42]

$$\sigma_2 := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 289.565 \text{ МПа} \quad (151)$$

$$\sigma_3 := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_{20} = 82.127 \text{ МПа} \quad (152)$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в меридиональном направлении по формуле 43 [42]

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 2.875 \times 10^5 \text{ Н} \quad (153)$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в окружном направлении по формуле 44 [42]:

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_3 \cdot [\sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)]}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 2.672 \times 10^5 \text{ Н} \quad (154)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						74
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Проверим выполнимость условий прочности:

$$\text{Prov}_{\text{пр}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}_{\text{пр}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры по формуле 46 [42]:

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 893.623 \text{ Н} \quad (155)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие определяем по формуле 13 [42]

$$F_d := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{20} \cdot \phi = 2.613 \times 10^6 \text{ Н} \quad (156)$$

По рисунку 7 [31] определим безразмерный коэффициент:

$$\frac{D}{s-c} = 222.222 \quad \frac{10^3 \cdot \sigma_{20}}{E_{20}} = 0.925$$

$$\phi_3 := 0.98$$

Проверим на условие устойчивости:

$$\text{Prov}_{\text{уст}} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \left(\frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} \right) \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}_{\text{уст}} = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

Вывод по расчету:

Исходя из проведенного расчета опор для аппарата, можно сделать вывод, что выбранные седловые опоры подходят для сублимационной сушилki, так как выбранные опоры удовлетворяют условиям прочности и устойчивости.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						75
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.2 Расчет конденсатора

Исходные данные:

Тип аппарата - конденсатор

Производительность, кг/ч $G_1 := 0.88$

Температура конденсации, °C $t_c := -40$

Температура поступающей парогазовой смеси, °C $t_{п.с} := 20$

Обогрев конденсатора с помощью ТЭНов

Температура нагрева пластин, °C $t_{п} := 45$

Конструктивные данные конденсатора:

внутренний диаметр аппарата $D_{вн} := 534$ мм

толщина стенки аппарата $s_{н} := 6$ мм

поверхность конденсатора $F_3 := 1.14$ м²

высота аппарата $L := 570$ мм

Скорость коррозии (марка стали 08X18H10), мм/год $\Pi := 0.1$

Срок эксплуатации, лет: $\tau := 30$

Рабочее давление в аппарате, МПа $P_1 := 0.0001046$

количество пластин, шт $n := 2$

Материал исполнения конденсатора:

корпус - 08X18H10

крышки - 08X18H10

пластины - алюминий А0

трубки - 10X17H13M2T

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						76
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

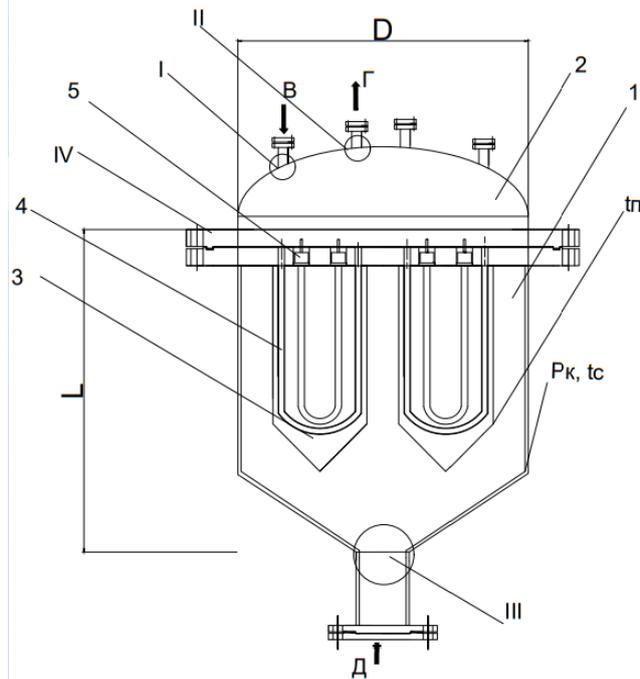


Рисунок 19 – расчетная схема десублиматора

P_k - давление в корпусе, t_c - температура конденсации, t_n - температура пластин, 1- корпус аппарата, 2 – крышка, 3 – пластины, 4 – трубки, 5 – ТЭН, I, II, III – отверстие под штуцер, B – вход хладагента, Г – выход хладагента, Д – вход паровоздушной смеси

5.2.1. Расчетные параметры

Допускаемое нормативное напряжение корпуса, марки стали 08X18N10 при температуре 20 °С, согласно ГОСТ 34233.1-2017 "Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования" таблицы А 3 [31]

$$\sigma_{20} := 168 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 08X18N10 при температуре конденсации = -40 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.3 [31]:

$$\sigma_c := 168 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала алюминия А0 при температуре полок 45 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А. 5 [31]:

$$\sigma_{a50} := 15.7 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала алюминия А0 при температуре 20 °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы А.5 [31]:

$$\sigma_{a20} := 16 \text{ МПа}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						77
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Расчетное значение предела текучести для стали 08X18H10 при $t=20^{\circ}\text{C}$ определяем из таблицы Б.7 [31]:

$$R_{e1} := 252 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для алюминия А0 при $t=20^{\circ}\text{C}$ определяем из таблицы Б.10 [31]:

$$R_{e2} := 24 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса прочности для стали при гидравлическом испытании определяем по таблице 1 [31]:

$$n_T := 1.1$$

Коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [32] принимаем

$$\phi := 1$$

Давление в аппарате:

Расчетное давление в сушилке при рабочих условиях:

т.к. аппарат расположен горизонтально, то расчетное давление принимаем равным рабочему:

$$P_{рас1} := P_1 = 1.046 \times 10^{-4} \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях определяем по формуле 3.1 [32]:

$$P_{н1} := 1.25 \cdot P_{рас1} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_c} \quad (157)$$

$$P_{н1} = 1.308 \times 10^{-4} \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 08X18H10 при гидравлических испытаниях рассчитываем по формуле 3 [31]:

$$\sigma_{н1} := \text{Floor} \left(\frac{R_{e1}}{1.1}, 0.5 \right) \quad (158)$$

$$\sigma_{н1} = 229 \text{ МПа}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						78
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.2.2. Расчет толщины стенки конической обечайки

(позиция 1, рисунок 19)

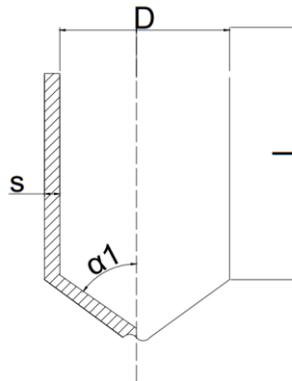


Рисунок 20- Расчетная схема конической обечайки [32]

Расчет толщины стенки конической обечайки ведется согласно [32]

Расчетная толщина стенки конической обечайки определяется по формуле 2 [33]:

Наружный диаметр аппарата:

$$D := D_{\text{вн}} + 2s_{\text{н}} = 546 \text{ мм} \quad (159)$$

$$s_{\text{p}} := \max \left(P_{\text{рас1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{с}} - P_{\text{рас1}}}, P_{\text{н1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н1}} - P_{\text{н1}}} \right) \quad (160)$$

$$s_{\text{p}} = 1.7 \times 10^{-4} \text{ мм}$$

Рассчитаем прибавку к расчетной толщине стенки:

Для компенсации коррозии обечайки:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau \quad (161)$$

$$c_1 = 3 \text{ мм}$$

Поправка на минусовое отклонение [33]

$$c_2 := 0.6 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [31] примем:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad (162)$$

$$c = 3.6 \text{ мм}$$

Тогда, с учетом прибавки, исполнительная толщина стенки равна:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						79
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$s_{нн} := \text{ceil}(s_p + c) \quad (163)$$

$$s_{н} = 4 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям различных каталогов, минимальная толщина стенок обечайки равна 6 мм. Поэтому принимаем исполнительную толщину стенки конической обечайки равной $s_{нн} := 6 \text{ мм}$

Проверим применимость формул безмоментной теории [32]:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_{н} - c}{D} < 0.1 \\ \text{"условия не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"условие выполняется"}$$

Проверка на условие прочности

Рассчитаем по формуле 3[4] допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_c \cdot \phi \cdot (s_{н} - c)}{D + (s_{н} - c)} \quad (164)$$

$$P_{д1} = 1.47 \text{ МПа}$$

Проверяем условие прочности

$$\text{Prov}_1 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{н1} < P_{д1} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}_1 = \text{"условие прочности выполняется"}$$

Так как применимость формул, а так же условие прочности выполняется, примем толщину стенки корпуса равной 6 мм.

5.2.3 Расчет толщины стенки эллиптической крышки

(позиция 3,4, рисунок 19)

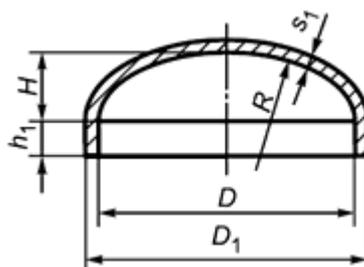


Рисунок 21- Расчетная схема эллиптической крышки [32]

Расчет толщины стенки эллиптической крышки ведется согласно [32]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						80
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Определим высоту выпуклой части, не учитывая цилиндрическую часть днища (крышки):

$$H := 0.25 \cdot D_{\text{вн}} \quad (165)$$

$$H = 133.5 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности:

$$R := \frac{D^2}{4H} = 558.27 \text{ мм} \quad (166)$$

Производить расчёт толщины стенки эллиптического днища необходимо как при давлении гидравлического испытания, так и при расчетном давлении.

Коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [32] принимаем: $\phi := 1$

$$\text{Скорость коррозии 08X18Н10, мм/год } \Pi := 0.1$$

$$\text{Срок эксплуатации, лет: } \tau := 30$$

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 3 \text{ мм}$$

$$c_2 := 0.6 \text{ мм}$$

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 \quad (167)$$

$$c = 3.6 \text{ мм}$$

Толщина стенки днища равна:

$$s_{p2} := \max \left(P_{\text{рас1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{a20} - P_{\text{рас1}}}, P_{\text{н1}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н1}} - P_{\text{н1}}} \right) \quad (168)$$

$$s_{p2} = 1.785 \times 10^{-3} \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища:

$$s_{\text{нэ}} := \text{ceil}(s_{p2} + c) \quad (169)$$

$$s_{\text{нэ}} = 4 \text{ мм}$$

Согласно таблице 1 [34] принимаем днище стальное эллиптическое отбортованное с размерами:

$$D_{\text{н}} = 546 \text{ мм (по ГОСТу 6533-78 из таблицы берем диаметр 630 мм)}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						81
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$h_1 = 25 \text{ м}$$

$$h_n = 180 \text{ мм}$$

$$s = 6 \text{ мм}$$

$$F = 0,59 \text{ м}^2$$

$$V = 37,65 \text{ дм}^3$$

$$\text{Масса} = 22,1 \text{ кг}$$

Так как согласно [34] минимальная толщина стенки днища при данном диаметре = 6 мм, то принимаем исполнительную толщину стенки днища:

$$s_{\text{исп}} := 6 \text{ мм}$$

Рассчитаем допустимое внутреннее избыточное давление:

$$P_{\text{д2}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \Phi \cdot (s_{\text{нз}} - c)}{D + (s_{\text{нз}} - c)} \quad (170)$$

$$P_{\text{д2}} = 0,14 \text{ МПа}$$

Проверка на условие применимости формул

$$Prov_2 := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0,2 < \frac{H}{D_{\text{вн}}} < 0,5 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_2 = \text{"условие применение формул выполняется"}$$

$$Prov_3 := \begin{cases} \text{"условие применение формул выполняется"} & \text{if } 0,002 < \frac{s_{\text{нз}} - c}{D_{\text{вн}}} < 0,1 \\ \text{"условия применения формул не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_3 = \text{"условие применение формул выполняется"}$$

Проверяем условие прочности

$$Prov_4 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{н1}} < P_{\text{д1}} \\ \text{"условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov_4 = \text{"условие прочности выполняется"}$$

5.2.4 Подбор фланцев и прокладок для обечаек и днищ

(позиция I, рисунок 19)

Применение фланцевых соединений необходимо для скрепления разных частей и узлов в сублимационной сушилке. При подборе фланцевых соединений необходимо руководствоваться такими параметрами как:

- наружный диаметр обечайки $D_n = 546 \text{ мм}$;

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						82
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

– давление в конденсаторе $P=104,6$ Па или же $0,000104$ МПа

– расчетная температура;

Исходя из данных параметров, были подобраны фланцы стальные плоские приварные встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз направленные коррозионно-стойкой сталью.

В качестве прокладки используем - вакуумную уплотнительную резину, в виде жгута по ТУ 38.105108-76.

