

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

---

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование пульсационных аппаратов для интенсификации процессов экстракции растительного сырья</b>

УДК 66.063.622:66.061

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Петровский Владислав Васильевич		

Руководитель ВКР

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГН ШБИП ТПУ	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

• **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
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
<b>Дополнительная универсальная компетенция университета</b>	
УК(У)-9	Способность проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
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

<b>Профессиональные компетенции</b>	
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 настраивать, 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
<b>Дополнительная компетенция университета</b>	
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

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

---

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7Б	Петровский Владислав Васильевич

Тема работы:

Проектирование пульсационных аппаратов для интенсификации процессов  
экстракции растительного сырья

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№29-64/с от 29.01.2021
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Роторно-пульсационный аппарат производительностью – <math>0,5 \div 8,0 \text{ м}^3/\text{ч}</math>; Исходное сырье – ягоды; Температура протекания процесса – до <math>80 \text{ }^\circ\text{C}</math>; Давление на выходе – до <math>1,5 \text{ МПа}</math></p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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 Объекты и методы исследования Технологический расчет Выбор конструкционных материалов Механический расчет Результаты проведенного исследования Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение Список использованных источников</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Технологическая схема 1 лист (А3) Роторно-пульсационный аппарат. Чертеж общего вида 1 лист (А1) Ротор. Чертеж общего вида 1 лист (А4)</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p><b>Спицына Л.Ю.</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p><b>Черемискина М.С.</b></p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p style="text-align: center;">26.02.2021</p>
--	---

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Владимир Михайлович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Петровский Владислав Васильевич		27.02.2021

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г7Б	Петровскому Владиславу Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Машины и аппараты химической технологии</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

<b>Проектирование пульсационных аппаратов для интенсификации процессов экстракции растительного сырья</b>					
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>					
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Объект исследования:</td> <td style="width: 50%;">пульсационные аппараты.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Область применения:</td> <td>фармацевтика, пищевая промышленность.</td> </tr> </table>	Объект исследования:	пульсационные аппараты.	Область применения:	фармацевтика, пищевая промышленность.
Объект исследования:	пульсационные аппараты.				
Область применения:	фармацевтика, пищевая промышленность.				
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>					
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018). ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем. ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком. ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 3. Механизмы управления. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи.</p>				

<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: Повышение или понижение температуры, влажности воздуха и рабочей зоны, загрязнение воздушной среды в зоне дыхания, повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума.  Опасные факторы: высокая или низкая температура материальных объектов производственной среды, химические токсичные и раздражающие вещества</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Атмосфера: выбросы газа.  Гидросфера: разлив химикатов.  Литосфера: загрязнение почв хим. веществами.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: Взрыв аппарата для высокого давления (вакуумный или закрытый аппарат), выброс химикатов из-за поломки аппарата или нескольких объектов, наводнение, лесные пожары, возгорание ГСМ,  Наиболее типичная ЧС: выброс химикатов из-за поломки аппарата.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Петровский Владислав Васильевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г7Б	Петровскому Владиславу Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ Н.М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>18.03.01 «Химическая технология»</b>

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 550 тыс. руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 320 тыс. руб.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 % согласно Федеральному закону «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» от 24.07.2009 №212-ФЗ (последняя редакция).

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
<i>2. Планирование и формирование бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
<i>3. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

**Перечень графического материала**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности ИР</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. Матрица SWOT</li> <li>5. Диаграмма Ганта</li> <li>6. Бюджет НИ</li> <li>7. Основные показатели эффективности НИ</li> </ol>	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г7Б	Петровский Владислав Васильевич		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и графического материала. Пояснительная записка содержит 83 страниц, 9 рисунков, 26 таблиц, 1 приложение, основано на 27 источниках литературы. Графическая часть состоит из 1 листа формата А1, 1 листа формата А3 и 1 листа формата А4.

Ключевые слова: экстракция, экстракты, роторно-пульсационный аппарат, пульсационный аппарат роторного типа, интенсификация, растительное сырье, ягодное сырье.

Объектом исследования является роторно-пульсационный аппарат.

Цель работы – спроектировать роторно-пульсационный аппарат для интенсификации экстракции ягодного сырья.

В процессе исследования проводились: анализ процессов интенсификации экстракции растительного сырья; методы подготовки ягодного сырья перед экстракцией; проектирование роторно-пульсационного аппарата для интенсификации процесса получения экстрактов ягод; оценка бюджета на разработку выпускной квалификационной работы; описание рабочего места студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов работы.

В результате исследования рассчитан роторно-пульсационный аппарат, который превращает ягодное сырье в гетерогенную измельченную смесь для последующей ее экстракции. Результаты проделанной работы могут быть использованы предприятием, таким как ООО «АРТЛАЙФ», которое занимается производством экстрактов из растительного сырья.

## Обозначения и сокращения

- ГАРТ – гидродинамические аппараты роторного типа;
- ИИ – ионизирующие излучения;
- КАП – кавитационные аппараты пульсационные;
- МАГ – механоакустические гомогенизаторы;
- НГД – насосы-гомогенизаторы;
- ПАРТ – пульсационный аппарат роторного типа;
- РАМП – роторные аппараты с модуляцией потока;
- РАФ – роторные аппараты физико-химические;
- РИА – роторный импульсный аппарат;
- РПА – роторно-пульсационный аппарат;
- РПАА – роторно-пульсационный акустический аппарат;
- РПГ – роторно-пульсационный гомогенизатор;
- СГД – сирены гидродинамические;
- ЭИВЧ – электрические импульсы высокой частоты;
- ЭПНД – электромагнитное поле низкочастотного диапазона.

## Содержание

\_Тос75432466

Введение .....	13
1 Обзор литературы .....	15
1.1 Повышение качества продукции с применением процессов экстракции растительного сырья .....	15
1.2 Подготовка исходного сырья перед процессом экстракции .....	17
1.3 Интенсификация при процессе экстракции ягодного сырья с применением роторного пульсационного аппарата .....	19
2 Объект и методы исследования .....	24
3 Технологический расчет .....	25
3.1 Материальный баланс .....	25
3.2 Исходные данные .....	25
3.3 Расчет ротора и статора .....	27
4 Выбор конструкционных материалов .....	34
5 Механический расчет .....	37
5.1 Конструктивно-механический расчет элементов РПА .....	37
5.1.1 Расчет цилиндрической обечайки .....	37
5.1.2 Расчет плоских круглых крышек с отверстиями .....	41
5.1.3 Расчет необходимости укрепления отверстий .....	43
5.1.4 Расчет наклонного штуцера на цилиндрической обечайке .....	44
5.1.5 Подбор фланцевого соединения .....	46
5.1.6 Расчет вала на виброустойчивость .....	53
6 Результаты проведенного исследования .....	56
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	57
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	57
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	57
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	58
7.1.3 SWOT – анализ .....	60
7.1.4 Морфологический анализ .....	62
7.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	63
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	63
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	64

7.3	Бюджет научно-технического исследования .....	67
7.3.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	68
7.3.2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ ..	68
7.3.3	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	70
7.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	72
7.3.5	Накладные расходы .....	73
7.3.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	73
7.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	74
	Список используемых источников .....	78
	Приложение А.....	82

## Введение

В настоящее время народное хозяйство преимущественно развивается за счет внедрения всесторонней интенсификации производства, которая повышает качество получаемой продукции и степень использования сырья. Большое применение в промышленности получили многостадийные технологии с применением большого количества разнообразного технологического оборудования, которое характеризуется низкой производительностью, нерациональным использованием времени, энергии и ручного труда.

Цикла производственной оптимизации и некоторых средств интенсификации, при различных технологических операциях в гетерогенных смесях, непосредственное предпочтение отдается многофункциональным и универсальным оборудованьям.

Для повышения эффективности гетерогенных процессов в химико-фармацевтической, а также в пищевой промышленности особое место уделяется роторно-пульсационным аппаратам (РПА), которые позволяют повысить качество выходного продукта за счет неподвижно вращающихся неподвижных деталей. Благодаря им, обрабатываемое сырье подвергается скоростному перемешиванию гетерогенной смеси, деформации и диспергированию дисперсных твердых частиц, а также гидромеханическими и кавитационными воздействиями.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование пульсационного аппарата для интенсификации экстракции растительного сырья.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ основных методов подготовки растительного сырья;
- исследование процесса интенсификации экстракции с помощью

РПА;

- разработка РПА;
- составление бюджета на разработку выпускной квалификационной работы;
- описание рабочего места студента на предмет наличия вредных и опасных факторов работы.

## **1 Обзор литературы**

В мире, с прогрессивным увеличением как экономического, так и социального развития большим вопросом является обеспечение качественных и полезных для человека пищевых продуктов питания в разные времена года.

Исходя из данного вопроса, основной задачей, связанной с пищевой отраслью, служит внедрение в производство универсальных технологических операции, которые бы поспособствовали уменьшению затрат на использование оборудования и снижению потребления исходного сырья при одинаковом выходе продукции. При этом продукция не должна уступать старым технологиям ее получения, оставаясь востребованной, физиологически полноценной и сбалансированной.

### **1.1 Повышение качества продукции с применением процессов экстракции растительного сырья**

Объединение производства различных типов продукции по схожим принципам получения повышает экономическую эффективность и позволяет использовать комплексные технологии подготовки и переработки растительного сырья, что показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Инновационные технологии в пищевых отраслях [1]

Для детского питания, различных соусов, соков, пряностей и т. п. в пищевой индустрии относительно давно был разработан самый популярный вид направления по повышению ценности пищи – получение экстрактов, причем особую роль для напитков играют экстракты ягодного сырья.

Основной проблемой при получении экстрактов из различных ягод является их хранение и транспортировка, так как незрелые ягоды не имеют высокую питательную ценность, а перезревшие и вовсе портят качество пищевого продукта. Также, большие затраты при транспортировке ягод связаны в обеспечении их безопасности при длительных перевозках, так как они могут помяться, что может ускорить их порчу. Поэтому каждое производственное предприятие старается минимизировать расходы, связанные с использованием ягодного сырья и оптимизировать жизненный цикл получаемой продукции, который схематично представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема жизненного цикла продукции [2]



## 1.2 Подготовка исходного сырья перед процессом экстракции

Важно перерабатывать получаемое сырье вблизи, или непосредственно на месте сбора в более компактные и менее скоропортящиеся формы. Это снижает расходы при транспортировке и хранении, позволяет увеличивать виды выпускаемой пищевой продукции при использовании импортного и скоропортящегося сырья. Именно благодаря такому подходу к исходному сырью, мы можем пить «100%» ягодные соки на основе их экстрактов в разные времена года, и, некоторые из которых показаны на рисунке 3.



Рисунок 3 – Экстракты черной смородины, малины и ягод Годжи

Другой проблемой, связанной с получением качественного сока, например малины или черной смородины, является их предварительная обработка, под которой мы подразумеваем некое контактное воздействие.

Общепринято как минимум 3 основных вида обработки ягодного сырья, а именно [3]:

– ИИ, под действием которых повышается проницаемость на клеточном уровне, что позволяет увеличить выход сока на 7 – 8 % . Это

связно с тем, что под действием облучения на пектиновые тела ягод разрушается их клеточная структура. Однако, недостатками ИИ могут быть: ухудшение качества сока и существенные энергетические затраты;

- ЭИВЧ, вызванные электродами. Данный метод обработки увеличивает выход сока на 8 – 10 %. Недостатки такого способа: небезопасность при ее использовании и энергопотребление (около 55 – 60 Вт);

- ЭПНД, который закрывает недостатки предыдущих способов подготовки ягодного сырья, и подробно раскрыт ниже.

В течении часа на исходное сырье воздействует электромагнитное поле с напряжением в 1500 А/м в интервале меньше 30 Гц . Это способствует повышению качества получаемых соков, их цвета и вкуса, т.к. увеличивается содержание фенольных и красящих веществ по сравнению регламентированными данными на 18 % и 27 % соответственно. Сам выход продукта по тем же данным получается на 12 % больше [3].

Этот способ схож с ИИ тем, что в нем также происходит разрушение клеточной структуры ягод: их проницаемость меняется, увеличивается скорость протекания диффузии, как для мякоти, так и для кожицы. Такой способ помогает без лишних усилий повысить качество получаемого экстракта.

