

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

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электромагнитный активатор для увеличения выхода светлых из продуктов переработки</b>

УДК 665.6.097.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Данекер В.А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютеева П.В.	к.т.н.		

Томск – 2020г.

## 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные</i>	
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

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

---

Школа ИШЭ

Направление подготовки - 13.03. 02 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
Доцент ОЭЭ ИШЭ Тютеева П.В.

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата)  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы	7.06.2020г
---------------------	------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович

Тема работы:

<b>Электромагнитный активатор для увеличения выхода светлых из продуктов переработки</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

7.06.2020г
------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	Объект разработки: электромагнитный активатор для увеличения выхода светлых из продуктов переработки нефти. Напряжения сети электропитания: 3-фазн.. 220/380 В, 50 Гц.
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>1. Изучение существующих технологий для обработки нефтяных остатков 2. Разработка виброактиватора для увеличения выхода светлых из продуктов переработки 3. Разработка математической модели ВСМА 4. Анализ режимов работы модуля ВСМА 5. Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1. Эскиз активатора ВСМА 2. Лист магнитопровода 3. Активатор</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Подопригора Игнат Валерьевич</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭЭ ИШЭ</p>	<p>Данекер В.А.</p>	<p>к.т.н.</p>	<p></p>	<p>29.02.2020</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5А6К</p>	<p>Лисовский В.И.</p>	<p></p>	<p>29.02.2020</p>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>27,1% отчисления на социальные нужды</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: •Материальные затраты НИ •Основная заработная плата исполнителей темы •Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) •Накладные расходы</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

**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	Подопригора И.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<b>Электромагнитный активатор для увеличения выхода светлых из продукта переработки нефти</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Территория нефтеперерабатывающего завода с главным объектом рассмотрения исследования – электропривод установки вибромагнитной обработки нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) 2. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации, отклонение параметров микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Вредные выбросы в атмосферу, гидросферу
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС – пожары, разрушение зданий и сооружений, аварии на электроэнергетических системах; Наиболее вероятное ЧС в здании в момент рабочего процесса – пожар.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Лисовский Вячеслав Иосифович		

## Оглавление

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	11
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	12
1 Аналитический обзор имеющихся технологий для обработки нефтяных остатков. ....	14
1.1 Технологии переработки за счет волновых воздействий на сырье .....	14
1.1.1 Кавитационные технологии .....	14
1.1.2 Технология воздействия на сырье с помощи ультразвука .....	15
1.1.3 Комбинированная обработка .....	16
1.2 Технология виброструйной магнитной активации жидкостей (ВСМА) .....	17
1.2.1 Влияние технологии ВСМА на фракционный состав нефти .....	18
1.2.2 Виброструйная обработка мазута для увеличения выхода «светлых» .....	21
<b>2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОДА СВЕТЛЫХ</b> .....	23
2.1 Мини– НПЗ в Томской области .....	26
2.2 Производительность активации ЖС .....	26
2.3 Конструирование и расчет параметров электромагнита .....	27
2.4 Расчет обмоточных данных модуля ВСМА .....	30
2.5 Конструирование пружинного подвеса модуля ВСМА .....	32
<b>3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА</b> .....	36
3.1 Электрическая схема замещения контуров установки .....	36
3.2 Механический контур модуля ВСМА .....	40
3.3 Система дифференциальных уравнений модуля виброобработки .....	42
3.4 Алгоритм расчета системы дифференциальных уравнений .....	43
<b>4 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ</b> .....	45
4.1 Определение резонансной частоты при колебаниях, не превышающих начальный зазор .....	45

4.2 Анализ режимов работы с повышенным значением вязкости.....	47
4.3 Анализ режимов работы с пониженным значением вязкости .....	48
<b>5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ .....</b>	<b>51</b>
5.1 Конструкции устройства.....	51
5.2 Схема подключения.....	52
5.3 Выбор преобразователя частоты .....	53
5.4 Выбор диода .....	54
5.5 Выбор автоматического выключателя.....	54
5.6 Выбор кабеля сети .....	55
<b>6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>	<b>57</b>
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	57
6.2 Планирование научно– исследовательских работ.....	59
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	59
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	60
6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	61
6.3 Бюджет научно–технического исследования.....	65
6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	65
6.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	66
6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
6.3.4 Накладные расходы .....	69
6.3.5 Формирование сметы технического проекта .....	70
6.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта.....	71
<b>7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>73</b>
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
7.2 Производственная безопасность .....	76

7.3 Экологическая безопасность.....	81
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	82
Выводы по разделу .....	83
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>85</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>86</b>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит страниц 87, таблиц 20, рисунков 19, источников 19.

Ключевые слова: активатор, вязкость, резонанс, перегонка, нефтепродукт.

**Цель работы:** разработка устройства активации для переработки мазута.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать объект (мини НПЗ), на котором будет использоваться устройство активации вторичного продукта.
2. Разработать конструкцию установки для активации мазута.
3. Разработать математическую модель установки
4. Провести расчёты режимов работы установки и дать практические рекомендации по эксплуатации.