Основные геометрические размеры представлены в таблицах 8, 9, 10:

Таблица 8 - Геометрические размеры фланцев

D, мм	P _y , МПа	Размеры, мм										Число отверстий,z	Марка стали
		D _ф	D _Б	D ₁	D ₂	D ₃	h	a	a ₁	s	d		
550	0.6	670	630	594	602	593	25	13.5	12	8	23	20	12X18H10T

Таблица 9 - Геометрические размеры болтов

Номинальный диаметр резьбы, d, мм	L, мм	l ₂ мм	D, мм	d1 мм	d2 мм	b мм	R мм	Масса 1000шт, кг	Материал
24	80	7.5	42	20	4	54	16	402.1	Марка стали 35

Таблица 10 - Геометрические размеры гаек

Условное обозначение резьбы, d,мм	Шаг резьбы мм	S мм	e мм	d _a мм	d _w мм	h _w мм	h мм	Масса 1 шт, кг	Материал
24	3	36	39.6	24	33,2	0,8	21,5	0,12	Марка стали 35

Таблица 11 - Геометрические размеры прокладки (вакуумной уплотнительной резины)

Вид	Диаметр наружный, мм	Диаметр внутренний, мм	Толщина, мм	Материал
плоская	593	579.5	2	резина

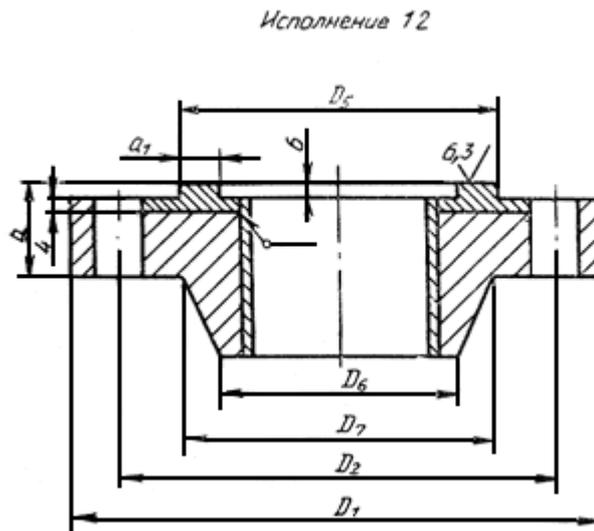
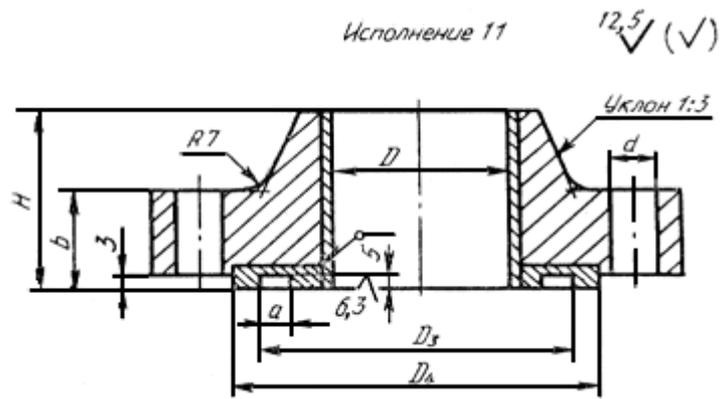


Рисунок 22 - Расчетная схема фланцевого соединения [34]

Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

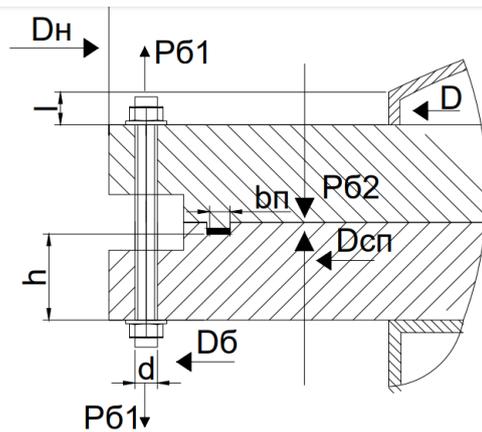


Рисунок 23 - Расчетная схема фланцевого соединения [36]

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата $D_{вн} := 534$ мм

Рабочее давление $P := 0.0001046$ МПа

Число болтов $n := 16$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	Лист
						84
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Суммарная прибавка к расчетной толщине $c_o := 3.6$ мм

Рабочая температура $t := -40$ °C

Внешний изгибающий момент $M := 0$ Н·мм

Осевая сила $F := 0$ Н

Наружный диаметр фланца $D_n := 594$ мм

Диаметр расположения болтов $D_b := 602$ мм

Диаметр болтов $d := 24$ мм

Толщина тарелки фланца $h := 0.5 \cdot (D_n - D_{вн}) = 30$ мм

Толщина обечайки $S_0 := 6$ мм

Коэффициент $\beta := 2.5$

Толщина втулки приваренного встык фланца в месте

присоединения к тарелке $S_1 := \beta \cdot S_0 = 15$ мм

Наружный диаметр прокладки $D_{нп} := 593$ мм

Ширина прокладки $b_{п} := 13$ мм

Толщина прокладки $h_{п} := 2$ мм

Высота втулки фланца $l := 3 \cdot (S_1 - S_0) = 27$ мм

Расчетные значения:

Расчетные температуры:

Расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по таблице В1 [37]:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad (171)$$

$$t_{\phi} = -38.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетные температура шпилек:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t \quad (172)$$

$$t_{\sigma} = -34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35 по таблице Г1 при 20 °C (так как расчетная температура меньше 20 °C. [37]):

$$\sigma_{дб} := 130 \text{ МПа}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						85
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Модуль упругости для шпилек из стали 35 при расчетной температуре по таблице Ж1 [37]:

$$E_{\sigma} := 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение для шпилек при температуре 20 градусов по таблице Г1 [37]:

$$\sigma_{20\sigma} := 130 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания 20 градусов по таблице Ж1 [37]:

$$E_{20\sigma} := 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35 при температуре равной 20-100 градусов по таблице Ж2 [13]:

$$\alpha_{\sigma} := 11.1 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

Допустимое напряжение для фланцев и обечайки из стали 12X18H10T определим по таблице А3 [31]:

$$\sigma_{\phi} := 183 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листа проката, то:

$$\eta := 1$$

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

$$\sigma_{\text{д}\phi} = 183 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 12X18H10T при расчетной температуре по [31]:

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение для стали 12X18H10T при температуре 20 градусов по [31]:

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{\text{д}20} = 184 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре испытания 20 градусов по [31]:

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

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						86
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при температуре 20-200 градусов по [31]:

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

Допустимое напряжение для болтов из стали 35 при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [37]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

– для рабочих условий

$$K_{\text{урр}} := 1.0$$

– для условий испытания

$$K_{\text{ури}} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{\text{уз}} := 1.0$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций:

$$K_{\text{ут}} := 1.3$$

$$\sigma_{\text{дмб}} := \xi \cdot K_{\text{урр}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot \sigma_{206} \quad (173)$$

$$\sigma_{\text{дмб}} = 202.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{дмр}} := \xi \cdot K_{\text{ури}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot \sigma_{206} \quad (174)$$

$$\sigma_{\text{дмр}} = 273.78 \text{ МПа}$$

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения:

Эффективная ширина круглой прокладки по формуле 4 [37]:

$$b_0 := \frac{b_{\text{п}}}{4} = 3.25 \text{ мм} \quad (175)$$

Расчетный диаметр прокладки по формуле 5[37]:

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}}$$

$$D_{\text{сп}} = 593 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						87
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Прокладочный коэффициент $m := 0.5$

Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж} := 2.0$ МПа

Дополнительное удельное давление $q_d := 18$ МПа

Коэффициент обжатия $K_{обж} := 0.04$

Условный модуль сжатия прокладки $E_{п} := 0.3 \cdot 10^5$ МПа

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [37]:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad (176)$$

$$P_{обж} = 6.055 \times 10^3 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [37]:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P \quad (177)$$

$$R_{п} = 0.317 \text{ Н}$$

Усилие в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях:

Площадь поперечного сечений болта для М24 по приложению Д [37]:

$$f_{б} := 324 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или наружному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [37]:

$$A_{б} := n \cdot f_{б} = 5.184 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (178)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [37]:

$$Q_{д} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P = 28.889 \text{ Н} \quad (179)$$

Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [37]

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad (180)$$

$$y_{п} = 1.101 \times 10^{-10} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{б0} := 30 \text{ мм}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						88
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Эффективная длина болта при определении податливости по стр.32 [37]:

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 43.44 \text{ мм} \quad (181)$$

Податливость болтов по формуле К.2 [37]

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 3.934 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}} \quad (182)$$

Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

а) параметр длины обечайки по формуле К.3 [37]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 57.236 \text{ мм} \quad (183)$$

б) отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [37]:

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.088 \quad (184)$$

в) коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [37]:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.88 \quad (185)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 25.238 \quad (186)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 23.201 \quad (187)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 11.896 \quad (188)$$

г) коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [37]:

$$\beta_V := 0.19 \quad f := 2.0 \quad \beta_F := 0.83$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.5 \quad \frac{1}{l_0} = 0.472$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.017$$

д) коэффициент λ по формуле К.11 [37]:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						89
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\lambda := \left(\frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} \right) + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} = 0.862 \quad (189)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [37]:

$$y_{\Phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0^2)} \quad (190)$$

$$y_{\Phi} = 4.527 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами по формуле К.18 [37]:

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_b}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (191)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [37] при

$$D \geq 20 \cdot S_1 \quad \text{и} \quad f > 1$$

$$D_{пр} := D$$

Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [37]:

$$b := 0.5 \cdot (D_b - D_{сп}) = 4.5 \text{ мм} \quad (192)$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [37]:

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.029 \quad (193)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [37]:

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 6.176 \text{ мм} \quad (194)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [37]

$$e_{ww} := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_3) = 20.412 \text{ мм} \quad (195)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [37]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						90
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\sigma} \cdot \frac{E_{20\sigma}}{E_{\sigma}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 1.731 \times 10^7 \quad (196)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [37]:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)] = -3.842 \times 10^5 \text{ Н} \quad (197)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [37]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - (2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b)}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 2.437 \quad (198)$$

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

$$P_{\sigma} := \begin{bmatrix} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 70.726 \\ 3.843 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{ Н} \quad (199)$$

$$P_{\sigma 1} := \max(P_{\sigma}) = 3.843 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\sigma 2} := \max[P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20\sigma}] = 2.696 \times 10^5 \text{ Н} \quad (200)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [37]:

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) = 3.843 \times 10^5 \text{ Н} \quad (201)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [37]:

$$P_{\sigma p} := P_{\sigma M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 29.206 \text{ Н} \quad (202)$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

а) при затяжке по формуле 19 [37]:

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma M}}{A_{\sigma}} = 74.131 \text{ МПа} \quad (203)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						91
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

б) в рабочих условиях по формуле 20 [37]:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} = 5.634 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (204)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [37]:

Проверяем условие прочности

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие при затяжке не выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{\text{дмб}} \\ \text{"условия при рабочих условиях не выполняется"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{\text{дмб}} \\ \text{"условия прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условия прочности выполняется"

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 15.868 \text{ МПа} \quad (205)$$

Проверим прокладку, выполненную из резины, на прочность согласно рекомендациям [37]

Условие прочности прокладки

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности прокладки не выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"условия прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условия прочности прокладки выполняется"

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [37]:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 1.729 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (206)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [37]:

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6p} \cdot b + Q_d \cdot (e), |Q_d| \cdot e] = 721.102 \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (207)$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке

а) меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [37]:

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						92
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 28.267 \quad \text{МПа} \quad (208)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0:

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 56.535 \quad \text{МПа} \quad (209)$$

б) напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [37]:

-радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \left(\frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \right) \cdot M_M = 6.444 \quad \text{МПа} \quad (210)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 4.997 \quad \text{МПа} \quad (211)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1 по формуле 34 [37]:

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 0.012 \quad \text{МПа} \quad (212)$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0 по формуле 35 [37]:

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 0.024 \quad \text{МПа} \quad (213)$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [37]:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1:

$$\sigma_{P1MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_o)} \right] = 1.438 \times 10^{-3} \quad \text{МПа} \quad (214)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0:

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_o)} \right] = 6.941 \times 10^{-3} \quad \text{МПа} \quad (215)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						93
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении S0 вычисляются по формуле 39 [37]:

$$\sigma_{Pомо} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_0)} = 0.012 \text{ МПа} \quad (216)$$

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

- радиальное напряжение по формуле 40 [37]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 2.687 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (217)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [37]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 2.084 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (218)$$

Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [37].