Основными процессами, связанными с выделением требуемого экстракта из вещества, обычно оказываются дистилляция, выпаривание и кристаллизация.

Низкая рабочая температура протекания процесса экстракции, возможность разделить гетерогенную смесь по ее составу, простота конструкции, монтаж, использование в различных производственных отраслях, будь то пищевая, фармацевтическая или даже нефтяная промышленность – есть главные достоинства процессов экстракции.

### **1.3 Интенсификация при процессе экстракции ягодного сырья с применением роторного пульсационного аппарата**

Процессы, связанные с усовершенствованием эффективности химико-технологических операций играют огромную роль для химии и техники в целом.

Критериями, по которым можно сказать, что данная разрабатываемая продукция является качественной, и ее производительность выдает хорошие показатели при энергетических и ресурсных затратах, можно с уверенностью назвать использование высокотехнологических аппаратов с малой материалоемкостью и большим коэффициентом воздействия.

Именно поэтому в текущее время перспективным направлением в развитии науки и техники является проектирование аппаратов с многофакторным влиянием на рабочую среду. Один из таких называется пульсационный, или импульсационный аппарат, которые работают по принципу не стационарности потока вводимой гетерогенной смеси в пульсационную среду.

Перспективный и востребованный на сегодняшний день пульсационный аппарат – ПАРТ, в котором есть неподвижный статор и вращающийся ротор с отводными каналами. При вращении ротора каналы, которые проходят в нем, в некий момент становятся в такое же положение что и в статоре. В результате этого, смесь, состоящая из жидкой и твердой фаз, подвергается импульсными скачками давления и разряжения, вследствие чего появляется кавитация – получение пузырьков в жидкой смеси. Под действием кавитации возникает ударная волна, которая как бы «выплевывает» обработанную смесь с большой скоростью, развивая турбулентность потока.

Под реализации гидродинамических и механических влияний на частицы гетерогенной смеси выделяют следующие роторные аппараты: РПА, ГАРТ, РПГ, НГД, МАГ, КАП и др [4].

К пульсационным аппаратам, которые воздействуют на ту же смесь гидроакустическими и гидродинамическими факторами относятся: РИА, РАМП, СГД, РАФ, РПАА и др [4].

В большей части люди воспринимают РПА и РИА, как одно и то же. По сути, так оно и есть, только РПА используют в гетерогенных процессах «твердое тело – жидкость», а РИА в маловязких жидкостях. Причем РИА можно заменить и РПА, только понизится качество разрушения дисперсных частиц. Это потому, что зазор между ротор и статоров в РИА имеет от 0,05 мм до 0,1 мм, когда как у РПА – 0,1 ÷ 1,0 мм [4].

Обработка гетерогенной смеси в РПА, который представлен на рисунке 4, осуществляется: многофакторным импульсационном воздействием, маленьких пульсаций давления по всей площади протекания процесса и возникновении пузырьков газа, турбулизирующие выходящий поток.



Рисунок 4 – Роторно-пульсационный аппарат (РПА) [5]

Скорость потока и критерии изменения площади сечения проходящей жидкости в каналах статора определяют амплитуду пульсирующего давления.

РПА осуществляет преобразование энергии низкой концентрации в энергию высокой локальной концентрации в неустойчивых точках структуры вещества [4]. Этой энергии хватает, чтобы создать огромный импульсный

«БУМ», который высвободит внутреннюю энергию вещества и вызовет цепную реакцию в произвольном энергонасыщенном процессе.

Факторы воздействия РПА:

- механическое – частицы гетерогенной среды испытывают ударные, разрывные и стирающие нагрузки при контакте с деталями РПА;
- гидродинамическое – многочисленные сдвиги напряжений в смеси, возникновении большой турбулентности, пульсации, давления и скорости потока;
- гидроакустическое – мелкомасштабные пульсации давления, усиленной кавитацией и акустических эффектов.

Промышленные предприятия используют технологические линии с РПА, чтобы получать экстракты, эмульсии и суспензии из растительного или молочного сырья. Продуктами таких предприятий являются: кремы, мази, биологически-активные растворы для омолаживания, фруктово-овощные соки, фруктовая выпечка, йогурты и т.д.

Помимо РПА в технологическую схему входят такие аппараты, как: нагревательное оборудование, осушительная камера, кристаллизатор, емкостное оборудование для предварительного перемешивания и хранения компонентов и т.д. Одна из таких схем представлена на рисунке 5.

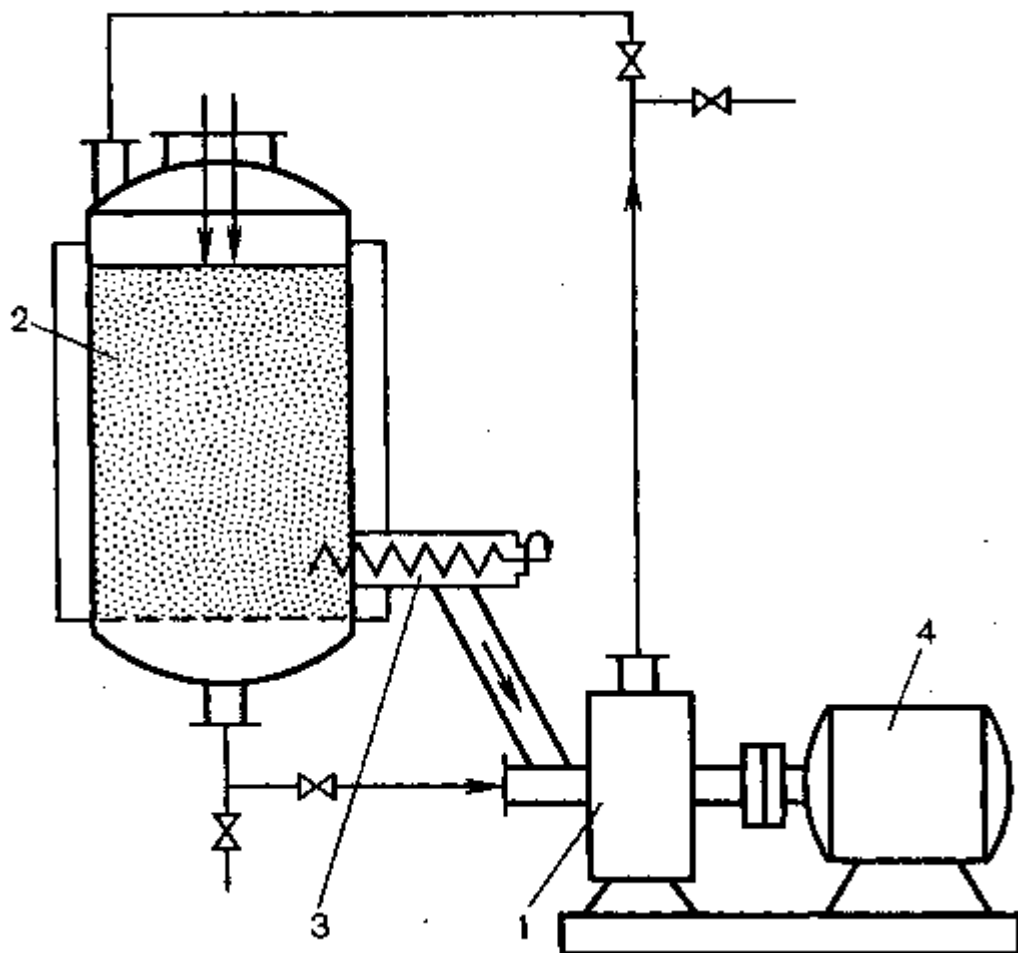


Рисунок 5 – Устройство установки с РПА [6]

1 – РПА; 2 – экстрактор; 3 – питатель шнековый для подачи сырья; 4 – электродвигатель

В данной технологической схеме РПА находится вместе с экстрактором с мешалкой. Сама схема принимает замкнутый контур. Первоначально сырье заливают в экстрактор 2 вместе с экстрагентом. После включается электродвигатель 4, который с помощью вала вращает ротор в РПА 1. При вращении ротора жидкая фаза подается через нижнюю часть экстрактора, а сырье – дозирующим шнеком-питателем 3, расположенным на торце над его днищем. После того, как исходное сырье вместе с экстрагентом побывали в РПА 1, они переходят по трубопроводу вверх, к штуцеру, находящийся на крышке экстрактора 1, который опять наполняется. Такой

процесс повторяется по достижению максимального концентрированного экстракта и рафината.

Преимуществом процесса экстракции заключается в том, что получаемые экстракты сохраняют природу своего прошлого физиологического тела. Они долго портятся, содержат в себе концентрированную долю исходного вещества, что позволяет использовать меньше пространства для их хранения.

Исходя из этого, спрос на экстракты весьма высок. Экстракты используют при производстве продуктов, обогащенных разными вкусами. Получение экстрактов из ягод всегда сопровождается массообменными и тепловыми процессами, непосредственно влияющие на их состав и свойства.

В следующем разделе представлена расчетная часть, посвященная проектированию роторно-пульсационного аппарата для интенсификации процессов экстракции растительного сырья.

## 2 Объект и методы исследования

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является РПА – роторно-пульсационный аппарат, предназначенный для интенсификации процесса экстракции растительного сырья. В качестве исходного сырья выступали ягоды клюквы, где плотность и вязкость выражалась ее 10% содержанием мякоти. Подготовленная заранее клюква должна была входить в РПА, и под действием трения ротора с высокой частотой вращения стираться. Так как в роторе были установлены сквозные отверстия, то через очень маленький промежуток времени гетерогенная смесь пронизывалась через эти отверстия, и уже стиралась от стенок неподвижного статора, у которого в свою очередь тоже были отверстия. Так что еще через некоторый промежуток времени смесь «выплывалась» из отверстий в статоре, и после выходила из РПА в экстрактор.

В качестве методов исследования были использованы множества литературных и учебных материалов, которые указаны в разделе «Список использованных источников». Также были просмотрены некоторые обучающие видео по проектированию РПА.

После получения необходимых знаний, был успешно спроектирован РПА, который показал хорошие физико-механические характеристики.



### 3 Технологический расчет

#### 3.1 Материальный баланс

При постоянной подачи исходного сырья в РПА количество вводимого сырья будет равно сумме количеству выводимого размельченного гетерогенного сырья и остатку на дне РПА.

$$Q_{\text{вх}} = Q_{\text{вых}} + Q_{\text{ост}}, \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{вх}}$  – количество вводимого сырья, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{вых}}$  – количество выводимого сырья, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{ост}}$  – остаток сырья на дне РПА, м<sup>3</sup>/ч.

В качестве метода удаления остатка из РПА была предусмотрена труба, которая соединяется вместе с трубой для подачи исходного сырья и перекрывается краном. По этой трубе подается вода с температурой 22 °С, которая протекает по включённому РПА, забирая остатки частиц ягод клюквы, выводит по тому же трубопроводному каналу, куда направляется и основной продукт.

Это выгодно с экономической точки зрения, так как после обработки внутри РПА, гетерогенная масса попадает в экстрактор, где при экстракции ягоды клюквы как экстрагент используется вода той же температуре, которая указана выше.

#### 3.2 Исходные данные

Методика расчёта основана на комплексе теоретических и экспериментальных исследований гидромеханических, акустических и кавитационных особенностей режимов работы роторного аппарата. Обычно для проектирования технологического оборудования задают следующие параметры:

- Объемную производительность  $Q = 8 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0022 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- Плотность обрабатываемой среды  $\rho = 1,0253 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

- Максимальный размер частиц, равный  $d_{\max} = 0,01$  м, принимается в случае процесса растворения – гранулометрический.
- После определения частоты вращения ротора, определяется электродвигатель. Сама частота варьируется рядом: 50, 100, 150, 300  $\text{с}^{-1}$ . Изначально принимают величину частоты равной 50  $\text{с}^{-1}$ ;
- Величину зазора  $\delta$  между ротором и статором берут  $\delta \approx 10^{-4}$  м для обрабатываемых сред, имеющих вязкость одного порядка с водой, и увеличивают до  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  м для жидкостей с большей вязкостью;
- Форму поперечного сечения каналов принимаем прямоугольной;
- Принимаем высоту каналов ротора и статора одинаковой  $H_p = H_c = H$ ;
- Ширина стенки статора связана с его толщиной и описывается уравнением:

$$h_c = \psi \cdot l_c, \quad (3.2)$$

где  $\psi$  – эмпирический коэффициент;

$h_c$  – ширина стенки статора, м;

$l_c$  – толщина стенки статора, м.

Для удобства инженерного расчета роторного аппарата в пределах изменения реальных размеров аппарата:  $R_2 = 0,05 \div 0,15$  м,  $h_c = 0,025 \div 0,1$  м, получены геометрическим построением значения коэффициента  $\psi$  для различных углов нерадиальных каналов статора, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость угла наклона канала статора  $\alpha^*$  и эмпирического коэффициента  $\psi$

$\alpha^*, \text{°}$	60	50	40	30	<30
$\psi$	0,7	0,8	0,86	0,9	1,0

Принимаем  $\alpha^* = 60^\circ$ ,  $\psi = 0,7$ ,  $h_c = 0,05$  м, тогда:

$$l_c = 0,05 \cdot 0,7 = 0,071 \text{ м};$$

1. Для простоты построения каналов принимается толщина стенки ротора, которая определяется возможностью фрезерования при сборке ротора. Причем для радиальных каналов  $l_p = h_p$ , для нерадиальных каналов  $l_p = h_p / \cos \alpha^*$ .

$$h_p = l_p \cos \alpha^*, \quad (3.3)$$

где  $h_p$  – ширина стенки ротора, м;

$l_p$  – толщина стенки ротора, м.

$$h_p = 0,061 \cdot \cos 60 = 0,0305 \text{ м.}$$

Таким образом можно увеличивать длину канала в роторе при постоянной его толщине.

### 3.3 Расчет ротора и статора

Расчет ротора и статора производится следующим образом [7]:

1. Каналы в статоре и роторе в начале расчета принимаются радиальными;

2. Определяем насос, имеющий производительность равную или близкую к заданной: Насос модели K8/18 + АИР80А2 (1,5/3000) со следующими характеристиками:

а) мощность  $N = 1,5$  кВт;

б) производительность  $Q = 8,0$  м<sup>3</sup>/ч;

в) напор  $H = 18$  м.

3. Определяем давление, создаваемое насосами:

$$P_{\text{нас}} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.4)$$

где  $P_{\text{нас}}$  – давление насоса, МПа;

$\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$$P_{\text{нас}} = 0,0022 \cdot 18 \cdot 1,0253 \cdot 9,8 = 0,398 \text{ МПа;}$$

4. Угол  $\alpha^*$ , который берется на этапе построения каналов статора, выбирается из диапазона:  $0^\circ \div 60^\circ$ :  $\alpha^* = 60^\circ$ ;

5. Свободный газа, который изначально должен быть в гетерогенной среде, определяется по экспериментальным данным. Если таковых не имеется, то задается по справочным значениям. Для кюквы это значение:  $\alpha_0 = 0,02$ ;

6. Ширина каналов в роторе и статоре принимается одинаковой:  $a_p = a_c = a$ . Для РПА в режиме растворения ширина:  $a \geq d_{\max}$ ):

$$a_p = a_c = a = 0,01 \text{ м.}$$

7. Определяем соотношение между длиной каналов в статоре и шириной камеры и радиусом ротора (для каналов, выполненных под углом):

$$R_2 = l_c(1 + \psi), \quad (3.5)$$

$$R_2 = 0,071(1 + 0,7) = 0,121 \text{ м,}$$

где  $R_2$  – радиус ротора наружный, м.

8. В некоторые моменты времени может образоваться стоячая волна в каналах статора и камеры. Для ее предотвращения принимается:

$$l_k = l_c,$$

где  $l_k$  – толщина камеры;

9. Определяем относительный радиальный зазор:

$$\delta_a = \frac{\delta}{a}, \quad (3.6)$$

где  $\delta_a$  – относительный радиальный зазор.

$$\delta_a = \frac{10^{-4}}{0,01} = 0,01;$$

10. Критерий Стайсла определяется исходя из зависимости (эмпирической), которая показывается условия кавитации наилучшим:

$$K_{c_{\max}} = \omega^{-0,17}(1,24 - 9,23\delta_a)^3, \quad (3.7)$$

где  $K_{c_{\max}}$  – критерий Стайсла для развития кавитации.

$$K_{c_{\max}} = 50^{-0,17}(1,24 - 9,23 \cdot 0,01)^3 = 0,777;$$

11. Определяем критерий Струхалия для режима наиболее интенсивной акустической кавитации по выражению:

$$Sh = 5,9 \cdot 10^{-84,6\delta_a} K_{c_{\max}}^{-7,89}, \quad (3.8)$$

где  $Sh$  – критерий Струхалия.

$$Sh = 5,9 \cdot 10^{-84,6 \cdot 0,01} \cdot 0,777^{-7,89} = 6,158;$$

12. Определяем величину критерия Стайлса, характеризующую границу кавитационной работы аппарата:

$$K_{c_{кр}} = (0,06 \delta_a^{-1,1} Sh + 2,6)^{-1}, \quad (3.9)$$

где  $K_{c_{кр}}$  – критерий Стайлса для границы кавитационной работы.

$$K_{c_{кр}} = (0,06 \cdot 0,01^{-1,1} \cdot 6,158 + 2,6)^{-1} = 0,016,$$

и сравниваем с условием  $K_{c_{max}} > K_{c_{кр}}$ :  $0,777 > 0,016$  – условие выполняется;

14. Определяем перепад давления между полостью ротора и камерой по известному  $P_{нас}$ . Считаем, что за счёт гидравлических потерь на участке между выходом насоса и полостью ротора потери напора составляют до 10 %, тогда:

$$P_p = (0,9 \div 0,95) P_{нас}, \quad (3.10)$$

где  $P_p$  – давление, создаваемое насосом с учетом гидравлических потерь, МПа.

$$\Delta P = P_p K_{c_{max}} (1 + K_{c_{max}})^{-1}, \quad (3.11)$$

где  $\Delta P$  – перепада давления полостью ротора и камерой, МПа;

$$P_p = 0,9 \cdot 0,398 \div 0,95 \cdot 0,398 = 0,358 \div 0,378,$$

принимаем  $P_p = 0,37$  МПа,

$$\Delta P = 0,37 \cdot 0,777 (1 + 0,777)^{-1} = 0,162 \text{ МПа};$$

15. Определяем скорость звука в газожидкостной среде:

$$c = 1500 / \sqrt{1 + 1,6 \cdot 10^4 \alpha_0}, \quad (3.12)$$

$$c = \frac{1500}{\sqrt{1 + 1,6 \cdot 10^4 \cdot 0,02}} = 83,72 \text{ м/с}$$

16. Определяем длину канала в роторе из условия возникновения в нём гидравлического удара:

$$l_p \leq ac / 2\omega R_2, \quad (3.13)$$

$$\frac{ac}{2\omega R_2} = \frac{0,01 \cdot 83,72}{2 \cdot 50 \cdot 0,121} = 0,069 \text{ м, принимаем } l_p = 0,061 \text{ м};$$

17. Внутренний радиус ротора:

$$R_1 = R_2 - l_p, \quad (3.14)$$

$$R_1 = 0,121 - 0,061 = 0,060 \text{ м};$$

18. В каждом канале статора каналами ротора генерируются колебания с частотой, определяемой выражением:

$$f_c = \frac{nz}{60} = \frac{\omega z}{2\pi}, \quad (3.15)$$

где  $f_c$  – генерируемая частота колебаний на каналах статора, Гц;

$z$  – число каналов в роторе и статоре.

Однако, с другой стороны, резонансная частота канала:

$$f_{\text{рез}} = ck/4l_c, \quad (3.16)$$

где  $f_{\text{рез}}$  – резонансная частота канала, Гц

$k$  – коэффициент резонанса.

При равенстве частот получаем:

$$z = \frac{\pi ck}{2\omega l_c}, k = 1, \quad (3.17)$$

$$z = \frac{83,72 \cdot \pi}{2 \cdot 50 \cdot 0,071} = 16;$$

19. Определяем условие возникновения стоячих волн в канале статора в установившемся резонансном режиме:

$$\frac{\tau'}{\tau''} = 2,6,10, \dots, 4k + 2, k = 0,1,2, \dots \quad (3.18)$$

где  $\tau'$  – время, когда каналы статора закрыты, с;

$\tau''$  – время пробега импульса по длине канала статора в один конец, с.

Время, когда каналы статора закрыты  $\tau'$ , определяется выражением:

$$\tau' = \frac{a+b_p}{\omega R_2}. \quad (3.19)$$

где  $b_p$  – расстояние между каналами ротора, м.

Определяем расстояние между каналами ротора:

$$b_p = (2\pi R_2 - za)z^{-1}, \quad (3.20)$$

$$b_p = (2 \cdot 0,121\pi - 37 \cdot 0,01)37^{-1} = 0,010 \text{ м};$$

$$\tau' = \frac{0,01+0,01}{50 \cdot 0,121} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Время пробега импульса по длине канала статора в один конец равно:

$$\tau'' = \frac{l_p}{c}, \quad (3.21)$$

$$\tau'' = \frac{0,061}{83,72} = 6,21 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

$$\frac{\tau'}{\tau''} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{6,21 \cdot 10^{-4}} = 5,95 \approx 6.$$

Проверка:  $4k + 2 = 6$ ,  $k = 1$  – условия выполняются;

20. Находим величину коэффициента гидравлического сопротивления модулятора по зависимости:

$$\xi = 12,8 K_{c_{max}} (3,9 - 96 \delta_a)^{-2,82}, \quad (3.22)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления модулятора.

$$\xi = 12,8 \cdot 0,777 (3,9 - 96 \cdot 0,01)^{-2,82} = 0,47;$$

21. Определяем среднюю площадь проходного сечения модулятора  $\langle S \rangle$  для каналов прямоугольной формы:

$$\langle S \rangle = Q \sqrt{\xi \rho} / \sqrt{2 \Delta P}, \quad (3.23)$$

где  $\langle S \rangle$  – средняя площадь для каналов прямоугольной формы,  $\text{м}^2$ .

$$\langle S \rangle = \frac{0,0022 \sqrt{0,47 \cdot 1,0253}}{\sqrt{2 \cdot 0,162 \cdot 10^6}} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

22. Находим высоту каналов, учитывая, что  $b_p = b_c$ :

$$H = \langle S \rangle (a + b_c) / a^2 z, \quad (3.24)$$

где  $H$  – высота каналов, м.

$$H = 2,7 \cdot \frac{10^{-6} (0,01 + 0,01)}{0,01^2} \cdot 37 = 0,020 \text{ м};$$

23. Определяем внутренний и наружный радиусы статора:

$$R_{c1} = R_2 + \delta, \quad (3.25)$$

$$R_{c2} = R_{c1} + l_c, \quad (3.26)$$

где  $R_{c1}$  – внутренний радиус статора, м;

$R_{c2}$  – наружный радиус статора, м.

$$R_{c1} = 0,121 + 10^{-4} = 0,1211 \text{ м},$$

$$R_{c2} = 0,1211 + 0,05 = 0,1711 \text{ м},$$

24. Определяем радиус камеры  $R_k$ :

$$R_k = R_{c2} + l_k, \quad (3.27)$$

где  $R_k$  – радиус камеры, м.

$$R_k = 0,1711 + 0,05 = 0,2211 \text{ м};$$

25. Определяем критерий акустической кавитации:

$$\chi_{a_{max}} = 0,205 - 0,0075 \log \alpha_0 + 0,0005 (\log \alpha_0)^2, \quad (3.28)$$

где  $\chi_{a_{max}}$  – критерий акустической кавитации.

$$\chi_{a_{max}} = 0,205 - 0,0075 \log 0,02 + 0,0005 (\log 0,02)^2 = 0,219;$$

26. Определяем величину наибольшего импульса отрицательного давления:

$$|P_m| = \frac{P_p}{\chi_{a_{max}}(1+K_{c_{max}})}, \quad (3.29)$$

где  $|P_m|$  – наибольший импульс отрицательного давления, МПа.

$$|P_m| = \frac{0,37}{0,219(1+0,777)} = 0,95 \text{ МПа};$$

27. В случае проведения процесса растворения определяем количество циклов, необходимое для достижения концентрации насыщения:

$$n_{ц} = 2K_{c_{max}} \cdot 10^{26,3\delta_a}, \quad (3.30)$$

где  $n_{ц}$  – число циклов для достижения концентрации насыщения, об.

$$n_{ц} = 2 \cdot 0,777 \cdot 10^{26,3 \cdot 0,01} = 2,85 \approx 3 \text{ об};$$

28. Находим требуемую мощность аппарата:

$$N = 21,9 \cdot 10^3 \left(\frac{10^{-4}}{R_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{az}{R_2}\right)^{0,7} \rho h_p \omega^3 R_2^4, \quad (3.31)$$

где  $N$  – требуемая мощность аппарата, Вт.

$$N = 21,9 \cdot 10^3 \left(\frac{10^{-4}}{0,121}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{0,01 \cdot 37}{0,121}\right)^{0,7} 1,0253 \cdot 0,061 \cdot 50^3 \cdot 0,121^4 \\ \approx 22 \cdot 10^3 \text{ Вт или } 22 \text{ кВт}.$$

Минимальная мощность насоса К 8/18 + АИР80А2 (1,5/3000), заявленная разработчиками, составляет 1,5 кВт, а максимальная 35,1 кВт. Следовательно, выбранный насос соблюдает требуемую мощность в проектировании РПА.