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

Согласно п 8.10 [36] были рассчитаны допустимое значение общих мембранных напряжений, допустимое значение изгибных напряжений, допустимое значение суммарных общих и местных условных упругих напряжений.

$$\sigma := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 276 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.R} := 3 \cdot \sigma = 552 \text{ МПа}$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S1

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{l} |\sigma_{lp} - \sigma_{Plmm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{lp} - \sigma_{Plmm} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{lp} + \sigma_{Plmm}| \end{array} \right) \right) \quad (219)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S1

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"условие прочности выполняются"}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						94
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- при затяжке

$$\sigma_{3\max} := \max(|\sigma_{1M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{1M} + \sigma_{TM}|)$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S1

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3\max} \leq K_T \cdot \sigma_{d.M} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S0

- в рабочих условиях

$$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}|$$

$$W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}|$$

$$e := |0.3\sigma_{0p} - \sigma_{P0Mo}|$$

$$R := |0.3\sigma_{0p} + \sigma_{P0Mo}|$$

$$T := |0.7\sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$Y := |0.7\sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})|$$

$$\sigma_{P\max} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 0.031$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S0 прочности

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{P\max} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S0

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Для фланцев всех типов в сечении S0 должно выполняться условие по формуле 53

[37]:

Проверка условий для фланцев в сечении S0

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						95
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\underline{\text{Prov}} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(\sigma_{\text{POMO}}, |\sigma_{\text{P0MM}}|) \leq \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [37]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$\underline{\text{Prov}} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{\text{RM}}|, |\sigma_{\text{TM}}|) \leq K_{\text{T}} \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

- в рабочих условиях по формуле 55 [37]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$\underline{\text{Prov}} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{\text{Rp}}|, |\sigma_{\text{Tp}}|) \leq K_{\text{T}} \cdot \sigma \\ \text{"условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [37]:

$$\Theta := M_{\text{p}} \cdot u_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 3.264 \times 10^{-7} \text{ рад.} \quad (220)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца равен [37]:

$$D = 546 \text{ мм}$$

$$D' := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix} \quad \Theta_{\text{д}} := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_{\text{д}} := \text{interp}(D', \Theta_{\text{д}}, D) = 6.639 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

$$\underline{\text{Prov}} := \begin{cases} \text{"условие при испытаниях не выполняются"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_{\text{д}} \\ \text{"условие в рбочих условиях не выполняются"} & \text{if } \Theta > \Theta_{\text{д}} \\ \text{"условие поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие поворота фланца выполняется"

Проверка малоциклового прочности элементов фланцевого соединения

Производить расчет на малоцикловую прочность [39] нет необходимости, в связи с тем, что многие уже проведённые аналогичные (при подобных условиях работы и течении времени) расчеты имеют положительные результаты эксплуатации, приведенные в [38].

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						96
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.2.5 Расчет необходимости укрепления отверстий

(позиция II,III,IV, рисунок 19)

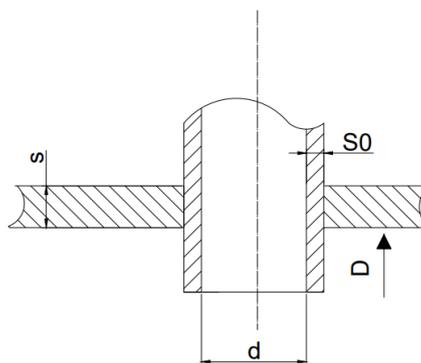


Рисунок 24 – расчетная схема укрепления отверстий

Данный пункт включает в себя проверку необходимости укрепления отверстия для штуцеров. Расчёт укрепления отверстий проводится в соответствии с требованиями [40]. Конструкция аппарата имеет 6 основных технологических штуцеров.

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, мм; $D := 543$

Марка стали ; 12X18H10T

Внутреннее расчетное давление, МПа; $P := 0.0001046$

Исполнительная толщина стенки обечайки, мм; $s := 6$

Прибавка к расчетной толщине стенки, мм; $c := 3.6$

Допускаемое напряжение при температуре °С, МПа; $\sigma_d := 184$

Коэффициент прочности сварных швов; $\phi = 1$

Внутренний диаметр штуцера, мм. $d_1 := 100$

$$d_2 := 10$$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [40]:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 107.2 \text{ мм} \quad (221)$$

$$d_{p2} := d_2 + 2 \cdot c = 17.2 \text{ мм} \quad (222)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						97
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру не выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие применения формул выполняется"

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров не выполняются"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру не выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "условие применения формул выполняется"

Расчетная толщина стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляется по формуле 16 [40]:

$$s_p := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 1.543 \times 10^{-4} \text{ мм} \quad (223)$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по 16 [40]:

$$s_{p.ш} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 8.868 \times 10^{-6} \text{ мм} \quad (224)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера равна:

$$s_{н.ш} := s_{p.ш} + c = 3.6 \text{ мм} \quad (225)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки определяется по формуле 26 [40]:

$$D_p := D = 543 \text{ мм}$$

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 1.123 \times 10^6 \text{ мм} \quad (226)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p1} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Не требуется укрепление отверстий"

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						98
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Не требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p2} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov = "Не требуется укрепление отверстий"

Вывод по расчету:

Так как условия проверки отверстий на укрепление выполнимо, то укреплять отверстия для технических штуцеров нет необходимости.

5.4.6 Подбор и расчет стандартной опоры аппарата

Подбор опор

Для подбора опор необходимо определить максимальную массу аппарата, достигаемую при полном заполнении аппарата, которое происходит при гидроиспытаниях

· Масса обечайки:

Объем материала обечайки вычисляется по формуле:

$$D_{\text{нар}} := 0.546 \text{ мм}$$

$$D_{\text{вн}} := 0.534 \text{ мм}$$

$$L := 0.570 \text{ мм}$$

$$V_{\text{об}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - D_{\text{вн}}^2) \cdot L = 5.802 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (227)$$

Масса обечайки рассчитывается по формуле:

$$\text{Плотность стали 12X18Н10Т } \rho_{\text{об}} := 7740 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m_{\text{об}} := \rho_{\text{об}} \cdot V_{\text{об}} = 44.907 \text{ кг} \quad (228)$$

· Масса пластин:

Вес одного листа алюминия толщиной 10 мм, размером 177x390мм = 12 кг

Так как для пластины используется два листа алюминия, то вес одной пластины равен:

$$m_{\text{п1}} := 12 \cdot 2 = 24 \text{ кг} \quad (229)$$

Тогда масса 2-х пластин:

$$m_{\text{п}} := m_{\text{п1}} \cdot 2 = 48 \text{ кг} \quad (230)$$

· Масса крышки и днища:

Согласно таблице 1 [34] масса крышки 08X18Н10 равна 15,9 кг.

Тогда, суммарная масса крышек равна:

$$m_{\text{кр}} := 15.9 \text{ кг}$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						99
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Масса трубчатых электронагревателей:

$$m_{\text{ТЭН}} := 0.2 \cdot 2 = 0.4 \text{ кг} \quad (231)$$

Масса стальной трубки диаметром 12 мм и длиной 210 мм - 0.06 кг

$$m_{\text{Труб}} := 0.06 \cdot 2 = 0.12 \text{ кг} \quad (232)$$

· Общая масса аппарата:

$$m_{\text{апп}} := m_{\text{об}} + m_{\text{п}} + m_{\text{кр}} + m_{\text{ТЭН}} = 109.207 \text{ кг} \quad (233)$$

Масса аппарата с замороженным льдом:

Масса льда за период сублимации

$$m_{\text{л}} := 10.56 \text{ кг}$$

· Массу вспомогательных устройств примем за 20% от массы аппарата:

$$m_{\text{вс}} := 0.2 \cdot m_{\text{апп}} = 21.841 \text{ кг} \quad (234)$$

· Общая нагрузка на опоры:

Общая нагрузка на опоры рассчитывается по формуле:

$$g := 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ - ускорение свободного падения}$$

$$G := (m_{\text{апп}} + m_{\text{вс}} + m_{\text{л}}) \cdot g = 1.389 \times 10^3 \text{ Н} \quad (235)$$

Установим аппарат на четыре опоры, в этом случае нагрузка на одну опору:

$$\frac{G}{4} = 347.294 \text{ Н} \quad (236)$$

· Нагрузка от собственной массы равна:

$$F := G = 1.389 \times 10^3 \text{ Н}$$

По полученным значениям по [43] принимаем опору для вертикального аппарата
ОСТ 26-665-79

Исходные данные:

Безразмерный коэффициент, учитывающий условия гидроиспытаний; $K_2 := 1.05$

Длина цилиндрической части сосуда, мм; $L := 570$

Внутренний диаметр аппарата, мм; $D := 534$

Внутреннее давление, МПа $P_{\text{н}} := 0.0001046$

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

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						100
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Ширина опоры, мм; $b := 60$

Исполнительная толщина подкладного листа, мм; $s_2 := 4$

Ширина подкладного листа, мм; $b_2 := 45$

Допускаемое напряжение при 20°C, МПа; $\sigma_{20} = 184$

Длина выступающей цилиндрической части сосуда, мм; $a := 45$

Длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм; $a_1 := 65$

Расстояние от центра тяжести опорной лапы, приваренной к стойке, до верхнего
обреза фундамента $h := 85$

Высота опорной лапы $h_1 := 8$

Вес аппарата при гидроиспытаниях, Н; $G_{ан} := 2.927 \times 10^4$

Модуль продольной упругости при 20°C, МПа; $E_{20} = 2.15 \times 10^5$

Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм $c := 0.9$

Толщина стенки аппарата, мм; $s := 6$

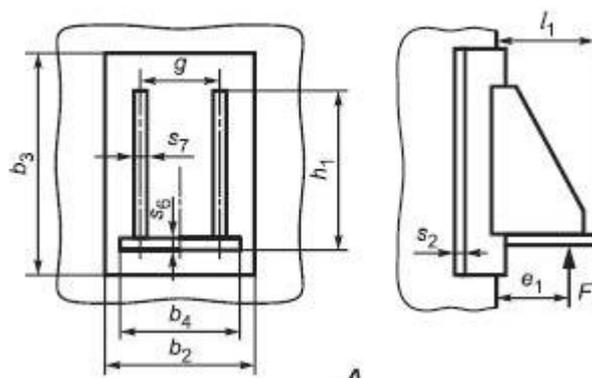


Рисунок 25 - Расчетная схема опорной лапы [43]

Проверка применимости формул [42]:

```
Us12 := 

|                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| "Формулы применимы" if           | $g \geq 0.2h_1$             |
|                                  | $\frac{s - c}{D} \leq 0.05$ |
|                                  | $s_2 \geq s$                |
| "Формулы НЕ применимы" otherwise |                             |


```

Us12 = "Формулы НЕ применимы"

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i> 101
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Усилие, действующее на опору, вычисляют по формулам [42]

Усилие, действующее на опорную лапу:

Число опор $n_{оп} := 4$

Длина опоры: $l_1 := 8$ мм

Расстояние между точкой положения усилия и обечайкой, мм

$$e_1 := \frac{5}{6 \cdot l_1} = 0.104 \quad \text{мм} \quad (237)$$

Вертикальное усилие: $D_p := 534$ мм

Расчетный изгибающий момент:

$$M := 0.0105 \cdot G_{ан} \cdot L = 1.752 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (238)$$

$$F_1 := \frac{G}{4} \cdot \frac{M}{D_p + 2(e_1 + s + s_2)} = 1.098 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (239)$$

Горизонтальное усилие, действующее на основание опорной лапы в случае приварки к ней опорной лапы:

$$Q_1 := \frac{Q}{n} = 1.04 \times 10^{-3} \quad \text{Н} \quad (240)$$

Эквивалентное плечо нагрузки, в случае приварки опорной лапы к стойке:

$$e_{1э} := e_1 + \frac{Q_1 \cdot h}{F_1} = 0.104 \quad \text{мм} \quad (241)$$

Проверка несущей способности обечайки [42] :

Общее мембранное напряжение [42]

$$\sigma_m := \frac{P \cdot D_p}{2(s - c)} = 0.012 \quad \text{МПа} \quad (242)$$

Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба [42]:

$$\theta_1 := 0.3$$

Коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями

$$\theta_2 := \frac{\sigma_m}{K_2 \cdot \sigma \cdot \phi} = 6.023 \times 10^{-5} \quad (243)$$

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						102
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$K_1 := \frac{1 - \theta_2^2}{\left(\frac{1}{3} \cdot \theta_1 \cdot \theta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_1 \cdot \theta_2\right)^2 + (1 - \theta_2^2) \cdot \theta_1^2}} = 2.23 \quad (244)$$

Предельное напряжение изгиба в месте крепления опор по формуле (1) [42]

$$\sigma_i := K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma = 430.795 \text{ МПа} \quad (245)$$

Расчет коэффициента K7

$$x := \ln \left[\frac{D_p}{2(s - c)} \right] = 4.712 \quad (246)$$

$$y := \ln \left(\frac{h_1}{D_p} \right) = -4.201 \quad (247)$$

$$K_{7.1} := \exp \left[\left(-5.964 - 11.395x - 18.984y - 2.413x^2 - 7.286x \cdot y - 2.042y^2 \right) 10^{-2} \right] \quad (248)$$

$$K_{7.2} := \exp \left[\left(0.1322x^3 + 0.4833x^2y + 0.8469 \cdot x \cdot y^2 + 1.428y^3 \right) 10^{-2} \right] \quad (249)$$

$$K_7 := K_{7.1} + K_{7.2} = 2.624 \quad (250)$$

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа должна удовлетворять условию:

$$F_{1y} := \left[\frac{\sigma_i \cdot h_1 \cdot (s - c)^2}{K_7 \cdot e_{13}} \right] \cdot \left(0.5 + \frac{g}{h_1} \right) = 1.254 \times 10^5 \quad (251)$$

$$\text{Prov}_1 := \begin{cases} \text{"Несущая способность удовлетворяет условию"} & \text{if } F_1 \leq (F_{1y}) \\ \text{"Несущая способность не удовлетворяет условию"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov_1 = "Несущая способность удовлетворяет условию"

Вывод по расчету:

Исходя из проведенного расчета опор для аппарата, можно сделать вывод, что выбранные опорные лапы подходят для десублиматора, так как выбранные опоры удовлетворяют условиям прочности и устойчивости.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						103
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ВЫВОДЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведенных расчетов были выявлены размеры:

а) Сублимационной сушилки. Диаметр сублимационной сушилки составил 1000мм. Материал исполнения корпуса нержавеющая сталь Aisi 304 (12X18H10T). Расположение горизонтальное, сублиматор установлен на две седловые опоры, рассчитанные на нагрузку аппарата 8,6 кН.