Рассчитанные значения для проектирования статора и ротора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты технологической части

<b>Наименование</b>	<b>Значение</b>
Ширина каналов в роторе и статоре $a$ , м	0,0100
Угол каналов в роторе и статоре $\alpha^*$ , °	60
Толщина каналов в роторе $l_p$ , м	0,0610
Толщина каналов в статоре $l_c$ , м	0,0710
Толщина камеры $l_k$ , м	0,0500
Толщина стенки ротора $h_p$ , м	0,0310
Толщина стенки статора $h_c$ , м	0,0500
Высота каналов ротора и статора $H$ , м	0,0200
Радиус ротора внутренний $R_1$ , м	0,0600
Радиус ротора наружный $R_2$ , м	0,1210
Радиус статора внутренний $R_{c1}$ , м	0,1211
Радиус статора наружный $R_{c2}$ , м	0,1711
Радиус камеры $R_k$ , м	0,2211

#### 4 Выбор конструкционных материалов

Исходя из условий эксплуатации проектируемого оборудования, роторно-пульсационный аппарат должен иметь должные характеристики конструкционных материалов.

Подбираемый материал в первую очередь должен быть коррозионностойким, и выдерживать высокие пульсационные давления, возникающие в процессе работы установки. Во вторых, он обязан иметь хорошую свариваемость, обладать сопротивлением к износу. В третьих, стоимость такого материала исходит из экономических и качественных соображений, и быть недефицитным.

В ходе анализа коррозионной устойчивости и высоких перепадов давлений, были рассмотрены следующие виды: 08X18H10, 08X18H10T, 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T. Их сравнение приведено в таблице 3.

Таблица 3 – характеристика материалов

Марка стали	08X18H10	08X18H10T	12X18H10T	10X17H13M2T	10X17H13M3T
Характеристика					
Класс стали	Коррозионно стойкая жаропрочная	Коррозионно стойкая жаропрочная	Конструкционная криогенная	Коррозионно стойкая обыкновенная	Коррозионно стойкая жаропрочная
Средняя рыночная стоимость (руб./кг)	210	325	294	634	678
Свариваемость	Без ограничений	Без ограничений	Без ограничений, рекомендуется термообработка швов	Без ограничений	Без ограничений

Продолжение таблицы 3					
Коррозионная стойкость, мм/год	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
Предел прочности (лист толстый), $\sigma_b$ , МПа	470	509	530	530	509
Условный предел текучести при 20 °С, $\sigma_{0,2}$ , МПа	206	206	236	-	206
Предел текучести, $\sigma_T$ , МПа	205	205	235	235	205
Пластичность, %	40	43	38	37	43
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	7850	7900	7920	7950	7850
Особые свойства стали	Стойкость к межкристаллитной коррозии, легкая обработка холодной деформацией.	Немагнитность, гладкая поверхность (легко поддается шлифовке с сохранением антикоррозионных свойств).	Немагнитность, высокие механические свойства, широкий диапазон рабочих температур.	Стойкость к питтинговой коррозии, но снижается стойкость к межкристаллитной коррозии в окислительных средах, биологически инертна.	Высокая стойкость к агрессивным средам (в т.ч. к кипящей фосфорной кислоте), биологически инертна.

**Примечание:**

Свариваемость без ограничений – сварка подогрева и безпоследующей термообработки.

Для коррозионностойких элементов конструкции РПА была подобрана сталь 12X18H10T ввиду ее низкой стоимости и дефицитности по сравнению со сталями 10X17H13M2T и 10X17H13M3T, имеющие почти такие же качества (жаропрочностью можно пренебречь, т.к. аппарат работает в диапазоне температур от -20 °С до +80 °С). 08X18H10 и 08X18H10T уступают

в пределах прочности и текучести, что очень важно для выбора материала, подвергающимся сильным пульсационным давлениям.

Для деталей, несоприкасающихся с агрессивной средой, была подобрана недорогая сталь 16ГС, которая часто применяется при производстве корпусов, фланцев и других деталей, работающих при температуре -40 °С до +475 °С под давлением.

На основании температурного диапазона технологического режима, агрессивности среды и других показателей надежности было сформулировано итоговое исполнение роторно-пульсационного аппарата по материалам, которое представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Исполнение РПА по материалам.

<b>Ротор, статор, цилиндрическая обечайка, крышка, вал, фланец</b>	<b>Крышка подшипника</b>	<b>Болты, винты, шайбы, гайки</b>	<b>Прокладки (во фланце)</b>	<b>Уплотнение вала</b>
12X18H10T	16ГС	20	<i>Прокладка А-50-9,5 ПОН – ГОСТ 15180-86</i>	Сальниковое

## 5 Механический расчет

### 5.1 Конструктивно-механический расчет элементов РПА

#### 5.1.1 Расчет цилиндрической обечайки

Для конструктивно-механического расчета цилиндрической части используем данные, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные

Наименование	Значение
Высота цилиндрической части L, м	1
Внутренний диаметр D, мм	$2 \cdot R_k = 2 \cdot 0,2211 \cdot 10^3 = 442,2$
Рабочее давление, МПа	0,95
Температура среды $t_c$ , °C	20
Плотность среды $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,0253
Материал всех деталей	12X18H10T - листовой прокат (коррозионная сталь аустенитного класса)
Скорость коррозии П, мм/год	0,07
Срок эксплуатации $\tau_3$ , лет	15

Схематично цилиндрическая обечайка показана на рисунке 6.

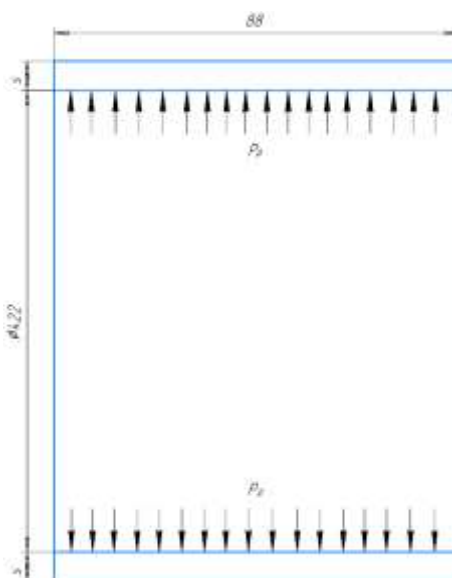


Рисунок 6 – Цилиндрическая обечайка

Расчет цилиндрической обечайки производится следующим образом [8,9]:

1. Рабочая температура корпуса:

$$t = \max(20 \text{ }^\circ\text{C}, tc) = 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

где  $t$  – рабочая температура корпуса,  $^\circ\text{C}$ ;

$tc$  – температура среды,  $^\circ\text{C}$ .

2. Допускаемое рабочее напряжение стали:

$$\sigma_d = \sigma' \cdot \eta, \quad (3.32)$$

где  $\sigma_d$  – допускаемое рабочее напряжение стали, МПа;

$\sigma'$  - допускаемое напряжение стали при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , МПа;

$\eta$  - поправочный коэффициент для листового проката;

$$\sigma_d = 184 \cdot 1 = 184 \text{ МПа};$$

3. Допускаемое напряжение для условий испытания:

$$\sigma_{\text{и}} = \eta \frac{R_{p1,0/20}}{n_T}, \quad (3.33)$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  – допускаемое напряжение для условий испытания, МПа;

$R_{p1,0/20}$  - минимальный условный предел текучести при остаточном удлинении 1,0% при температуре  $20^\circ\text{C}$ , МПа;

$n_T$  - коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

$$\sigma_{\text{и}} = 1 \frac{276}{1,1} = 251 \text{ МПа};$$

4. Так как рабочая среда – жидкость, то расчетное давление с учетом гидростатического:

$$P_p = P + \rho g L \cdot 10^{-6}, \quad (3.34)$$

где  $P_p$  – расчетное давление, МПа;

$P$  – рабочее давление, МПа;

$\rho$  – плотность среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$L$  – высота цилиндрической части, м.

$$P_p = 0,95 + 1,0253 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,95 \text{ МПа};$$

5. Пробное давление при гидравлическом испытании:

$$P_{и} = 1,25P_p \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}}, \quad (3.35)$$

где  $P_{и}$  – пробное давление при гидравлическом испытании, МПа;

$\sigma_{д20}$  – пробное допускаемое напряжение при гидравлическом испытании, МПа;

$\sigma_{д}$  – допускаемое напряжение при рабочих условиях, МПа.

$$P_{и} = 1,25 \cdot 0,95 \frac{184}{184} = 1,18 \text{ МПа};$$

6. Расчетная толщина стенки:

$$s_p = \frac{P_p D}{2\sigma_{д}\phi - P_p}, \quad (3.36)$$

где  $s_p$  – расчетная толщина стенки, мм;

$D$  – внутренний диаметр корпуса, мм;

$\phi$  – коэффициент прочности продольных сварных швов, стыковых, выполняемых вручную, с одной стороны, контролируемая длина которых от 10 до 50% от общей длины;

$$s_p = \frac{0,95 \cdot 0,4422 \cdot 10^3}{2 \cdot 184 \cdot 0,65 - 0,95} = 1,76 \text{ мм};$$

7. Прибавка к расчетной толщине стенки:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.37)$$

где  $C$  – прибавка к расчетной толщине стенки, мм;

$C_1$  – прибавка для компенсации коррозии  $C_k$  и эрозии  $C_э$  (эрозией можно пренебречь), мм;

$C_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска ( $C_2 = 0$ ), мм;

$C_3$  – прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях ( $C_3 = 0$ ), мм;

$$C = 0,07 \cdot 15 + 0 + 0 = 1,05 \text{ мм};$$

8. Условие проверки прочности цилиндрических сосудов

$$s \geq s_p + C, \quad (3.38)$$

где  $s$  – исполнительная толщина стенки, мм;

$$s_p + C = 1,76 + 1,05 = 2,81 \text{ мм}, \text{ принимаем } s = 4 \text{ мм};$$

9. Проверка условия применимости формул:

$$\frac{s-C}{D} \leq 0,1, \quad (3.39)$$

$$\frac{s-C}{D} = \frac{4-1,05}{0,4422 \cdot 10^3} = 0,7 \cdot 10^{-2}, \text{ условия выполняются;}$$

10. Для цилиндрической части обечайки в рабочем состоянии величина допускаемого давления:

$$P_d = 2\phi\sigma_d \frac{s-C}{D+(s-C)}, \quad (3.40)$$

где  $P_d$  – допускаемое давление для цилиндрической части обечайки в рабочем состоянии, МПа

$$P_d = 2 \cdot 0,65 \cdot 184 \frac{4-1,05}{0,4422 \cdot 10^3 + (4-1,05)} = 1,58 \text{ МПа;}$$