Аппарат имеет две эллиптические крышки, выполненные из такого же материала что и корпус, с наружным диаметром 1020 мм и толщиной стенки 6 мм. Внутри аппарата расположены полки из алюминия, размером 800x1000мм и толщиной 20 мм. В каждой полке располагается нагревательный элемент (ТЭН). Так же были выбраны гасроемкости из нержавеющей стали, размером 40x650x530 мм.

Были подобраны фланцы соединения шип-паз, для крепления крышки. В качестве болтов выбраны откидные болты, в качестве гаек – рым-болты. Прокладка между фланцами – вакуумная уплотнительная резина (жгут с сечением 15 мм).

б) Конденсатор. Корпус конусовидный. Размер корпуса конденсатора 570x534 мм. Материал исполнения корпуса нержавеющая сталь 08X18H10. Расположение вертикальное, в конденсаторе находятся две пластины конусовидные, с хладагентом и ТЭНами, размером 177x390x34 мм, исполнение материала – алюминий. Аппарат имеет четыре опорные- лапы, рассчитанные на нагрузку 1.4 кН.

Аппарат имеет эллиптическую крышку, толщиной стенки 6 мм. Подобраны фланцы соединения шип-паз. Прокладка между фланцами – вакуумная уплотнительная резина (жгут с сечением 13 мм).

Аппараты были рассчитаны на прочность и устойчивость. Все условия прочности и устойчивости аппарата и его частей, выполняются.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						104
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Примерный бюджет проекта – 239944 руб. В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер, консультант
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30% Минимальный размер оплаты труда (на 01.01.2021) 12792 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на проектирование Формирование бюджета реализации проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Кандидат экономических наук, доцент		24.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна		24.04.2021

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является вакуум-сублимационная сушилка для производства быстрорастворимых напитков.

В ходе работы были проведены технологический расчет сублимационной сушилки и конденсатора, конструктивный расчет и подобраны материалы исполнения сублиматора и конденсатора, механический расчет.

Проектирование аппаратов и оборудования должно определяться, не только технологическими и конструкторскими расчетами, но также их востребованностью на рынке, перспективностью и расчетом цены.

Таким образом цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» это определение успешности и перспективности проектируемой работы.

6.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом разработки является вакуум-сублимационная сушилка для производства быстрорастворимых напитков. Соответственно потенциальными потребителями являются промышленные предприятия. Так как вакуум-сублимационная сушилка может использоваться не только для производства напитков, но и других продуктов, а так же фармацевтических средств, то к промышленным предприятиям, являющимися потенциальными потребителями, относятся пищевые и фармацевтические производства, но в основном пищевые. Исходя из этого, составим карту сегментирования рынка (таблица 12).

Как видно из карты сегментирования проектируемое оборудование благодаря его достаточной компактности и не особо сложном управлении можно использовать на крупных, средних и мелких пищевых предприятиях, так как проектируемый сублиматор непосредственно предназначен для производства напитков.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
<i>изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>					104	26
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>				ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

Таблица 12- Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Пищевые промышленные предприятия	Фармацевтические промышленные предприятия	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Но, тем не менее, сублиматор можно использовать в средних фармацевтических предприятиях, возможно даже и в крупных, но более он применим в средних размеров предприятиях. Использование вакуум-сублимационной сушилки в лаборатории имеет место быть, но только в том случае если лаборатория является крупной и располагает помещением для установки сушилки.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет оценить эффективность проектируемого оборудования и сравнить его с уже существующими аналогами, так же определить направление для будущего совершенствования

Данный анализ следует производить с использованием оценочной карты таблица 13.

Конкурентные решения возникли в ходе изучения аналогов и альтернатив вакуум-сублимационной сушилки. В качестве конкурентов были выбраны следующие вакуум-сублимационные сушилки:

– Лк- Лиофилизатор FD-50 компании Kemolo. Данный лиофилизатор имеет 6 полок, так же как и в проектируемой сушилке, в качестве хладагента и теплоносителя используется масло, размер камеры 2.6x1.2x2 м, цилиндрическая [44].

– СС_В – Сублимационная сушилка LP 30 компании Biorus. Имеет 5 обогреваемых маслом полок, сушильная камера – квадратная, размеры камеры 1010x900x5 мм [45]

– СС_Г –Экспериментальная сублимационная сушилка Ray компании GEA. Поверхность сушки 0.7 м², загрузка 20 кг/сут имеется водная система подогрева, сенсорное управление, камера – цилиндрическая [46].

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						107
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 13- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Л _к	СС _в	СС _г	К _{лк}	К _{ССв}	К _{ССг}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надёжность	0,25	4	2	3	1	0.5	0.75
2. Энергоэкономичность (минимум потерь)	0,09	2	3	4	0.18	0.27	0.36
3. Величина токов КЗ (минимальная)	0,05	3	2	4	0.15	0.1	0.2
4. Безопасность	0,20	5	3	4	1	0.6	0.8
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,20	3	2	4	0.6	0.4	0.8
2. Затраты на монтаж схемы (минимальные)	0,09	5	2	3	0.45	0.18	0.27
3. Простота обслуживания	0,07	4	3	5	0.28	0.21	0.35
4. Долговечность оборудования	0,05	4	2	3	0.2	0.1	0.15
Итого	1	30	21	30	3,86	2,36	3,68

По таблице видно, что сублимационные сушилки компании Kemolo и GEA имеют одинаковое количество баллов, когда сушилка от компании Viogus значительно отстает от них по многим показателям. Согласно конкурентоспособности, наиболее конкурентоспособной является сублимационная сушилка компании Kemolo, на втором месте сушилка компании GEA и третье место по конкурентоспособности с количеством баллов 2.3 заняла сушилка компании Viogus.

Согласно [47] определим анализ конкурентных технических решений по формуле 1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (252)$$

Где, K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента; B_i – вес критерия

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						108
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

B_i – баллы показателя; от 1 до 5, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная, выбираются экспертным путем.

$$K_{ЛК} = \sum (B \cdot Б) \\ = 0,25 \cdot 4 + 0,09 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,09 \cdot 5 + 0,07 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4$$

$$K_{ЛК} = 3.86$$

$$K_{ССВ} = \sum (B \cdot Б) \\ = 0,25 \cdot 2 + 0,09 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,09 \cdot 2 + 0,07 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2$$

$$K_{ССВ} = 2.36$$

$$K_{ССГ} = \sum (B \cdot Б) \\ = 0,25 \cdot 3 + 0,09 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,09 \cdot 3 + 0,07 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3$$

$$K_{ССГ} = 3.68$$

Согласно анализу, можно сделать вывод, что данный способ позволяет определить конкурентов в той или иной сфере, рассмотреть по каким критериям конкуренты лидируют и по каким отстают и при проектировании своего оборудования сделать упор на критерии, по которым отстает конкурент. Тем самым обеспечивая для проектируемого оборудования высокий уровень качества и востребованность на рынке.

6.2 SWOT-анализ

SWOT анализ представляет собой комплексную характеристику проекта. Данный анализ применяют для понимания внешних сил, тенденций, условий в которых проект будет развиваться. SWOT анализ проводится в несколько этапов, первый это описание сильных и слабых сторон проекта, анализ возможных угроз и возможностей, второй этап – зависимость возможностей и угроз от сильных и слабых сторон, третий этап – итоговый анализ.

Таким образом, для составления итогового анализа, то есть третьего этапа SWOT – анализа, составим таблицу слабых и сильных сторон проекта, а также возможностей и угроз.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						109
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 14 - Итоговый SWOT- анализ

	<p>Сильные стороны проекта</p> <p>C1. Компактность установки</p> <p>C2. Удобность монтажа и эксплуатации</p> <p>C3. Сохранение свойств высушиваемых продуктов (материалов)</p> <p>C4. Экологичность проекта</p>	<p>Слабые стороны проекта</p> <p>Сл1. Дорогостоямость реализации проекта</p> <p>Сл2 Энергозатратность при эксплуатации</p> <p>Сл 3 Использование материалов только пригодных для пищевых производств</p> <p>Сл 4 Для эксплуатации требуются квалифицированные работники</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Востребованность в мире новых технологий;</p> <p>В2 Значимость проектирования и реализации проекта на мировом рынке</p> <p>В2. Спрос на результаты теоретических расчетов</p> <p>В4.Возможность дальнейшей эксплуатации аппарата как в пищевой так и в фармацевтической промышленности</p>	<p>Сильные стороны и возможности</p> <p>1.Из-за проектирования сушилки с более усовершенствованным конденсатором, новые технологии будут востребованы на рынке;</p> <p>2. Благодаря компактности и простоте эксплуатации проекта есть вероятность выпуска проектируемого аппарата на рынок;</p> <p>2.Заинтересованность потребителей в сублимированных продуктах, соответственно заинтересованность производств в приобретении аппарата</p> <p>3. Развитие торговых отношений между отечественными производителями и иностранными</p> <p>4. Благодаря экологичности проекта на него будет спрос.</p>	<p>Слабые стороны и возможности</p> <p>1. Так как реализация проекта является достаточно дорогостоящей продвижение его на рынок будет затруднителен</p> <p>2. Анализ слабых сторон конкурентных разработок и устранение их свойств в собственном проекте.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление более удобных и компактных сушильных аппаратов</p>	<p>Сильные стороны и угрозы</p> <p>1. Возможность скорректировать проект и усовершенствовать аппарат</p> <p>2. Использование качественных материалов и прокладок</p>	<p>Слабые стороны и угрозы</p> <p>1. Снижение спроса на проектируемый аппарат</p> <p>2. Ухудшение качества материалов в связи с этим плохое качество аппарата,</p>

Окончание таблицы 14

Угрозы:	Сильные стороны и угрозы	Слабые стороны и угрозы
У2 Возможно нарушение герметичности при эксплуатации или монтаже	3. Продвижение проекта на мировой рынок благодаря его конструкции и свойств	нарушение герметичности 3.Подбор квалифицированных специалистов для монтажа и эксплуатации аппарата 4.Снижение цен на выпускаемую продукцию.
У3. Развитая конкуренция производителей		
У4 Ухудшения качества материалов		

В ходе анализа были выявлены сильные стороны проекта, которые позволяют выдвинуть проект на мировой рынок, дает способность исправить недостатки проекта. Так же были рассмотрены слабые стороны, такие как энергозатратность, дорогая реализация, монтаж аппарата, обязательное использование материалов, разрешенных в пищевой промышленности, а так же обязательное наличие высококвалифицированных специалистов.

Так как аппарат должен быть выполнен качественно, должен быть удобным и компактным то исходя из этого, могут возникнуть такие угрозы, как плохое качество материалов, нарушение герметичности в ходе монтажа или же самой эксплуатации, что не допустимо, так как аппарат работает под вакуумом. Таким образом, при проектировании вакуум-сублимационной сушилки следует обратить внимание на рынок конкурентов, используемые материалы, спрос производимой продукции.