11. Условие прочности выполняется при  $P_p \leq P_d$ :

$$0,95 \text{ МПа} < 1,58 \text{ МПа} - \text{условия выполняются;}$$

12. Для цилиндрической части обечайки при испытании величина допускаемого давления:

$$P_{ди} = 2\phi\sigma_{и} \frac{s-C}{D+(s-C)}, \quad (3.41)$$

где  $P_{ди}$  – допускаемое давление для цилиндрической части обечайки при испытаниях, МПа;

$$P_{ди} = 2 \cdot 0,65 \cdot 251 \frac{4 - 1,05}{0,4422 \cdot 10^3 + (4 - 1,05)} = 2,16 \text{ МПа;}$$

13. Условие прочности выполняется при  $P_{и} \leq P_{ди}$ :

$$1,18 \text{ МПа} < 2,16 \text{ МПа}, \text{ условия выполняются.}$$

14. Расчетное осевое растягивающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_1 = \frac{P_p \pi D^2}{4}, \quad (3.42)$$

где  $F_1$  – расчетное осевое растягивающее усилие при рабочих условиях, Н.

$$F_1 = \frac{0,95\pi \cdot (0,4222 \cdot 10^3)^2}{4} = 14,6 \cdot 10^4 \text{ Н;}$$

15. Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$F_d = \pi(D + s - C)(s - C)\phi\sigma_d, \quad (3.43)$$



где  $F_D$  – допускаемое осевое растягивающее усилие, Н.

$$F_D = \pi(0,4422 \cdot 10^3 + 4 - 1,05)(4 - 1,05) \cdot 0,65 \cdot 184 = 49,5 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

16. Условие применимости формул  $F_1 < F_D$ :

$$14,6 \cdot 10^4 \text{ Н} < 49,5 \cdot 10^4 \text{ Н}, \text{ условия применимы};$$

17. Осевое растягивающее усилие при условиях испытаний находится по формуле:

$$F_2 = \frac{P_{\text{и}} \pi D^2}{4}, \quad (3.44)$$

где  $F_2$  – осевое растягивающее усилие при условиях испытания, Н.

$$F_2 = \frac{1,18\pi \cdot (0,4222 \cdot 10^3)^2}{4} = 18,1 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности считаем по формуле:

$$F_{\text{ди}} = \pi(D + s - C)(s - C)\phi\sigma_{\text{и}}, \quad (3.45)$$

где  $F_{\text{ди}}$  – допускаемое осевое растягивающее усилие, Н.

$$F_{\text{ди}} = \pi(0,4422 \cdot 10^3 + 4 - 1,05)(4 - 1,05) \cdot 0,65 \cdot 251 = 67,3 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

18. Условие применимости формул:  $F_2 < F_{\text{ди}}$ ,

$$18,1 \cdot 10^4 \text{ Н} < 67,3 \cdot 10^4 \text{ Н}, \text{ условия применимы.}$$

### 5.1.2 Расчет плоских круглых крышек с отверстиями

Схематичное изображение соединения крышки с корпусом показано на рисунке 7.

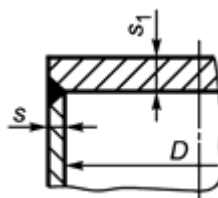


Рисунок 7 – Соединение крышки и корпуса [10]

Расчет плоских круглых крышек с отверстиями производится следующим образом [10]:

1. Скорость мякоти клюквы в штуцерах примем:

$$\omega_{1ш} = \omega_{2ш} = \omega_{ш} = 1,1 \text{ м/с};$$

2. Внутренний диаметр штуцера рассчитывается по формуле:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi \omega_{ш} \rho}}, \quad (3.46)$$

где  $d_{ш}$  – внутренний диаметр штуцера, м;

$\omega_{ш}$  – скорость мякоти клюквы в штуцерах, м/с.

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0022}{\pi \cdot 1,1 \cdot 1,0253}} = 0,05 \text{ м};$$

3. Расчет стенки крышки с отверстием:

$$s_{1p} = K \cdot K_0 D_p \sqrt{\frac{P_p}{\varphi \sigma_d}}, \quad (3.47)$$

где  $s_{1p}$  – толщина стенки крышки с отверстием, мм;

$K$  – коэффициент, в зависимости от конструкции крышек;

$D_p$  – расчетный диаметр крышки ( $D_p = D = 0,4422 \cdot 10^3 = 442,2$ ), мм;

$K_0$  – коэффициент для крышек с одним отверстием:

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D_p} + \left(\frac{d}{D_p}\right)^2}, \quad (3.48)$$

где  $d$  – диаметр отверстия ( $d = d_{ш}$ ), мм;

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{50}{442,2} + \left(\frac{50}{442,2}\right)^2} = 1,061;$$

$$s_{1p} = 0,45 \cdot 1,061 \cdot 442,2 \sqrt{\frac{0,95}{0,65 \cdot 184}} = 18,87 \text{ мм}.$$

4. Условие прочности плоских круглых крышек аппаратов:

$$s_1 \geq s_{p1} + C;$$

где  $s_1$  – исполнительная толщина стенки крышки, мм.

$$s_{p1} + C = 18,87 + 1,05 = 19,95, \text{ принимаем } s_1 = 22 \text{ мм}$$

5. Условие закрепление крышек:

$$\frac{s-C}{s_1-C} < 0,5, \quad (3.49)$$

$$\frac{s-C}{s_1-C} = \frac{4-1,05}{22-1,05} = 0,14, \text{ условия закрепления крышек соблюдены;}$$

6. Допускаемое давление на плоскую крышку;

$$P_{д1} = \left( \frac{s_1 - C}{K \cdot K_0 D_p} \right)^2 \varphi \sigma_d, \quad (3.50)$$

где  $P_{д1}$  – допускаемое давление на плоскую крышку, МПа.

$$P_{д1} = \left( \frac{22 - 1,05}{0,45 \cdot 1,061 \cdot 442,2} \right)^2 0,65 \cdot 184 = 1,18 \text{ МПа};$$

7. Условие прочности выполняется при  $P_p \leq P_{д1}$ :

$$0,95 \text{ МПа} < 1,18 \text{ МПа} \text{ – условия выполняются};$$

8. Для плоской круглой крышки при испытании величина допускаемого давления:

$$P_{ди1} = \left( \frac{s_1 - C}{K \cdot K_0 D_p} \right)^2 \varphi \sigma_{и}, \quad (3.51)$$

где  $P_{ди1}$  – допускаемое давление для плоской круглой крышки при испытании, МПа.

$$P_{ди1} = \left( \frac{22 - 1,05}{0,45 \cdot 1,061 \cdot 442,2} \right)^2 0,65 \cdot 251 = 1,61 \text{ МПа};$$

Условие прочности выполняется при  $P_{и} \leq P_{ди1}$ :

$$1,18 \text{ МПа} < 1,61 \text{ МПа}, \text{ условия выполняются.}$$

### 5.1.3 Расчет необходимости укрепления отверстий

1. Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле:

$$d_o = d + 2 \cdot C, \quad (3.52)$$

где  $d_o$  – расчетный диаметр отверстия, мм.

$$d_o = 0,05 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1,05 = 52,1 \text{ мм};$$

2. Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\frac{d_o - 2C}{D} \leq 1 \text{ и } \frac{s - C}{D} \leq 0,1, \quad (3.53)$$

$$\frac{d_o - 2C}{D} = \frac{52,1 - 2 \cdot 1,05}{442,2} = 0,11 < 1 \text{ и } \frac{s_1 - C}{D} = \frac{22 - 1,05}{442,2} = 0,05 < 0,1 \text{ – условия}$$

выполняются;

3. Расчетная толщина стенки штуцера по формуле:

$$s_{p.ш} = \frac{P_p(d+2C)}{2\varphi\sigma_d - P_p}, \quad (3.54)$$

где  $s_{p.ш}$  – расчетная толщина стенки штуцера, мм

$$s_{p.ш} = \frac{0,95(0,05 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1,05)}{2 \cdot 0,65 \cdot 184 - 0,95} = 0,21 \text{ мм};$$

4. Исполнительная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = s_{p.ш} + C, \quad (3.55)$$

где  $s_{ш}$  – исполнительная толщина стенки штуцера, мм

$$s_{ш} = 0,21 + 1,05 = 1,26 \text{ мм},$$

5. Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки, определяется по формуле:

$$d_{oo} = 2 \cdot \left[ \frac{(s-C)}{s_{p.ш}} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D(s-C)}, \quad (3.56)$$

где  $d_{oo}$  – расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления, при наличии избыточной толщины стенки, мм.

$$d_{oo} = 2 \cdot \left[ \frac{(4-1,05)}{0,21} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{442,2(4-1,05)} = 957 \text{ мм},$$

6. Проверка условий расчета укрепления отверстий  $d_{oo} \geq d_o$ :

957 мм > 52,1 мм, укрепления отверстий не требуется.

#### 5.1.4 Расчет наклонного штуцера на цилиндрической обечайке

Наклонный штуцер, ось которого лежит в плоскости поперечного сечения укрепляемой обечайки, показан на рисунке 8.

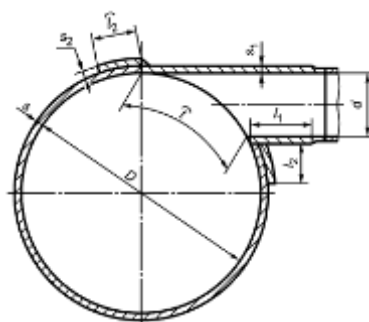


Рисунок 8 – Наклонный штуцер на цилиндрической обечайке [10]

Расчет наклонного штуцера на цилиндрической обечайке производится следующим образом [10]:

1. Расчетный диаметр отверстия вычисляют по формуле:

$$d_{pш2} = \max\{d_{ш2}; 0,5t\} + 2C, \quad (3.57)$$

где  $d_{pш2}$  – расчетный диаметр отверстия, мм;

$d_{ш2}$  – диаметр наклонного штуцера (штуцер 2), ( $d_{ш2} = d$ ), мм;

$$d_{pш2} = 0,05 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1,05 = 52,1 \text{ мм};$$

2. Расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением, нагруженного внутренним давлением:

$$S_{pш2} = \frac{P_p(d+C)}{2\varphi\sigma_d - P_p}, \quad (3.58)$$

где  $S_{pш2}$  – расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением, нагруженного внутренним давлением, мм.

$$S_{pш2} = \frac{0,95(0,05 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1,05)}{2 \cdot 0,65 \cdot 184 - 0,95} = 0,21 \text{ мм},$$

принимаем исполнительную толщину стенки  $S_{ш2} = 4$  мм;

3. Расчетная длина внутренней частей штуцера с круглым поперечным сечением:

$$l_{1pш2} = \min\{l_1; 0,5\sqrt{(d + 2C)(s - C)}\}, \quad (3.59)$$

где  $l_{1pш2}$  – расчетная длина внутренней частей штуцера с круглым поперечным сечением, мм

$l_1$  – длина внутренней части штуцера, мм.

$$l_{1pш2} = 0,5\sqrt{(50 + 2,1)(4 - 1,05)} = 6,2 \text{ мм}, \text{ принимаем исполнительную}$$

длину  $l_{1ш2} = 100$  мм;

4. Расчетная ширина накладного кольца, при  $s_2 = s$ :

$$l_{2pш2} = \min\{l_2; \sqrt{D(2s - C)}\}, \quad (3.60)$$

где  $l_{2pш2}$  – расчетная ширина накладного кольца, мм;

$l_2$  – длина наружной части штуцера, мм.

$l_{2pш2} = \sqrt{442,2(2 \cdot 4 - 1,05)} = 55,4$  мм, принимаем исполнительную ширину накладного кольца  $l_{2ш2} = 56$  мм;

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда минимальное расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию (в нашем случае  $b = R_k \frac{d_{ш2}}{2}$ ):

$$b = R_k - \frac{d_{ш2}}{2} \geq \sqrt{d_{рш2}(s_{ш2} - c)} + \sqrt{d_{рш}(s_{ш} - c)}, \quad (3.61)$$

где  $b$  – минимальное расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров, мм.

$$b = R_k - \frac{d_{ш2}}{2} = 0,2211 \cdot 10^3 - \frac{50}{2} = 196,1 \text{ мм};$$

$$\sqrt{d_{рш2}(s_{ш2} - c)} + \sqrt{d_{рш}(s_{ш} - c)} = 2 \cdot \sqrt{50(4 - 1,05)} = 24,3 \text{ мм}$$

$196,1 \text{ мм} > 24,3 \text{ мм}$ , условия выполняются, считать штуцер 2 одиночным отверстием.

5. Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки, определяется по формуле:

$$d_{oo2} = 2 \cdot \left[ \frac{(s_{ш2} - c)}{s_{p.ш2}} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D(s_{ш2} - c)}, \quad (3.62)$$

где  $d_{oo2}$  – расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки, мм.

$$d_{oo2} = 2 \cdot \left[ \frac{(4 - 1,05)}{0,21} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{442,2(4 - 1,05)} = 956 \text{ мм},$$

6. Проверка условий расчета укрепления отверстий  $d_{oo2} \geq d_{ш2}$ :  
 $957 \text{ мм} > 52,1 \text{ мм}$ , укрепления отверстий не требуется.

### 5.1.5 Подбор фланцевого соединения

Предпочтительно брать плоский приварной. Диаметры отверстий под фланцы у всех одинаковые, и составляют 50 мм. Следовательно, подбираем из

стандартных фланцев по ГОСТ 33259-2015 с номинальным диаметром  $DN = 50$  мм и номинальном давлении  $PN = 0,95$  МПа =  $9,7$  кгс/см<sup>2</sup>. Макет фланца представлен на рисунке 9.

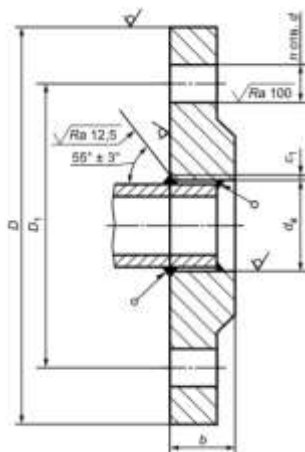


Рисунок 9 – Фланец плоский приварной (Исполнение А) [11]

Табличные значения размеров фланца показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Размеры плоского приварного фланца [11]

Наименование размера	Значение
Наружный диаметр фланца $D$ , мм	160
Диаметр под болты $D1$ , мм	125
Диаметр под патрубков $d_w$ , мм	59
Высота фланца $b$ , мм	18
Ширина приварки $c1$ , мм	3
Количество отверстий под болты $n$ , шт	4
Температура рабочей среды $t$ , °C	20
Материал фланцев	16ГС
Продолжение таблицы 6	
Материал болтов М16	Сталь 20
Материал прокладки	паронит
Диаметр прокладки (условный) $Dп$ , мм	50
Наружный диаметр прокладки $Dн$ , мм	106
Диаметр срединной прокладки $Dсп$ , мм	81,5
Внутренний диаметр прокладки $Dв$ , мм	57
Ширина прокладки $вп$ , мм	24

Высота прокладки $h_p$ , мм	2
Внешний изгибающий момент $M$ , Н·мм	0
Внешняя осевая сила (сжимающая со знаком минус) $F$ , Н	-0
Давление среды в аппарате, $P$	0,95

Расчет для фланцевого соединения проводится следующим образом [11]:

Для рабочих условий и условий испытаний берётся одинаковая температура среды  $t = 20^\circ\text{C}$ .

1. Модуль упругости для болтов при  $t = 20^\circ\text{C}$ :

$$E_b = E_{би} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

2. Допускаемое рабочее напряжение для болтов:

$$\sigma_b = 147 \text{ МПа}$$

3. Допускаемое напряжение болтов для условий испытаний

$$\sigma_{би} = 147 \text{ МПа};$$

4. Коэффициент линейного расширения стали 20 при  $20^\circ\text{C}$  :

$$\alpha_b = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К};$$

5. Допускаемое напряжение для фланцев и обечаек 16ГС:

$$\sigma_\phi = 183 \text{ МПа};$$

6. Так как фланцы изготавливают из листового проката ( $\eta = 1$ ):

$$\sigma_\phi = \eta \cdot \sigma_\phi = 183 \text{ МПа};$$

7. Модуль упругости для стали 16ГС при рабочей температуре:

$$E_\phi = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

8. Допускаемое напряжение для стали 16ГС в условиях испытания:

$$\sigma_{\phiи} = 183 \text{ МПа};$$

9. Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при  $20^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_\phi = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К};$$

10. Эффективная ширина плоской прокладки:



$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\Pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3.63)$$

где  $b_0$  – эффективная ширина плоской прокладки;

$$b_0 = 19 \text{ мм};$$

11. Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|, \quad (3.64)$$

где  $P_{\text{обж}}$  – давление обжатия, МПа;

$D_{\text{сп}}$  – диаметр срединной прокладки, мм;

$m$  – число омываемых труб, шт;

$|P|$  – допускаемое давление ( $|P| = P$ ), МПа;

$$P_{\text{обж}} = 2,311 \cdot 10^3 \text{ МПа};$$

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

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3.65)$$

где  $R_{\Pi}$  – усилие, обеспечивающее герметичность, Н;

$$R_{\Pi} = 4,622 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

13. Площадь поперечного сечений болтов:  $f_b = 201 \text{ мм}^2$ ;

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

$$A_6 = n \cdot f_b, \quad (3.66)$$

где  $A_6$  – Суммарная площадь сечения болтов,  $\text{мм}^2$ ;

$n$  – количество болтов, шт;

$$A_6 = 804 \text{ мм}^2;$$

15. Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d = \frac{\pi}{4} (D_{\text{сп}})^2 P, \quad (3.67)$$

где  $Q_d$  – равнодействующая нагрузка от давления, Н;

$$Q_d = 4,956 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

16. Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{FM} := \max\left(\left|F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|, \left|F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|\right), \quad (3.68)$$

где  $Q_{FM}$  – приведенная нагрузка, Н;

F- внешняя сила, Н;

M – изгибающий момент, Н;

$$Q_{FM} = 0 \text{ Н};$$

17. Податливость прокладки:

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}}, \quad (3.69)$$

где  $y_{п}$  – податливость прокладки, мм/Н;

$h_{п}$  – высота прокладки, мм;

$K_{обж} = 0,9$  – коэффициент обжатия прокладки;

$E_{п} = 200$  – модуль упругости прокладки, МПа;

$$y_{п} = 1,465 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

18. Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{б} = L_{б0} + 0,28d, \quad (3.70)$$

где  $l_{б}$  – Эффективная длина болта, мм;

$L_{б0} = 62$  – расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм;

$d = 16$  – диаметр резьбы, мм;

$$L_{б} = 66,48 \text{ мм};$$

19. Податливость болтов:

$$y_{б} := \frac{L_{б}}{E_{20б} \cdot A_{б}}, \quad (3.71)$$

где  $y_{б}$  – податливость болтов, мм/Н;

$$y_{б} = 3,85 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н};$$

20. Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K = \frac{D_H}{D}, \quad (3.72)$$

где  $K$  – отношение диаметров фланца;

$D_H$  – наружный диаметр фланца, мм;

$D$  – внутренний диаметр фланца, мм

$$K = 3,2;$$

21. Параметр длины обечайки:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot S_0}, \quad (3.73)$$

где  $S_0$  – толщина стенки обечайки, мм;

$$l_0 = 14,142 \text{ мм};$$

22. Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad (3.74)$$

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

где  $\beta_T, \beta_U, \beta_Y, \beta_Z$  – коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца;

$$\beta_T = 1.159 \quad \beta_U = 1.934$$

$$\beta_Y = 1.769 \quad \beta_Z = 1.216$$

23. Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}, \quad (3.75)$$

где  $\beta_F = 0,91$  – коэффициент для приварных встык фланцами с прямоугольно втулкой;

$\beta_V = 0,55$  – коэффициент для плоских фланцев;

$\lambda$  – средний коэффициент фланцевых соединений;

$$\lambda = 9.192$$

24. Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad , \quad (3.76)$$

где  $y_{\phi}$  – угловая податливость фланца при затяжке;

$$y_{\phi} = 1,21 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Н} \cdot \text{мм};$$

25. Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\phi}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad , \quad (3.77)$$

где  $y_{\phi H}$  – угловая податливость фланца под внешним изгибающим моментом;

$$y_{\phi H} = 3,261 \cdot 10^{-10} \text{ 1/Н} \cdot \text{мм}.$$

### 5.1.6 Расчет вала на виброустойчивость

Исходные данные для вала показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные

Наименование	Значение
Плотность материала вала при 20 0С $\rho_v$ , кг/м <sup>3</sup>	7920
Модуль продольной упругости материала вала $E_v$ , Па	$200 \cdot 10^9$
Длина вала $L$ , м	1
Масса ротора, кг	10
Диаметр ротора $D_r$ , м	0,4422
Скорость вращения вала, об/мин	3000

Расчет для вала на виброустойчивость производится следующим образом [12]:

1. Центробежный критерий Рейнольдса:

$$Re_{\text{ц}} := \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu}, \quad (3.78)$$

где  $\rho_c$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  
 $n$  – частота вращения ротора, об/с;  
 $d_M$  – диаметр ротора, м;  
 $\mu$  – вязкость среды, Па·с;

$$Re_{\text{ц}} = 1,5 \cdot 10^3;$$

2. Угловая скорость вала:

$$\omega = \pi \cdot n, \quad (3.79)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вала, рад/с

3. Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

$$\begin{aligned} k_i &:= 3 \cdot l_i - 4 \cdot (l_i)^3 \\ c_i &:= 3 \cdot (1 - l_i) - 4 \cdot (1 - l_i)^3, \\ Y_{l_i} &:= \text{if}(l_i \leq 0.5, k_i, c_i) \end{aligned} \quad (3.80)$$

где  $i = 1$  – порядковый номер детали ротора;  
 $l_i = 0,9$  – относительная координата центра массы  $i$  детали;  
 $k_i, c_i$  – безразмерные коэффициенты  $i$  детали;  
 $Y_{l_i}$  – безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали;

$$Y_1 = 0.296;$$

4. Приведенная масса детали:

$$m_{пр_i} := m_i \cdot (Y_{l_i})^2, \quad (3.81)$$

где  $m_i$  – масса ротора, кг;  
 $m_{пр_i}$  – приведенная масса  $i$  детали, кг;  
 $m_{пр_i} = 0,088$  кг;

5. Суммарная приведенная масса детали:  $m_{прс} = 0,088$  кг;

6. Безразмерный коэффициент:

$$f := \frac{\rho_{в} \cdot \omega^2 \cdot L^2}{3 \cdot E}, \quad (3.82)$$

где  $\rho_{в}$  – плотность вала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $E$  – модуль продольной упругости вала, Па;

$$f = 3,257 \cdot 10^{-4};$$

7. Приведенная безразмерная масса вала:  $m_{в\_пр} = 0,56$ ;

8. Комплексы:

$$A1 := m_{в\_пр} \cdot f \cdot L^2 \quad A2 := \frac{10.67 \cdot m_{прс} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho_{в}}, \quad (3.83)$$

где  $A1$  – комплекс 1, м<sup>2</sup>;  
 $A2$  – комплекс 2, м<sup>4</sup>;

9. Расчетный диаметр вала:

$$d_p := \sqrt{A1 + \sqrt{A1^2 + A2}}, \quad (3.84)$$

где  $d_p$  – расчетный диаметр вала, м;

$$d_p = 0,02 \text{ м};$$

Принимаем диаметр вала, исходя из стандартных номинальных диаметров вала:

$$d = 0,05 \text{ м};$$

10. Линейная масса вала:

$$m_{\text{в}} := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_{\text{в}} \quad , \quad (3.85)$$

где  $m_{\text{в}}$  – линейная масса вала, кг;  $d$  – выбранный диаметр вала, м;

$$m_{\text{в}} = 15,551 \text{ кг};$$

11. Относительная суммарная масса деталей:

$$m_{\text{пр}} := \frac{m_{\text{прс}}}{m_{\text{в}} \cdot L} \quad , \quad (3.86)$$

где  $m_{\text{пр}}$  – относительная суммарная масса деталей;

$$m_{\text{пр}} = 5,634 \cdot 10^{-3};$$

12. Безразмерная критическая угловая скорость валов:

$$\omega_{\text{1}} := \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2m_{\text{пр}}}} \quad , \quad (3.87)$$