6.3 Планирование технического проекта

6.3.1 Структура научно-технического исследования

Планирование технического проекта необходимо для четкого понимания и распределения работы.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						111
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таким образом, при выполнении технического проекта необходимо сформировать рабочую группу, в которую могут входить научные сотрудники, инженера, лаборанты. Каждый из них, отвечает за свою работу.

В данном пункте следует составить этапы работы проведения проектирования вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков и распределить эти этапы между группой исполнителей, в состав этой группы входят бакалавр, в качестве исполнителя - инженер (И), научный руководитель выпускной квалификационной работы (НР), консультант по разделу «финансовый менеджмент» - К.

Примерный порядок составления этапов проекта приведен в таблице 15

Таблица 15- Перечень этапов, работ и распределения

Основные этапы работ	Номер работ	Содержание работ	Исполнитель
Выбор руководителя	1	Выбор и связь с руководителем ВКР	И
Выбор темы	2	Выбор и обсуждение темы с руководителем	И, НР
Разработка технического задания	3	Составление и разработка технического задания	НР, К
Выбор направления исследований	4	Подбор материалов и литературы по теме исследования	НР, И
	5	Изучение литературы по теме ВКР	И
	6	Планирование выполнения работы	НР, И, К
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Выполнение теоретической части и составление технологической схемы	И
	8	Проведение расчетов с использованием ПО MathCAD	И
	9	Проверка результатов	НР, К

Окончание таблицы 15

Основные этапы работ	Номер работ	Содержание работ	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка выполненной работы и выявление ошибок	НР, И, К
Проведение ВКР			
Разработка технической и документации и проектирование	11	Разработка эскизов а затем чертежей в программе AutoCAD	И
	12	Проверка разработанных чертежей	НР, И
Оформление отчета по НИР	13	Оформление и написание пояснительной записки	И

Таким образом, исходя из таблицы 15 видно, что проектирование вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков состоит из 13 этапов. Основную работу проводит исполнитель – инженер, но руководитель так же играет важную роль в написании выпускной квалификационной работы.

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значения трудоемкости $t_{ожі}$, рассчитаем по формуле (2):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (253)$$

где, $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн..

Составим таблицу (16) минимальной и максимальной трудоемкости выполнения работы. На выполнение ВКР отведено 4 месяца (т.е 97 дней). Минимальный срок выполнения -70 дней, максимальный 95.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						113
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 16- Минимальная и максимальная трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Минимальная трудоемкость	1	1	2	2	4	1	8	10	1	2	12	1	17
Максимальная трудоемкость	1	2	3	4	6	2	10	14	2	3	16	2	25

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{ож_1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 1}{5} = 1 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_2} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн}$$

$$t_{ож_3} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2.4 \text{ чел. -дн}$$

$$t_{ож_4} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2.8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4.8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_6} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_7} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 10}{5} = 8.8 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_8} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 14}{5} = 11,6 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_9} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_{10}} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2.4 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_{11}} = \frac{3 \cdot 12 + 2 \cdot 16}{5} = 13.6 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_{12}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн};$$

$$t_{ож_{13}} = \frac{3 \cdot 17 + 2 \cdot 25}{5} = 20.2 \text{ чел. -дн};$$

Внесем для удобства ожидаемую трудоемкость в таблицу 17 (округляя значения до целых чисел)

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						114
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 17 - Ожидаемая трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ожидаемая трудоемкость	1	1	2	3	5	1	9	12	1	2	14	1	20

Определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , по формуле (3):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (254)$$

где, T_{pi} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитаем продолжительность каждой работы:

$$T_{p1} = \frac{1}{1} = 1 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p2} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p3} = \frac{2}{1} = 2 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p4} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p5} = \frac{5}{1} = 5 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p6} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p7} = \frac{9}{1} = 9 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p8} = \frac{12}{1} = 12 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p9} = \frac{1}{1} = 1 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p10} = \frac{2}{2} = 1 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p11} = \frac{14}{1} = 14 \text{ раб. дн}$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						115
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$T_{p12} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ раб. дн}$$

$$T_{p13} = \frac{20}{1} = 20 \text{ раб. дн}$$

Внесем результаты в таблицу 18, округляя значения до целого.

Таблица 18 - Продолжительность каждой работы в рабочих днях

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Продолжительность каждой работы	1	1	2	2	5	1	9	12	1	1	14	1	20

Таким образом, максимальное количество времени понадобится на составление пояснительной записки, выполнение расчетов и чертежа.

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В качестве графика проведения исследования, удобнее всего воспользоваться диаграммой Гранта. Она представляет собой горизонтальный график, на котором выполняемая работа представлена отрезками, которые в свою очередь характеризуют даты начала и окончания работы.

Переведем дни, затраченные на работу в календарные по формуле 4.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (255)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Для этого определим коэффициент календарности по формуле 5:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (256)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

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

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

Определим коэффициент календарности на 2020 год:

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						116
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,5$$

Следовательно, длительность первой работы в календарных днях равна:

$$T_{\text{к1}} = T_{\text{р1}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к2}} = T_{\text{р2}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к3}} = T_{\text{р3}} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к4}} = T_{\text{р4}} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к5}} = T_{\text{р5}} \cdot k_{\text{кал}} = 5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к6}} = T_{\text{р6}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к7}} = T_{\text{р7}} \cdot k_{\text{кал}} = 9 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ дн.} \approx 14 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к8}} = T_{\text{р8}} \cdot k_{\text{кал}} = 12 \cdot 1,5 = 18 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к9}} = T_{\text{р9}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к10}} = T_{\text{р10}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к11}} = T_{\text{р11}} \cdot k_{\text{кал}} = 14 \cdot 1,5 = 21 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к12}} = T_{\text{р12}} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ дн.} \approx 2 \text{ дн.}$$

$$T_{\text{к13}} = T_{\text{р13}} \cdot k_{\text{кал}} = 20 \cdot 1,5 = 30 \text{ дн.}$$

Вносим результаты в таблицу 19 (округляя число до целого)

Таблица 19 - Временные показатели проведения работ

№	Минимальная трудоемкость	Максимальная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость	Исполнители работ	Длительность в раб. днях	Длительность в кал. Днях
1	1	1	1	И	1	2
2	1	2	1	НР,И	1	2
3	2	3	2	НР, К	2	3
4	2	4	3	НР, И	2	3

Окончание таблицы 19

№	Минимальная трудоемкость	Максимальная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость	Исполнители работ	Длительность в раб. днях	Длительность в кал. Днях
5	4	6	5	И	5	2
6	1	2	1	И, НР,К	1	2
7	8	10	9	И	9	14
8	10	14	12	И	12	18
9	1	2	1	НР,К	1	2
10	2	3	2	НР,И, К	1	2
11	12	16	14	И	14	21
12	1	2	1	НР, И	1	2
13	17	25	20	И	20	30
Итого:	62	90	72		70	103

Согласно таблице 19 построим календарный план-график (таблица 20)

Таблица 20 - План-график работ по теме «Проект вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков»

Вид работы	Исполнители	Т _{кi} , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ												
			Февраль			Март			апрель			Май			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Выбор руководителя	И	2													
Выбор темы	И, НР	2													
Разработка технического задания	НР, К	3													

					ФЮРА.066562.001 ПЗ					<i>Лист</i> 118
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						

6.4 Бюджет технического проекта

Расчет бюджета является одним из важных разделов финансового менеджмента, так как при расчете, возможно, увидеть все расходы, связанные с проектом.

Для этого необходимо произвести следующие расчеты:

- Материальные затраты;
- Амортизационные отчисления;
- Основную заработную плату;
- Накладные расходы;

6.4.1 Материальные затраты на выполнение проекта

Рассчитаем материальные затраты по формуле 6

$$Z_M = (1 + k) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (257)$$

где, m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых в процессе выполнения работ;

$N_{расхi}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (шт., кг, л, и т.д.);

C_i - цена единицы i -го вида материальных ресурсов (руб./шт., руб./л., руб./кг. и т.д.);

k_t - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимаются в размере 15% от стоимости материалов).

Представим материальные затраты в виде таблицы 21

Таблица 21- Материальные затраты в рамках работ

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Ручка	1	25	25
Тетрадь	2	45	90
Карандаш	2	27	54
Картридж для принтера	1	750	750

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						120
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Окончание таблицы 21

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	300	300
Всего за материалы:			1219
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%):			200
Итого:			1419

Так же для выполнения проектирования, выполнения расчетов и чертежа необходимы программы и оборудование, представленное в таблице 22, при этом затраты не учитываем так как, оборудование и ПО было приобретено заранее.

Таблица 22 - Материальные затраты на оборудование и программы

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Ноутбук	1	10000	10000
Mathcad 14	1	30000	30000
AutoCAD	1	60000	60000
Итого:			100000

6.4.2 Амортизационные отчисления

Рассчитаем амортизацию ПК, первоначальная стоимость 10000 рублей, срок полезного использования для машин офисных составляет 2-3 года, принимаем 3 года; ПК используется в течение 4 месяцев для написания выпускной квалификационной работы

Следовательно, норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{3} \times 100\% = 33,33\% \quad (258)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 10000 \times 0,33 = 3300 \text{рублей} \quad (259)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						121
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$A_m = \frac{3300}{12} = 275 \text{ рублей}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 275 \times 4 = 1100 \text{ рублей}$$

6.4.3 Заработная плата исполнителей

Рассмотрим и рассчитаем заработную плату исполнителя и руководителя (работников, участвующих в выполнении работы).

Известно, что оклад руководителя (в должности доцента, кандидат наук) составляет 36174 руб., оклад инженера 18426 руб, оклад консультанта (в должности доцента, кандидат наук) – 36174 руб.

Таким образом, затраты на заработную плату [46]:

$$Z_p = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (260)$$

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Заработная плата основная:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \cdot (1 + K_{пр} + K_{д}) \cdot K_r \quad (261)$$

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент (0,3);

$K_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

K_r – районный коэффициент (для Томска 1,3);

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (262)$$

Z_m – оклад работника за месяц, руб.

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						122
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 23 - Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни		
	Исполнитель	Руководитель	Консультант
Календарные дни	366	366	366
Нерабочие дни (праздники/выходные)	62	58	58
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	28	56	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	270	270

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера, руководителя и консультанта данные внесем в таблицу 24.

$$З_{дн \text{ инж.}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{18426 \cdot 11,2}{251} = 822,2 \text{ руб.}$$

$$З_{дн \text{ рук.}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{36174 \cdot 11,2}{270} = 1500,5 \text{ руб.}$$

$$З_{дн \text{ кон.}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{36174 \cdot 11,2}{270} = 1500,5 \text{ руб.}$$

$$З_{осн. \text{ инж}} = 822,2 \cdot 67 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 107420,4$$

$$З_{осн. \text{ рук}} = 1500,5 \cdot 9 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 26333,77$$

$$З_{осн. \text{ кон}} = 1500,5 \cdot 5 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 14629,87$$

Таблица 24- Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{дн} , руб.	К _{пр}	К _д	К _р	Т _р	З _м , руб.	З _{осн}
Инженер	822,2	0,3	0,2	1,3	67	18426	107420,4
Руководитель	1500,5	0,3	0,2	1,3	9	36174	26333,77
Консультант	1500,5	0,3	0,2	1,3	50	36174	14629,87
Итого							148384

Расчет дополнительной заработной платы исполнителей [46]:

$$З_{доп} = 0,12 \cdot З_{осн} \quad (263)$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	Лист 123
изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Z_{\text{доп инж}} = 0,12 \cdot 107420 = 12890,4 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп рук}} = 0,12 \cdot 26333,77 = 3160,05 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп кон}} = 0,12 \cdot 14629,87 = 1755,5 \text{ руб.}$$

6.4.4 Отчисление во внебюджетные фонды

Данный раздел включает расходы, установленные законодательством Российской Федерации, туда входят такие отчисления в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсии фонд (ПФ) и на медицинское страхование (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (264)$$

Рассчитаем величину внебюджетных отчислений:

$$Z_{\text{внеб инж}} = 0,3 \cdot (107420 + 12890,4) = 36093,12 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб рук}} = 0,3 \cdot (26333,77 + 3160,05) = 8848,12 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб кон}} = 0,3 \cdot (14629,87 + 1755,5) = 4915,6 \text{ руб}$$

Следовательно, исходя из заработной платы инженера, отчисления во внебюджетные фонды составляет 36100 рублей, руководителя 8800 рублей, консультанта 4900 рублей.