где  $\omega_{\text{1}}$  - безразмерная критическая угловая скорость валов;

$$\omega_{\text{1}} = 9.745$$

13. Первая критическая угловая скорость вала:

$$\omega_1 := \frac{\omega_{\text{1}} \cdot d}{4 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho_{\text{в}}}} \quad , \quad (3.88)$$

где  $\omega_1$  – первая критическая угловая скорость вала, рад/с;

$$\omega_1 = 612.146 \text{ рад./с}$$

14. Условие виброустойчивости:

$$\frac{\omega}{\omega_1} \leq 0,7, \quad (3.89)$$

$$\frac{\omega}{\omega_1} = 0,257, \text{ условия выполняются.}$$

## 6 Результаты проведенного исследования

В ходе процесса разработки и проектирования роторно-пульсационного аппарата получены результаты, которые представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Основные результаты вычисления РПА

Наименование	Значение
Ширина каналов в роторе и статоре $a$ , м	0,0100
Угол каналов в роторе и статоре $\alpha^*$ , °	60
Толщина каналов в роторе $l_p$ , м	0,0610
Толщина каналов в статоре $l_c$ , м	0,0710
Толщина камеры $l_k$ , м	0,0500
Толщина стенки ротора $h_p$ , м	0,0310
Толщина стенки статора $h_c$ , м	0,0500
Высота каналов ротора и статора $H$ , м	0,0200
Радиус ротора внутренний $R_1$ , м	0,0600
Радиус ротора наружный $R_2$ , м	0,1210
Радиус статора внутренний $R_{c1}$ , м	0,1211
Радиус статора наружный $R_{c2}$ , м	0,1711
Радиус камеры $R_k$ , м	0,2211
Число циклов для достижения концентрации насыщения, об	3
Внутренний диаметр аппарата $D$ , м	0,44220
Толщина стенки корпуса аппарата $s$ , мм	4
Внутренние диаметры штуцеров $d_{шт}$ , м	0,0500
Толщина крышек аппарата $s_1$ , м	0,0220
Толщина стенок штуцеров $s_{шт}$ , м	4
Длина штуцеров $l_{шт}$ , м	0,1000
Ширина накладного кольца, м	0,0560
Наружный диаметр фланца $D$ , м	0,1600
Диаметр под болты $D_1$ , м	0,1250
Высота фланца $b$ , м	0,0180
Количество отверстий под болты $n$ , шт	4
Наружный диаметр прокладки $D_n$ , м	0,1060
Ширина вала $d_v$ , м	0,0500
Длина вала, м	1,0000



## **7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Проектирование и создание конкурентоспособных разработок, которые отвечают критериям и требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения являются целью данного раздела.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности

исследования.

Целью данной дипломной работы является проектирование пульсационного аппарата для интенсификации процессов экстракции растительного сырья.

### **7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей проектируемого оборудования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар. Предполагаемыми потребителями результатов исследования являются такие компании, как ООО «Кондитерская фабрика Козлова (Био-Веста Юг)», ООО «Вистера», ООО «Бест-Ботлинг». Главным предполагаемым местом внедрения пульсационного аппарата является ООО «Кондитерская фабрика Козлова (Био-Веста Юг), т.к. при получении многих видов конфет используются экстракты плодов различных ягод, что и производит эта

фабрика. В данной работе целесообразно производить сегментирование по таким критериям, как отрасль и размер предприятия, что показано в таблице 9.

Таблица 9 – Сегментирование рынка

		Отрасль предприятия		
		Кондитерская промышленность	Фармацевтическая промышленность	Пищевая промышленность
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			



Из анализа сегментирования рынка можно сделать вывод, что наиболее перспективными потребителями разрабатываемого проекта являются компании кондитерской отрасли. Именно в кондитерской промышленности используют экстракты различных ягод для придания фруктово-ягодного вкуса всем конфетам. Наиболее крупной и привлекательной компанией является ООО «Кондитерская фабрика Козлова (Био-Веста Юг)», т.к. оно является крупным экспортером своей продукции в страны СНГ: Казахстан и Беларусь.

### 7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Основными техническими решениями, помимо роторно-пульсационного аппарата для экстракции растительного сырья, являются аппараты для экстрагирования с использованием электроимпульсных разрядов и ультразвука. Роторно-пульсационный аппарат (РПА) имеет ряд существенных преимуществ перед конкурентами, а именно:

1. Цена разработки
2. Распространенность на рынке
3. Удобство и простота эксплуатации
4. Возможность работы с несколькими РПА для снижения времени экстрагирования и увеличения качество продукта

Экстрагирование с использованием электроимпульсных разрядов и экстрагирование ультразвуком уступают роторно-пульсационным аппаратам в том, что РПА могут быть разных размеров, и даже некоторые из них можно транспортировать в легковых автомобилях. Подробный результат оценки конкурентоспособности технических решений представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Карта оценки конкурентоспособности технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Удобство в эксплуатации	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
Надежность	0.1	4	4	3	0.4	0.4	0.3
Безопасность эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Материалоемкость	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
Простота эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Стабильность работы	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
Наличие сертификации разработки	0.1	5	5	5	0.5	0.5	0.5
Уровень проникновения на рынок	0.1	5	2	2	0.5	0.2	0.2
Итого	1	44	42	38	4,4	3,8	3,8

Ф – роторно-пульсационный аппарат;

К1 –аппарат с использованием электроимпульсных разрядов;

К2 – ультразвуковой аппарат.

Из этой таблицы можно сделать вывод, что выбранный мною РПА является наиболее подходящим техническим решением.

### 7.1.3 SWOT – анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно- исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки, представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта		
	С1	С2	С3
В1	+	+	+
В2	+	+	+
В3	+	+	-

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 12.

Таблица 12 – SWOT - анализ

	<p>Сильные стороны проекта:                  С1. Применение стали, подходящей под технологический процесс                  С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими аппаратами для экстракции                  С3. Уменьшение вредного</p>	<p>Слабые стороны проекта:                  Сл.1. Сложность монтажа</p>
	<p>воздействия на окружающую среду                  С4. Высокий уровень проникновения на рынок</p>	
<p>Возможности:                  В1. Возможность интенсификации процессов за счет нескольких установок.                  В2. Возможность уменьшения количества отходов производства.                  В3. Возможность создания новых рабочих мест.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрица проекта полей «Сильные стороны и возможности»:                  1. Появление аппаратов нового поколения.                  2. Развитие торговых и предпринимательских отношений из-за дешевизны изготовления аппарата                  3. Меньшее воздействие на окружающую среду, как следствие улучшение экологической обстановки                  4. Экспорт товара за границы РФ.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрица проекта полей «Слабые стороны и возможности»:                  1. Для изготовления применяют специальное оборудование и используют его специально обученные люди, следовательно, проблем с производством не возникнет.</p>
<p>Угрозы:                  У1. Возможен низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие в виду наличия старых аппаратов.                  У2. Вероятность наличия аналогичных разработок подобных аппаратов у конкурентов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрица проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:                  1. При низком спросе есть возможность выхода с данным аппаратом на международный рынок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:                  1. Проведение аналогичных расчетов конкурирующими фирмами вкуче с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны довольно сильно повлиять на ход разработки аппарата, однако вовлечение иностранных инвесторов и сторонних компаний, заинтересованных в разработке данного проекта, а также актуальность, способны предотвратить все негативные последствия.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества проектируемого аппарата преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

#### 7.1.4 Морфологический анализ

Морфологический анализ основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерности строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при обычном переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

В данной работе морфологический анализ уместно проводить по трем признакам – тип аппарата для экстракции растительного сырья, давление в аппарате и взаимное направление движения фаз. Необходимо подобрать такую установку, которая будет обладать наибольшей производительностью и простотой эксплуатации и, при этом, иметь наименьшую стоимость. По результатам анализа составим морфологическую матрицу и подберем наиболее подходящий интенсификационный аппарат для экстракции.

Морфологическая матрица для исследуемого проекта представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Морфологическая матрица для интенсификационного аппарата

Наименование переменной	1	2	3
А. Тип аппарата	Роторно-пульсационный	Электроимпульсный разрядный	Ультразвуковой
Б. Давление в аппарате	Избыточное	Избыточное	Вакуумное
В. Направление потоков теплон.	Прямоток	Противоток	Комбинированный

В связи с поставленным техническим заданием и особенностями технологического процесса, наиболее желательным функционально-конкретным решением с позиции ресурсосбережения будет: А1Б1В2.

## **7.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 7.

Над разработкой данного проекта участвуют два человека – научный руководитель и инженер.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей для проектирования аппарата представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель

Продолжение таблицы 14			
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

### 7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (5.1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.



Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (5.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (5.4)$$

Где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожгi}$ , чел-дни			
	Науч.	Инженер	Науч.	Инженер	Науч.	Инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1	-	3	-	1,8	-	1,8	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	2	3	4	1,8	2,8	2,3	4
3. Обзор научной литературы	-	4	-	10	-	6,4	6,4	10
4. Выбор методов исследования	-	4	-	6	-	4,8	4,8	8
5. Планирование эксперимента	2	5	3	6	2,4	5,4	3,9	6
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	4	-	8	-	5,6	5,6	9
7. Проведение эксперимента	-	12	-	19	-	14,8	14,8	23
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	6	2,8	4,2	3,5	6
10. Составление пояснительной записки		12		20	-	15,2	15,2	23
<b>Итого:</b>	6	56	13	94	8,8	71,2	70,3	109

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта, что представлено в таблице 16.

Таблица 16 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Науч. рук.	3	█													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Науч. рук. Инженер	4	█													
3	Обзор научной литературы	Инженер	10		█												
4	Выбор методов исследования	Инженер	8			█											
5	Планирование эксперимента	Науч. рук. Инженер	6			█											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер	9				█										
7	Проведение эксперимента	Инженер	23					█	█	█							
8	Обработка полученных данных	Инженер	18								█	█	█				
9	Оценка правильности полученных результатов	Науч. рук. Инженер	6											█			
Продолжение таблицы 8																	
10	Составление пояснительной записки	Инженер	23														█

█ – Научный руководитель, █ – Инженер

### 7.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 7.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение материалов для создания НИР, которые показаны в таблице 17.

Таблица 17 - Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	420	2	820
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Лицензионное программное обеспечение	2660	1	2660
Итого:			6970

### 7.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

#### Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Затраты на оборудование представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	30	30
2	Принтер	1	3	7	7
<b>Итого</b>		37 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.7)$$

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5.8)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука и принтера, с учётом того, что срок полезного использования составляет 2 года:

$$H_{A1} = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$H_{A2} = \frac{1}{n_2} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A_1 = \frac{H_{A1}I}{12} \cdot m = \frac{0,5 \cdot 30000 \cdot 2}{12} = 2500,00 \text{ руб.}$$

$$A_2 = \frac{H_{A2}I}{12} \cdot m = \frac{0,5 \cdot 7000 \cdot 2}{12} = 583,33 \text{ руб.}$$

$$A = A_1 + A_2 = 2500,00 + 583,33 = 3083,33 \text{ руб.}$$

### 7.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (5.9)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.10)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, 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 научно-технического персонала, раб. дн., что показано в таблице 19.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.11)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Должностной оклад руководителя составил 26300 руб.

Должностной оклад инженера 17000 руб.

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{\delta}$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{\delta n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	70	150311
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	70	122017

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.12)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{доп} = 0.15 \cdot 150311 = 22546,65 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{доп} = 0.15 \cdot 122017 = 18302,55 \text{ руб.}$$

#### 7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (5.13)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).



Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование. При этом сумма взносов к

уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Величина отчислений во внебюджетные фонды для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = 0.3 \cdot (150311 + 22546,65) = 51857,295 \text{ руб.}$$

Величина отчислений во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = 0.3 \cdot (122017 + 18302,55) = 42095,865 \text{ руб.}$$

### 7.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (3.14)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (6970,00 + 37000 + 150311,00 + 122017,00 + 22546,65 + 18302,55 + 51857,29 + 42095,87) \cdot 0,16 = 72176,06 \text{ руб.}$$

### 7.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат

составляется бюджет НИ, что продемонстрировано в таблице 21.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИР	6970	Пункт 5.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	37000	Пункт 5.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	272328	Пункт 5.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	40849,2	Пункт 5.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	93953,16	Пункт 5.3.4
6	Накладные расходы	72176,06	Пункт 5.3.5
Бюджет затрат НИР		523276,42	Сумма ст. 1- 6

#### **7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

**Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как

знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР был рассмотрен аппарат для экстрагирования с использованием электроимпульсных разрядов. Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.15)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{рот.-пульс}} = \frac{523276,42}{600000} = 0,872$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{электр.р.}} = \frac{785322}{1000000} = 0,785$$

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР ( $I_{ri}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра, что показано в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект (Исп.1)	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	3
3. Технические характеристики	0,2	5	4
4. Механические свойства	0,3	5	5
5. Материалоёмкость	0,15	5	3
ИТОГО	1	4,65	3,95

Текущий проект – роторно-пульсационный аппарат;

исп. 2 – электроимпульсный разрядный аппарат.