6.4.5 Бюджет затрат НТИ

Для определения затрат проекта, а так же для формирования бюджета затрат, необходимо рассчитать величину затрат. Данные бюджета затрат НТИ приведены в таблице.25

Таблица 25 - Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	1220
2. Затраты на оборудование	0
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148384
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17850
5. Отчисления во внебюджетные фонды	49860

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						124
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Продолжение таблицы 25

Наименование статьи	Сумма, руб
6. Затраты на научные и производственные командировки	0
7. Накладные расходы	22630
9. Бюджет затрат НТИ	239944

Рассчитаем накладные расходы:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \times (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{амор}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}})$$

$$= 0.16(1219 + 1100 + 95552,8 + 11466,2 + 32105) = 22630$$

Вывод: В ходе выполненной работы были определены – продолжительность работы, которая составила 103 календарного дня, общий бюджет на проект составило примерно 240000 рублей

6.5 Расчет бюджета реализации проекта

6.5.1 Расчет численности необходимого персонала

Рассмотрим необходимую численность персонала для монтажа и начального эксплуатирования проекта вакуум-сублимационной сушилки.

Составим таблицу численности необходимого персонала (таблица 26)

Таблица 26 - Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма об-ния $N_{\text{обс}}$	Число смен в сутки, S	Число единиц об-ния, n	Явная численность, $N_{\text{яв}}$	Эффект.время рабочего, T_3 , час	Коэф-т перехода, $K_{\text{пер}}$	Списочная численность, $N_{\text{сп}}$
Основные рабочие	4	2	4	4	12	1	4
Вспомогат. Рабочие	2	2	2	4	6	1	4
ИТР	4	2	4	2	8	1	2
Всего	10	6	10	10	26		10

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						125
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Исходя из таблицы 26 видно, что общее количество персонала необходимое для реализации проекта 10 человек.

6.5.2 Баланс эффективности годового времени

Рассмотрим баланс эффективности годового времени одного среднесписочного работника. Для этого составим таблицу 27.

Таблица 27 - Баланс эффективности годового времени одного среднесписочного работника.

Показатели рабочего времени	Дни	Часы
Календарные дни	366	8784
Нерабочие дни		
- Праздники	20	480
- Выходные	96	2304
Номинальный фонд рабочего времени	366	8784
Потери рабочего времени		
-отпуск	36	864
Эффективный годовой фонд рабочего времени	323	7752

6.5.3 График сменности

Количество выходных дней в году, ночных сменно определяется из графика сменности представленного в таблице 28.

Таблица 28 - График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	8-20	A	A	B	B	C	C	D	D	A	A	B	B	C	C	D	D	A	A	B	B
2	20-8	C	C	D	D	A	A	B	B	C	C	D	D	A	A	B	B	C	C	D	D
Отдых		B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A
		D	D	C	C	D	D	C	C	D	D	C	C	D	D	C	C	D	D	C	C

Где А- первый рабочий, В – второй рабочий, С – третий рабочий, D – четвертый рабочий

Согласно графику сменности, каждый рабочий выходит два дня в 1 смену и два дня во 2 смену, тем самым за 20 дней у каждого из работников будет 10 дней выходных.

6.5.4 Общий фонд заработной платы рабочих за год

Рассмотрим общий фонд заработной платы рабочих

Средний оклад основных рабочих составляет 40600 руб., оклад вспомогательных рабочих 25300 руб, оклад ИТР – 48800 руб.

Таким образом, затраты на заработную плату [46]:

$$Зп = Зосн + Здоп \quad (265)$$

Зосн – основная заработная плата, руб.

Здоп – дополнительная заработная плата, руб.

Заработная плата основная:

$$Зосн = Здн \cdot Тр \cdot (1 + Кпр + Кд) \cdot Кр \quad (266)$$

Здн – среднедневная заработная плата, руб.

Кпр – премиальный коэффициент (0,3);

Кд – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

Кр – районный коэффициент (для Томска 1,3);

Тр – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни

Среднедневная заработная плата:

$$Здн = \frac{Зм \cdot М}{Fд} \quad (267)$$

Зм–оклад работника за месяц, руб.

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Рассчитаем среднедневную заработную плату для исполнителя и руководителя, данные внесем в таблицу 29.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						127
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$З_{\text{дн ос.р.}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{40600 \cdot 11,2}{323} = 1407,8 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн в.р.}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{25300 \cdot 11,2}{323} = 877,27 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн итр.}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{48800 \cdot 11,2}{323} = 1692,1 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн. ос.р.}} = 1407,8 \cdot 120(1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 329238$$

$$З_{\text{осн. в.р.}} = 877,27 \cdot 120 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 205281$$

$$З_{\text{осн. итр.}} = 1692,1 \cdot 120 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 395951$$

Таблица 29 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{дн} , руб.	К _{пр}	К _д	К _р	Т _р	З _м , руб.	З _{осн}
Основные рабочие	1407,8	0,3	0,2	1,3	12	40600	329238
Вспомогательные рабочие	877,27	0,3	0,2	1,3	9	25300	205281
ИТР	1692,1					48800	395951
Итого							930470

Расчет дополнительной заработной платы исполнителей [46]:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot З_{\text{осн}} \quad (268)$$

$$З_{\text{доп ос.р.}} = 0,12 \cdot 329238 = 39508 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп в.р.}} = 0,12 \cdot 205281 = 24633 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп итр.}} = 0,12 \cdot 395951 = 47514 \text{ руб.}$$

6.5.5 Расчет затрат на реализацию проекта

1) Расчет материалов для конструирования, проектируемого сублиматора.

Определим затраты на материалы для конструирования проектируемой вакуум-сублимационной сушилки, данные внесем в таблицу 30.

Исходя из таблицы 30 видно, что сумма основных растрат на материалы на единицу продукции составляет почти ≈ 205000 рублей, а на все производства ≈ 290000 рублей.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						128
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 30 - Потребность в материалах для реализации проекта

Наименование материала	Ед.изм	Цена, тыс.руб	Расход, шт		Сумма затрат, тыс.руб	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу продукции	На весь объем производства
Лист алюминия 800x1000x10	шт	2300	1	14	2300	32200
Лист нержавеющей стали 12Х18Н10Т 6x1000x2000	шт	4500	2	6	9000	27000
ТЭНы	шт	200	1	8	200	1600
Гастроемкости 650x530x40	шт	2400	1	6	2400	14400
Труба D=200мм, 1м	шт	1300	1	4	1300	5200
Вакуум-насос	шт	11200	1	1	11200	11200
Откидные болты	шт	380	30	60	11400	22800
Рым-болты	шт	83,5	30	60	2505	5010
Резина вакуум-уплотнительная, 15мм x1м	шт	838	2	4	1676	3352
Холодильная установка	шт	83200	1	1	83200	83200
Аммиак 40л	л	4150	1	1	4150	4150
Ресивер-брызгоуловитель	шт	75500	1	1	75500	75500
ИТОГО:					204831	285612

2) Расчет амортизационных отчислений.

Для определения амортизационных отчислений необходимо рассчитать и учесть стоимость здания, стоимость оборудования и материалов, нормы амортизационных отчислений.

Представим амортизационные отчисления в таблице 31.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						129
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 31 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, руб	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, руб
1. Здания			
Цех по производству	650000	5	32500
Операторная	720000	5	36000
Итого:	1370000		68500
2. Оборудование			
Вакуум-насос	112000	10	11200
Холодильная установка	83200	10	8320
Ресивер-брызгоуловитель	75500	10	7550
Сублиматор	90686	10	9068,6
Конденсатор	16000	10	1600
Итого	377386		37738,6
ИТОГО ОБЩЕЕ	1747386		106238,6

Вывод: Годовая амортизация на здание составило 68500 рублей, на оборудование с примерным расчетом проектируемой сушилки составило 37738 рублей.

3) Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции.

Представим калькуляцию себестоимости на производство и реализацию продукции в таблице 32.

Таблица 32 - Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс.руб.	
		На 1 ед.	На весь год
1. Сырье	Руб	4150	49800
2. Энергия на технологические нужды	Руб	20,5	246
3. З/п основных работников	Руб	329238	329238
4. Отчисления на СН (30%)	Руб	98771,4	98771,4

Окончание таблицы 32

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс.руб.	
		На 1 ед.	На весь год
5. Итого условно-переменных издержек	Руб	432179,9	478055
6. Амортизация оборудования	Руб	106238,6	1274863
7. Ремонт оборудования	Руб	3500	42000
8. З/п ремонтного персонала	Руб	25000	300000
9. отчисления на СН рем.персонала (30%)	Руб	7500	90000
10. З/п ИТР	Руб	395951	395951
11 Отчисления на СН ИТР (30%)	Руб	118785	118785
12.Итого условно-постоянных издержек	Руб	656974,6	2221599
13. Цеховая себестоимость (1+2+3+4)	Руб	432179,9	478055
14. Управленческие расходы (5% от 13)	Руб	21609	23902
15. Полная себестоимость	Руб	1089155	2699654
Условно - переменные издержки	Руб	432179,9	478055
Условно - постоянные издержки	Руб	656974,6	2221599

Выводы: исходя из таблицы 32, наибольшую стоимость имеет условно-постоянные издержки = 2221599 рублей в год, и включают в себя ремонт оборудования, амортизацию оборудования, заработную плату ремонтного персонала и ИТР. Условно переменные же издержки составили 478055 рублей в год. Полная стоимость реализации проекта составила 1089155 рублей.

Следовательно, определим цену готовой продукции по формуле:

$$Ц = С \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \quad (269)$$

Где, С- полная себестоимость единицы готовой продукции,

Р – рентабельность продукции (%) – можно принять от 10-25%, примем среднее 17,5%

$$Ц = 1089155 \cdot \left(1 + \frac{17,5}{100}\right) = 1279757 \text{ рублей}$$

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						131
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Заключение

В ходе проведенного анализа были определены:

1. Карта потенциальных потребителей проекта. Основным потребителем являются пищевые предприятия.
2. Анализ конкурентных технических решений. В ходе которого было выявлено, что у проекта есть конкуренты, так как производством вакуум-сублимационных сушилок занимается не мало предприятий, данный анализ дал нам возможность учесть слабые стороны конкурентов.
3. SWOT- анализ, в ходе которого были выявлены сильные стороны проекта, которые позволяют выдвинуть проект на мировой рынок, дает способность исправить недостатки проекта и слабые стороны. Определены угрозы такие, как плохое качество материалов, нарушение герметичности в ходе монтажа или же самой эксплуатации. А так же возможности проекта.
4. Составлен план-график работ, согласно которому, продолжительность проектирования составит 4 месяца (то есть 12 декад).
5. Был проведен расчет на выполнение технического проекта. В ходе, которого определили бюджет работы = 239944 рублей

Определили бюджет для реализации проекта. Себестоимость составила 1089155 рублей, а цена готового продукта 1279757 рублей.

Таким образом, благодаря проведенным анализам и расчетам, была определена продолжительность проектирования и примерная цена реализации проекта, что дает нам возможность о рассмотрении других материалов для снижения стоимости аппарата, а так же максимально исключить недостатки.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						132
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Проект вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: вакуум-сублимационная сушилка Область применения: пищевое производство, химическая, фармацевтическая промышленность
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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 N 197-ФЗ – Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" N 426-ФЗ – ГОСТ 12.2.003-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»; – ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования»
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума; – Использование вредных хим.веществ; – Отсутствие или недостаток естественного света; – Повышенный уровень вибрации; – Работа с оборудованием под давлением; Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – Электробезопасность – Пожаробезопасность
3. Экологическая безопасность:	Сильное воздействие на окружающую среду отсутствует, но возможны выбросы: <ul style="list-style-type: none"> – В атмосферу, пары и газы при сублимации;

	<ul style="list-style-type: none"> – В гидросферы, остатки охлаждающей жидкости и жидкости после сублимации. – В литосферу , отходы образовавшиеся при поломке оборудования;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС: пожары, взрывы, обрушение здания, замыкание электросистемы</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		24.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г61	Трушкина Виктория Сергеевна		24.04.2021

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования данной работы является вакуум-сублимационная сушилка для производства быстрорастворимых напитков.

Согласно технологической схеме, на рабочей площадке будет располагаться такое оборудование как, сублиматор, десублиматор, холодильные установки, насосы, вакуумные насосы, теплообменники для нагрева и охлаждения жидкости. При использовании перечисленного оборудования, следует строго соблюдать технику безопасности, необходимо применять все меры для обеспечения безопасных условий работы для персонала, удостоверится в правильности монтажа оборудования.

Данный раздел выпускной квалификационной работы включает в себя, выявление и влияние опасных, вредных факторов, анализ условий труда, порядок проведения мероприятий по технике безопасности и противопожарной профилактике, меры устранения опасных условий труда.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном подразделе рассматриваются специальные нормы трудового законодательства при проектировании и работы с вакуум-сублимационной сушилкой, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно Федеральному закону №426-ФЗ от 28 декабря 2013 года [48], проектируемая сублимационная сушилка относится к категории: вредные условия труда (3 класс), подкласс 3.1, так как осуществляется работа с приборами под давлением, а так же работа с использованием вредных химических веществ.