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.16)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 22).

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{cn}$ )** определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (5.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных, что показано в таблице 23. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (5.18)$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,872	0,785
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	5,332	5,032
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,060	0,940

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

### **Выводы по разделу**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа разных видов аппаратов для интенсификации экстракции растительного сырья был выбран роторно-пульсационный аппарат, который имел ряд преимуществ по сравнению с другими установками;

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 109 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 106 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 19 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 523276,42 руб;

Результат оценки эффективности НИР показывает следующие выводы:

1. Значение интегрального финансового показателя НИР составляет 0,872, что является показателем того, что НИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2. значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,95.

3. значение интегрального показателя эффективности НИР составляет 5,332, по сравнению с 5,032, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## Список используемых источников

1. Via Future [Электронный ресурс] Примеры инноваций в отраслях пищевой промышленности. – Режим доступа: <https://viafuture.ru/katalog-idej/innovatsii-v-pishhevoj-promyshlennosti-primery>, свободный (дата обращения 10.04.2021).
2. Альтернатива [Электронный ресурс] Управление качеством на различных этапах жизненного цикла пищевой продукции. – Режим доступа: <https://alternativa-sar.ru/tehnologu/kontrol-kachestva-produktsii/dunchenko-yankovskaya-upravlenie-kachestvom/2750-1-3-upravlenie-kachestvom-na-razlichnykh-etapakh-zhiznennogo-tsikla-pishchevoj-produktsii>, свободный (дата обращения 10.04.2021).
3. FindPatent.ru [Электронный ресурс] Христюк В.Т., Узун Л.Н., Барышев М.Г. / Способы обработки плодово-ягодного сырья перед извлечением сока. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/223/2232532.html>, свободный (дата обращения 10.04.2021).
4. Промтов, М. А. Методы расчета характеристик роторного импульсного аппарата : монография / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов, А. В. Алешин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 148 с.
5. APS group [Электронный ресурс] Роторно-пульсационный аппарат. – Режим доступа: <https://apsfood.ru/oborudovanie-potipu/nasosi/rotorno-pulsacionnyj-apparat/>, свободный (дата обращения 10.04.2021).
6. FarmMedik [Электронный ресурс] Курсовая работа по фармацевтической технологии на тему: «Новые аспекты в создании экстракционных препаратов». – Режим доступа: <https://farmmedik.ru/kurovaya-rabota-po-farmatsevticheskoj-tehnologii-na-temu-novye-aspekty-v-sozdanii-ekstraktsionnyh-preparatov/>, свободный (дата обращения 10.04.2021).

7. Г687. Основы теории и расчета деталей роторного аппарата: Учебное пособие / В.М. Червяков, Ю.В. Воробьев. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного ун-та, 2008 – 64с.

8. ГОСТ 34233.1-2017. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования: дата введения 2018-08-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344844> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

9. ГОСТ 34233.2-2017. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек: дата введения 2018-08-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344845?marker=7D20K3> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

10. ГОСТ 34233.3-2017. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер: дата введения 2018-08-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344855?marker=7D20K3> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

11. ГОСТ 33259-2015 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования: дата введения 2016-04-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122473> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

12. Б 447. Беляев В. М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами: учебное пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов, В. В. Тихонов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 92 с.

13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 1.05.2021): . – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 18.06.2021). – Текст : электронный.

14. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

15. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005187> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

16. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования: дата введения 1982-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200234> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

17. ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем: дата введения 2017-12-01. . – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140609> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

18. ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком: дата введения 2010-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076090> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

19. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи: дата введения 2010-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076092> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

20. ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 3. Механизмы



управления: дата введения 2011-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082719> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

21. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1992-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

22. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 1984-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200291> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

23. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам: дата введения 1982-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200228> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

24. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: Дата введения 1989-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

25. ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация: дата введения 1984-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702099> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

26. ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 1977-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

27. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация: дата введения 1990-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000277> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст : электронный.

## Приложение А

(Справочное)

Расчетная схема роторно-пульсационного аппарата для интенсификации процесса экстракции клюквы

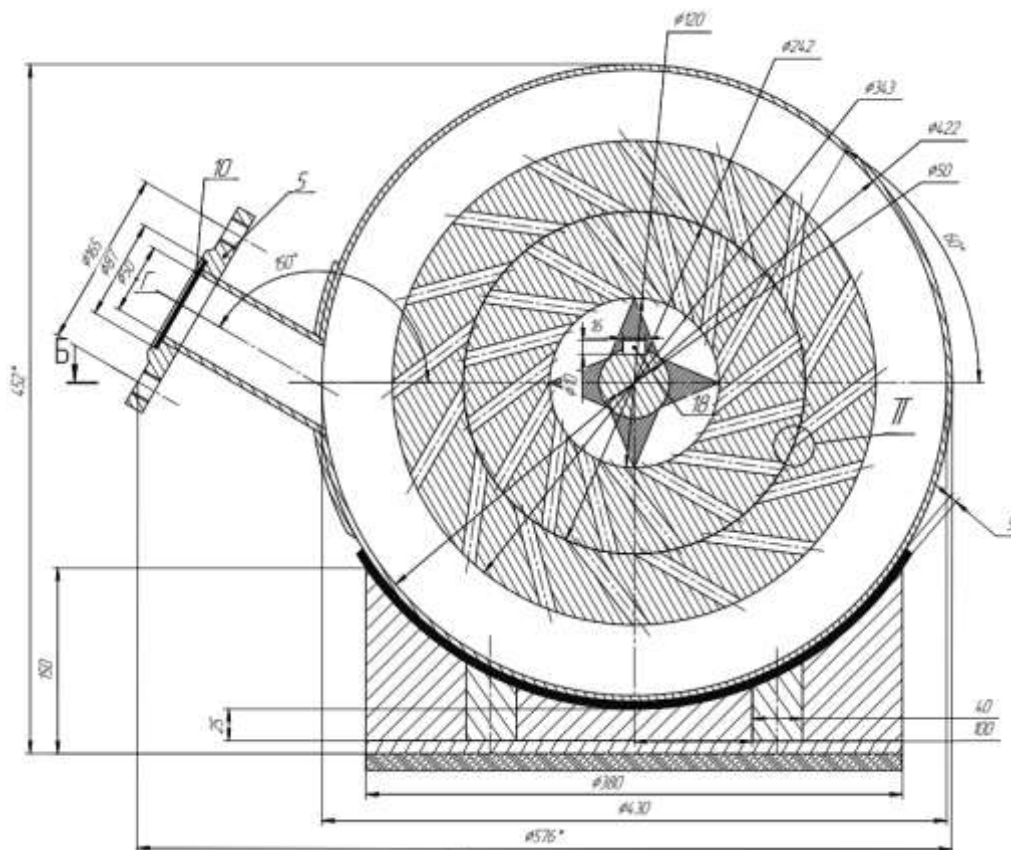


Рисунок А.1 – Расчетная модель РПА, главный вид

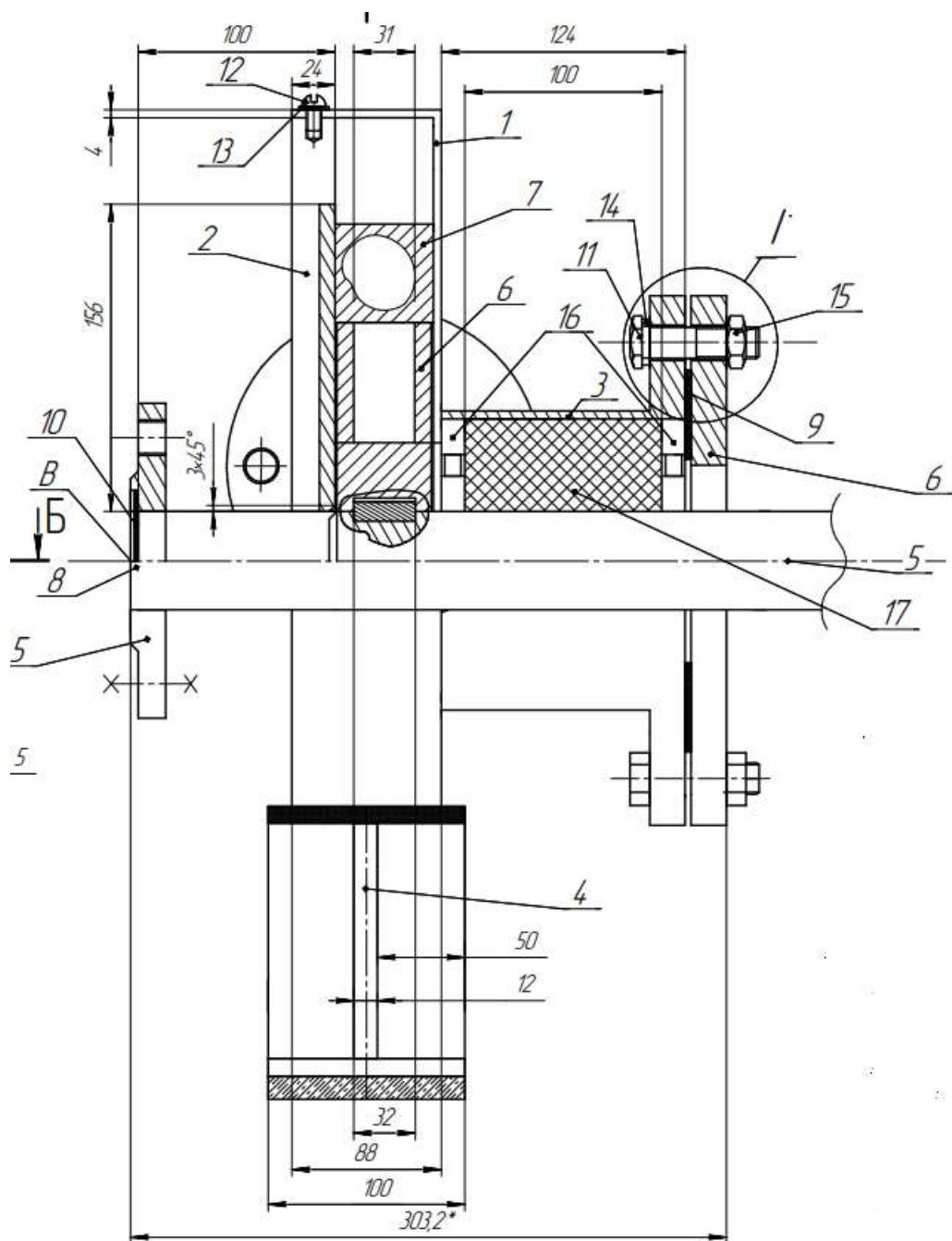


Рисунок А.2 – Расчетная модель РПА, вид сбоку

где 1 – цилиндрическая обечайка; 2 – крышка; 3 – стакан для подшипников и уплотнения; 4 – седловая опора; 5 – фланец; 6 – подвижный ротор; 7 – неподвижный статор; 8 – вал быстроходный; 9 – прокладка под фланцы для входа и выхода сырья; 10 – прокладка для крышки подшипников; 11 – Болт М16; 12 – Винт для крышки А.М10; 13 – Шайба для крышки А.10; 14 – Шайба для фланцевого соединения А.16; 15 – Гайка для фланцевого соединения М16; 16 – Подшипник роликовый радиальный однорядный; 17 – Сальниковое уплотнение; 18 – шпонка вала