В соответствии Трудового кодекса РФ (ТК РФ) [49] статьи 92, продолжительность рабочего времени для работников, условия труда на рабочих местах, которых по специальные оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, - не более 36 часов в неделю. Работающим с вредными и опасными условиями предоставляется дополнительный отпуск, согласно статье 117 ТК РФ,

					ФЮРА.066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			Социальная ответственность	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					135	14
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

при этом минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам, указанным в части первой настоящей статьи, составляет 7 календарных дней.

Оплата работы в опасных и вредных условиях труда отмечена в статье 147 ТК РФ, согласно которой, оплата труда работников, устанавливается в повышенном размере, при этом минимальный размер повышения оплаты труда работникам составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [49].

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию, а так же периодическому медицинскому осмотру (статья 213 ТК РФ). Работники, осуществляющие отдельные виды деятельности, в том числе связанной с источниками повышенной опасности (с влиянием вредных веществ и неблагоприятных производственных факторов), а также работающие в условиях повышенной опасности, проходят, обязательное психиатрическое освидетельствование не реже одного раза в пять лет. [49]

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Организация рабочего места представляет собой меры обеспечивающие эффективное использование рабочей силы и оборудования. Главная цель организационных мероприятий, это обеспечение работников высококачественным, эффективным и исправным оборудованием, так же создание комфортных и безопасных условий труда.

Исходя из ГОСТа 22269-79 взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность свободного и комфортного передвижения во время работы с учетом налагаемой спецодежды. Так же взаимное расположение элементов рабочего места должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий [50].

Расположение рабочих поверхностей при работе стоя, а так же при работе сидя должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» [51], ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования» [52].

Конструкция оборудования, должна при организации трудового процесса, исключать монотонность труда, путем ограничения частоты повторения простых трудовых действий и длительности непрерывного пассивного наблюдения за ходом производственного процесса или его части [52].

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						136
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

7.2 Производственная безопасность

В данном пункте рассматриваются и анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проектировании или эксплуатации вакуум-сублимационной установки.

7.2.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов.

Для обеспечения безопасности при работе с вакуум-сублимационной сушилкой необходимо выявить и устранить вредные и опасные производственные факторы.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда «Опасные и вредные производственных факторы» [53] в таблице 1 выделены следующие вредные факторы производственной среды при производстве быстрорастворимых напитков, методом вакуумно-сублимационной сушки.

Таблица 33 - Возможные вредные и опасные факторы при разработке, монтаже и эксплуатации вакуум-сублимационной сушилки

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативная документация
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.[53]
2.Использование вредных химических веществ (аммиак)	-	-	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.[53]
3Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы [53]

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						137
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Продолжение таблицы 32

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативная документация
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
				СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал [54]
4.Повышенный уровень вибрации	-	-	+	ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация [55]
5. Работа с оборудованием находящимся под давлением	-	+	+	ТР ТС 032/2013 Технический регламент «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»[56]
Опасные факторы				
1.Электробезопасность	+	+	+	Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ [57]
2.Пожаробезопасность	+	+	+	Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [58].

7.2.2 Анализ вредных производственных факторов

Повышенный уровень шума на рабочем месте

При производстве быстрорастворимых напитков, методом сублимации одним из вредных факторов является шум, который может возникать от работающих насосов, вакуум-насосов, работающих теплообменников, а так же самого сублиматора и десублиматора в процессе работы.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности (ССБТ) «Шум. Общие требования безопасности», влияние шума на организм работника вызывает неблагоприятные изменения в органах и системах, в общем. При длительном воздействии шума на организм может привести к потере слуха, ухудшению работы сердечно-сосудистой системы, заболеваниям нервной системы, а так же развитие профессионального заболевания такого, как стойкое нарушение слуха (тугоухость) [59].

По результатам комплексных санитарно-гигиенических работников, а так же клинических исследований влияния шума на слух человека, устанавливают гигиенические нормативы по шуму. Но даже при соблюдении гигиенических нормативов, есть случаи возникновения профессиональных заболеваний у небольшого количества работников. Предельно допустимый уровень шума в цехе составляет не более 80дБА [59].

Средства индивидуальной защиты от шума:

- Вкладыши (беруши);
- Наушники;
- Специальные шлемы и каски;
- Коллективные средства защиты от шума:
- Звукоизоляция;
- Глушители звука;
- Звукопоглощающие облицовки;
- Объемные поглотители звука [60]

Повышенный уровень вибрации на рабочем месте

От любого работающего прибора может создаваться пусть даже и небольшая вибрация. При работе с сублимационной сушилкой, вибрация создается в основном от насосов.

Сильная вибрация, которая создается оборудованием, способна привести к нарушениям в работе, выхода из строя оборудования и повлечь повреждение других строительных и технических объектов. Такие ситуации могут служить возникновению аварийных ситуаций и неблагоприятного воздействия на человека, повлечь за собой травмы работника [61].

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						139
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Влияние вибрации на человека, это механические повреждения тканей, изменение нервной системы, нарушение опорно-двигательной системы и сердечнососудистой системы. Возможно возникновение профессионального заболевания, так называемой «вибрационной болезнью».

- Средства индивидуальной защиты от шума:
- Рукавицы, перчатки;
- Обувь;
- Специальные костюмы;
- Коллективные средства защиты от шума:
- виброизолирующие опоры;
- упругие прокладки;
- конструкционные разрывы [62];

Использование вредных химических веществ

При производстве быстрорастворимых напитков, методом сублимационной сушки в десублиматоре используется хладагент – аммиак.

Согласно санитарным правилам и нормам, и гигиеническим нормативам «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ», аммиак входит в 4 класс опасности и его предельно допустимая концентрация в воздухе не должна превышать 20 мг/м³.

Газообразный аммиак при малой концентрации вызывает только жжение в глазах, при большой дозе – ожог роговицы, слепота. Газообразный аммиак оказывает нервнопаралитическое действие. Влияет на органы слуха, делая их гиперчувствительными, на органы дыхания. Может вызвать раздражение носоглотки.

Сжиженный аммиак при попадании на кожу может вызвать зуд, обморожение, покраснение [63].

Средства индивидуальной защиты от вредных химических веществ:

- Перчатки;
- Халат;
- Специальные костюмы;
- Респираторы, защитные маски;
- Коллективные средства защиты от химических веществ:
- Устройства для очистки воздуха;
- Устройства для вентиляции воздуха;
- Устройства для нейтрализации химических веществ в воздухе;
- Устройства контроля содержания вредных веществ в воздухе;

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						140
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Отсутствие или недостаток естественного света

Рабочие помещения должны быть освещены как искусственным светом так и естественным.

Благодаря хорошо освещенному рабочему помещению у работников снижается напряжения на органы зрения, а так же увеличивается работоспособность. Плохое освещение искусственным светом и отсутствие естественного может привести к заболеваниям органов зрения, нарушения нервной системы, головным болям, снижению работоспособности.

Работа с оборудованием находящимся под давлением

Вакуумно-сублимационная установка работает под давлением, соответственно должна быть оснащена устройствами для контроля давления.

При работе с оборудованием, находящимся под давлением, необходимо соблюдать технику безопасности и убедиться, что оборудование герметично закрыто при работе. При несоблюдении техники безопасности, а так же правильности эксплуатации оборудования, может привести к аварийным ситуациям и повреждения работников.

Согласно ТР ТС 032/2013 Техническому регламенту Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением", следует обращать внимание на основные виды опасности при работе с оборудованием, находящимся под давлением:

- наличие незащищенных подвижных элементов;
- вибрация;
- наличие взрывопожароопасных элементов;
- недопустимые отклонения параметров конструкции, сборочных единиц и устройств безопасности, влияющие на безопасность;
- пожар, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера;
- перегрев;
- превышение давления (рабочее давление не превышает разрешенное);
- повреждения, связанные с отложением примесей рабочей среды на внутренних поверхностях элементов оборудования;
- коррозия или иные виды износа поверхности элементов оборудования;
- неисправность предохранительных устройств и систем безопасности;
- прекращение действия вспомогательного оборудования;
- исчезновение напряжения на всех контрольно-измерительных приборах, устройствах дистанционного и автоматического управления;

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						141
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- снижение уровня жидкой рабочей среды ниже минимально допустимого уровня;
- повышение уровня рабочей среды выше максимально допустимого уровня[64];

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						142
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

7.3 Анализ опасных производственных факторов

7.3.1 Электробезопасность

Современные производства оснащены множеством электрических приборов, автоматизированных оборудованием и другим, из-за чего возникает большой риск электрической опасности. Именно поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности и технику безопасности с электроприборами на производстве.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает разное действие: термическое, электролитическое и биологическое.

Термическое действие тока вызывает ожоги на теле, а так же сильный нагрев внутренних органов.

Электролитическое действие тока вызывает разложение органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушение их физико- химического состава.

Биологическое действие тока вызывает сокращение мышц, сердца, легких. [65]

Средства индивидуальной защиты от вредных химических веществ:

- Диэлектрические перчатки;
- Резиновые сапоги;
- Изолирующие штанги;
- Указатели напряжения;
- Диэлектрические коврики;
- Изолирующие клещи;
- Коллективные средства защиты от химических веществ:
- Защитное заземление;
- Зануление;
- Защитное отключение;
- Знаки безопасности и указатели напряжения;
- Изоляция токопроводящих частей;
- Электрическое разделение сетей;
- Экранизирующие устройства [65];

7.3.2 Пожаробезопасность

На любом производстве есть риск возникновения пожара. Для того чтобы избежать данной ситуации необходимо соблюдать меры предосторожности, а так же технику безопасности, по мимо этого производства должны быть оснащены средствами пожаротушения, а так же всем пунктам предусмотренных согласно «Правилам противопожарного режима в Российской Федерации» (с изменениями на 31 декабря 2020 года) от 16 сентября 2020 года N 1479.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						143
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Опасные факторы пожара на организм человека: ожоги тканей и органов (I-IV степень), отравление, удушье, летальный исход.

7.4 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность на предприятии предусматривает меры по ограничению токсичного влияния на окружающую среду при технологическом процессе, токсичного влияния на сотрудников, а так же рядом проживающих жителей.

Для обеспечения экологической безопасности, предприятие должно сформировать комплекс мер нацеленных на анализ предполагаемой опасности предприятия и поиск мер для эффективного устранения негативного воздействия предприятия на окружающую среду [66]

При эксплуатации вакуум- сублимационной сушилки загрязнение окружающей среды минимизировано, но тем не менее возможны некоторые выбросы в:

Атмосферу, например, отходящий газ, так как для охлаждения в основном используется аммиак, то некоторая доля его, попадает в атмосферу;

Гидросферу, отработанная вода после процесса сублимации, чаще всего ее используют повторно, например, для промывки оборудования, но жидкость для охлаждения может содержать вредные вещества, поэтому может навредить окружающей среде, при ее сливе, без очистки;

Литосферу, образование отходов при поломке оборудования;

Для избегания проблем в области экологического влияния предприятия, необходимо:

- ввести использование менее ресурсоемких технологий;
- произвести модернизацию производственного оборудования;
- организовать контроль соблюдения природоохранного законодательства;
- разработать мероприятия, направленные на минимизацию рисков возникновения ЧС.

Для снижения проблем в области экологического влияния на предприятиях предусмотрена очистка сточных вод от химических веществ и других веществ. Очищенная вода в основном используется в системах оборотного водоснабжения.

Благодаря вытяжным трубам, воздухоборникам, различным фильтрам предприятия защищают окружающую среду от производственной пыли, газов, испарений от вредных веществ.

В целях загрязнения почвы, предприятиям по возможности необходимо использовать материал, подходящий для дальнейшей утилизации или переработки.

При правильном соблюдении экологической безопасности, предприятие оказывает положительное влияние на здоровье персонала, на состояние окружающей среды [67].

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						144
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - Обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [68]

Основные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на предприятии:

- Пожары;
- Нарушение герметичности приборов;
- Взрывы приборов, работающих под давлением;
- Выброс паров аммиака;
- Замыкание электросистемы;
- Внезапное обрушение здания;

Меры по предупреждению чрезвычайной ситуации на производстве:

- Составление плана эвакуации;
- Правильное и доступное хранение средств защиты;
- Проверка средств оповещения об опасности;
- Оповещение работников предприятия действий при ЧС;
- Хранение и доступность противопожарных средств;
- Исправные системы оповещения при пожаре;

Меры по ликвидации чрезвычайной ситуации на производстве:

- Эвакуация персонала из зоны чрезвычайного происшествия;
- Локализация источника аварии;
- Устранения причины аварии;

Одна из распространенных чрезвычайных ситуаций — это пожар. При возникновении пожара должны сработать автоматические датчики, далее после оповещения звуковой системы сотрудники обязаны эвакуироваться в соответствии с планом эвакуации.

План эвакуации производства быстрорастворимых напитков представлен на рисунке 1.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						145
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 22 – план эвакуации

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						146
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Выводы раздела «Социальная ответственность»

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены:

- Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, исходя из которых известно, что организационное место должно быть комфортным и безопасным для работы, а так же быть обеспеченно высококачественным и исправным оборудованием;
- Проведен анализ опасных и вредных факторов, к которым относится электробезопасность, пожароопасность, повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации, работа с приборами, находящимися под давлением, отсутствие и недостаток естественного освещение, работа с вредными химическими веществами.
- Так же были определены и проанализированы факторы влияния предприятия на экологию, в ходе которых было выяснено, что при эксплуатации сублимационной сушилки, возможны незначительные выбросы в атмосферу и гидросферу;
- Варианты возникновения чрезвычайной ситуации и меры предотвращения их.

					ФЮРА.066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						147
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненной работы, можно сделать вывод, что сублимационная сушка в настоящее время используется предприятиями не слишком часто. Так как данный способ сушки достаточно дорогостоящий. Сублимационная сушка продуктов имеет одно главное преимущество, это то, что продукты после высушивания не теряют своих вкусовых и полезных свойств.

Основной задачей работы, было проектирование вакуум-сублимационной сушилки для производства быстрорастворимых напитков. Были рассчитаны конструкционные размеры самой сушилки, рассчитан диаметр равный 1000мм. Был выбран материал исполнения сушилки. Так как она напрямую взаимодействует с влагой, было принято взять нержавеющей сталь, которую можно использовать в пищевом производстве, то есть сталь марки Аisi 304 (или же 12Х18Н10Т). Рассчитаны внутренние полки, толщиной 20мм шириной 800 мм и длиной 1000мм, материал исполнения алюминий (так как необходим равномерный нагрев полки). В качестве нагревательного элемента выбраны ТЭНы стандартным диаметром 13мм. Так же были подобраны габариты, на которые располагается высушиваемый экстракт напитка, материал исполнения – нержавеющая сталь, размеры 40х650х530 мм.

Аппарат был рассчитан на прочность и устойчивость. Так же были рассмотрены все возможные возникающие опасные и вредные факторы во время сублимации быстрорастворимых напитков.

Сублимационные сушилки достаточно просты в использовании, но все же требуют внимательность при монтаже и эксплуатации. Еще одним их преимуществом является их конструкция, то что их можно исполнить как для большого объема загружаемого продукта, так и для маленького (например, лабораторные сублиматоры).

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					148	1
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сублимационная сушка пищевых продуктов/ Гуйго Э.И., Журавская Н.К., Каухчешвили Э.И. М: Издательство «Пищевая промышленность», 1996. – 358с.
2. Сублимационная сушка пищевых продуктов растительного происхождения./ Поповский В. Г., Бантыш Л. А., Ивасюк Н. Т., Гринберг Н. Х., Горшунова Г. Б., М: «Пищевая промышленность», 1975.- 338 с.
3. Кофе брейк [Электронный ресурс]: сублимированный кофе. URL: https://coffee-break.pro/blog/17_sublimirovannyj (дата обращения: 28.01.2021)
4. К-кофе [Электронный ресурс]: сублимированный кофе: достоинства и недостатки . URL: <https://k-kofe.ru/clauses/sublimirovannyy-kofe-dostoinstva-i-nedostatki/> (дата обращения: 28.01.2021)
5. Студопедия [Электронный ресурс]: Глава 5. Расчет сублимационной сушилки. URL: <https://studopedia.org/12-48612.html> (дата обращения: 30.01.2021)
6. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для вузов/ С.Т Антипов, В.Я. Груданов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфизов, О.А. Ураков, В.А. Шаршунов, Минск: БГАТУ, 2008 – 591 с.
7. Сублимационная сушка пищевых продуктов/ под. Ред. С. Котсона, Д.Б. Смита, М: «Пищевая промышленность», 1968.- 272 с.
8. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко: учебно – практическое пособие. Серия «Технологии пищевых производств»/ Семенов Г.В., Касьянов Г.И., Ростов н/Д: издательский центр «МарТ», 2002. – 112с.
9. Основы расчета вакуумно сублимационной аппаратуры/ К.П. Шумский, А.И. Мялкин, И.С. Максимовская. М: Издательство "Машиностроение", 1967. - 227с.
10. Р.Г. Гаргиян, Г.И. Касьянов, Н.А. Кудряшов, И.И. Татарченко. Известия Вузов. Пищевая технология//Пути совершенствования производства кофепродуктов. 2002. с 8- 16
11. Сублимационная сушка пищевых продуктов/ Гуйго Э.И., Журавская Н.К., Каухчешвили Э.И. М: Издательство «Пищевая промышленность», 1996. 358с.
12. Козонов Т.В. Технология и безопасность продуктов питания// Определение теплофизических свойств кофе. 2010 с 83 -85

					ФЮРА.066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			<i>Список литературы</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					149	6
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								

13. Thermalinfo [электронный ресурс]: Плотность льда и снега. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/materialy-raznye/plotnost-lda-i-snega-teploprovodnost-teploemkost-lda> (дата обращения: 08.04.2021)

14.Энциклопедия по машиностроению [электронный ресурс]: URL: <https://mash-xxl.info/page/218211086123173200048078140181017255005185070174/> (дата обращения: 08.04.2021)

15. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, 10-изд., М.: Альянс, 2013. –576с

16 Технаръ [электронный ресурс]: удельная теплота плавления. URL: <https://tehnar.net.ua/udelnaya-teplota-plavleniya/> (дата обращения 08.04.2021)

17 Gastrotech [Электронный ресурс]: гастроемкость. URL: https://gastrotech.com.ua/news/polezno_znat/gastroemkost_universalnaya_posuda_dlya_prigotovl_eniya_i_khraneniya_pishchi.html#:~:text/ (дата обращения: 15.04.2021)

18 Mecuchi [Электронный ресурс]: гастроемкости. URL: <https://www.mecuchi.ru/informacionnye-stati/razmery-i..> (дата обращения: 15.04.2021)

19 ГОСТ 21631-76 Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М: Стандартинформ, 2019. –35с

20 Машинфорум [Электронный ресурс]: трубчатые электронагреватели. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Felectro.mashinform.ru%2Fehlektronagrevateli-i-ehlektronagrevatelnye-ustrojstva%2Ftrubchatye-jelektronagrevateli-tjeny-obj4870.html&cc_key (дата обращения: 15.04.2021)

21 Нержавеющая сталь [Электронный ресурс]: марки стали. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Felectro.mashinform.ru%2Fehlektronagrevateli-i-ehlektronagrevatelnye-ustrojstva%2Ftrubchatye-jelektronagrevateli-tjeny-obj4870.html&cc_key (дата обращения: 15.04.2021)

22 Металнефтепроект [Электронный ресурс]: лист нержавеющей стали. URL: https://nsk.metallnp.ru/catalog/list_nerzhaveyushchiy/filter/alloy-is-aisi304/apply/ (дата обращения: 15.04.2021)

23 Тэко [Электронный ресурс]: химическая стойкость материалов. URL: <https://teko-com.ru/useful-info/all-info/himicheskaya-stoykost-materialov-datchikov.html> (дата обращения: 16.04.2021)

24 Металлургическая индустрия [Электронный ресурс] лист нержавеющей стали 12X18Н10Т URL: <https://nsk.cvetstal.ru/catalog/nerzhaveyushchiy-metalloprokat/listovoy-nerzhaveyushchiy-prokat/list-nerzhaveyushchiy/filter/12kh18n10t/> (дата обращения: 16.04.2021)

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						150
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

25 Восток [Электронный ресурс] лист нержавеющей Aisi 316 URL: <http://www.vostokmc.ru/catalog/list-stalnoj/list-nerzhaveyushhij-aisi-316.html> (дата обращения: 16.04.2021)

26 Европейская металлургическая компания [Электронный ресурс] сталь 08X18H10. URL: https://emk24.ru/wiki/stali-gost/stal-08kh18n10_8164870/ (дата обращения: 16.04.2021)

27 Металлургическая индустрия [Электронный ресурс] нержавеющей стали 08X18H10. URL: <https://nsk.cvetstal.ru/catalog/nerzhaveyushchiy-metalloprokat/listovoy-nerzhaveyushchiy-prokat/list-nerzhaveyushchiy/filter/08kh18n10/> (дата обращения: 16.04.2021)

28 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, 10-е изд., М.: Альянс, 2013. – 576 с

29 Лытков А.В. Теория сушки. М.: «Энергия», 1968. – 472 с

30. Маршинформгруп [Электронный ресурс] Трубчатые электронагреватели URL: <https://electro.mashinform.ru/ehlektronagrevateli-i-ehlektronagrevatelnye-ustrojstva/trubchatye-jelektronagrevateli-tjeny-dlja-jelektrobytovoj-tehniki-obj4886.html> (дата обращения 20.04.2021)

31 ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2018. – 35

32 ГОСТ 34233.2-2017 "Сосуды и аппараты". Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - М: Стандартинформ, 2018. - 58 с.

33 ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие. Мрки - М: Стандартинформ, 2015. - 54 с.

34 ГОСТ 6533-78*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. М.: Изд-востандартов, 1985. – 39 с.

35 ГОСТ 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварных встык. Конструкция и размеры. - М: 1992 - 19 с

36 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. - М.: Альянс, 2008. - 752 с.

37 ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. – М.: Стандартинформ, 2018. – 46 с

38 ГОСТ 34233.6 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. М.: Стандартинформ, 2018. – 23 с.

39 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В2-хкн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						151
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

40 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 обечайки днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. М.: Стандартинформ, 2018. – 45с

41 ОСТ 26-2091-93 Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция. 1993. - 38 с.

42 ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартинформ, 2018. - 36с

43 ОСТ 25-665-87. Опоры- стойки вертикальных аппаратов. Типы, конструкция и размеры.

44 Kemolo [электронный ресурс]: каталог Kemolo. URL: <https://www.liofilizador.com/upload/file/1614041660.pdf> (дата обращения 30.04.2021)

45 Biorus [электронный ресурс]: сублимационная сушилка. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fbio-rus.ru%2Foborudovanie%2Fliofilnyie-sushilki-&cc_key= (дата обращения 30.04.2021)

46 GEA [электронный ресурс]: экспериментальная сублимационная сушилка. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.gea.com%2Fru%2Fproducts%2Fdryers-particle-processing%2Ffreeze-dryers%2Fray-pilot-plant-freeze-dryer.jsp&cc_key= (дата обращения 30.04.2021)

47 Методические указания для выполнения финансовой части ВКР – специалитет [электронный ресурс]: Томск, 2021. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TTG1/Teacher_materials/ВКР/Tab/МУ%20для%20выполнения%20раздела%20ВКР-.pdf (дата обращения 01.05.2021). – Текст: электронный.

48 Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ (последняя редакция).

49 "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).

50 ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1976. – 4с.

51 ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности, - М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1991. – 11с.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						152
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

52 ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования, - М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 88с.

53 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, - М: Стандартинформ, 2015. – 16с.

54 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*, - М: Стандартинформ, 2016. – 121с.

55 ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация, М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 16с.

56 ТР ТС 032/2013 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением"

57 ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты, - М: Стандартинформ, 2017. – 16с.

58 ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования, - М: Стандартинформ, 1991. – 6с.

59 ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности, - М: ИПК Издательство стандартов, 2014 – 13с.

60 ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация, М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 14с.

61 ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования, - М: Стандартинформ, 2004. – 19с

62 ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация, М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 16с.

63 Перечень опасных веществ [электронный ресурс] / Перечень опасных веществ;URL:http://abdtп.ru/dtp3/info_catalog/dtp_cards/03Ammiak_izotermich.htm , свободный. Дата обращения10.03.2021 г.

64 Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов / Н.В. Крепша; Национальный исследовательский Томский политехнический университет - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 198 с.

65 Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: [б.и.], 2003. - 14 с.

66 Ленпром Экспертиза [электронный ресурс] /экологическая безопасность предприятия ;URL: <https://lenpromexpertiza.ru/ekologicheskaya-bezopasnost-predpriyatiya/> , свободный. Дата обращения10.03.2021 г.

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						153
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

67 Стандарт охраны труда и экологии [электронный ресурс] /экологическая безопасность предприятия; URL: <https://sot1.ru/article/131-ekologicheskaya-bezopasnost-predpriyatiya,свободный> , свободный, Дата обращения 10.03.2021г.

68 ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения, - М: Стандартинформ, 2016. – 8с

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						154
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ПРИЛОЖЕНИЯ

«Приложение А» - Технологическая схема (формат А0)

«Приложение Б» - Сублимационная сушилка. Общий вид. Чертеж (формат А0)

«Приложение В» - Сублимационная сушилка. Выносные элементы (формат А0)

					ФЮРА. 066562.001 ПЗ			
<i>изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Трушкина В.С.</i>			<i>Приложения</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>					155	1
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 3-4Г61		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>								