На основе математической модели с помощью MathCad 15 произведены расчеты режимов работы электропривода для переработки мазута, на базе которых разработаны практические рекомендации для условий её эксплуатации.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Для нефтеперерабатывающего комплекса актуальны проблемы повышения эффективности технологий подготовки и переработки нефти, увеличения выхода светлых нефтепродуктов и получения более качественных видов продукции при минимальных затратах.

На крупных и широкопрофильных заводах по переработке нефти, имеющих достаточно высокую производительность, как правило, включаются в поточную нефтезаводскую схему основные процессы: каталитический крекинг, риформинг, висбрекинг, гидрокрекинг, замедленное коксование. В последние годы в рамках реализации программ реконструкции, модернизации и совершенствования действующих производств дополнительно вводятся современные и перспективные гидрогенизационные процессы, протекающие в присутствии водорода – гидропиролиз, гидровисбрекинг, гидрооблагораживание и гидрообессеривание, гидроконверсия. Значимость начинают приобретать термодеструктивные процессы – термолиз и термоконденсация, динакрекинг и донорно-сольвентный крекинг, флюидкокинг, флексикокинг и газификация. На установках перечисленных процессов открывается возможность перерабатывать практически любой вид остаточного нефтяного сырья, ранее не перерабатываемого с достаточно высокой глубиной.

Переработка нефти на мини-заводах с включением в их состав подобных процессов с точки зрения углубления переработки не всегда является рентабельной и целесообразной.

При проведении процессов первичной, вторичной и углубленной переработки нефтяного сырья особый научно-практический интерес представляет нетрадиционный подход, открывающий возможности и позволяющий увеличить отбор светлых дистиллятов и снизить выход тяжелых нефтяных кубовых остатков.

Первичная атмосферная перегонка нефти на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) дает лишь прямогонные бензиновые, лигроино-керосиновые и

дизельные фракции, которые не предназначены для розничной продажи, т.е. не являются товарными нефтепродуктами, и подлежат обязательной дальнейшей вторичной переработке. По этой причине возникает острый дефицит вторичных мощностей, а их загрузка составляет почти 100 %. Недостаточная глубина переработки нефтяного сырья ведет к тому, что в нашей стране выпускаются нефтепродукты неудовлетворительного качества, значительная часть которых, являясь основным объемом продукции первичной перегонки, уходит на экспорт в качестве полуфабрикатов по сниженным ценам.

Недостаточная глубина переработки нефтяного сырья ведет к тому, что в нашей стране выпускаются нефтепродукты неудовлетворительного качества, значительная часть которых, являясь основным объемом продукции первичной перегонки, уходит на экспорт в качестве полуфабрикатов по сниженным ценам. При этом, безусловно, должен достигаться немаловажный показатель по снижению объема получения остаточных нефтепродуктов – мазута и гудрона. Рост глубины переработки нефти даже на несколько процентов позволит России ежегодно экономить десятки миллионов тонн нефти и значительно сокращать объемы остаточных нефтепродуктов.

## **1 Аналитический обзор имеющихся технологий для обработки нефтяных остатков.**

### **1.1 Технологии переработки за счет волновых воздействий на сырье**

#### **1.1.1 Кавитационные технологии**

В последние годы при перегонке нефти широкое применение приобрел способ, основанный на кавитационной обработке.

Кавитация – это образование разрывов сплошности жидкости в результате местного спада давления. Если снижение давления происходит вследствие больших локальных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация считается гидродинамической, а если вследствие прохождения в жидкости акустических волн, – акустической [1].

Эффект кавитации сопровождается микровзрывами, ультразвуком, а также механическими срезами и соударениями при воздействии сотен режущих пар, двигающихся навстречу друг другу с высокой линейной скоростью. Величина этой скорости составляет несколько десятков метров в секунду, что дает возможность разрезать диспергируемые вещества на мельчайшие микрочастицы. Фактически это микроимпульсы. За одну минуту возникают сотни тысяч микроимпульсов.

Кавитационная обработка позволяет увеличить выход фракций при одинаковой температуре отгона.

Отсюда можно сделать вывод, что гидродинамика и создаваемые ею ультразвуковые колебания ускоряют диффузию нефти в полости парафина, интенсифицируют процесс его разрушения. Ускорение растворения парафина идёт за счёт интенсификации перемешивания нефти на границе нефть-парафин и действия импульсов давления, которые как бы разбрызгивают частицы парафина

### **1.1.2 Технология воздействия на сырье с помощи ультразвука**

Перспективным направлением является использование акустического воздействия для переработки нефтяных остатков, таких как мазуты и гудроны. При этом происходит увеличение содержания дистиллятных фракций выкипающих до 350°C и 500°C. Увеличение содержания дистиллятных фракций достигает 10 % для фракции 350 °С и 14 % для фракции н.к. – 500 °С. В результате ультразвуковой обработки происходит изменение состава нефтяного остатка, в частности, увеличивается содержание асфальтенов снижается содержание парафино-нафтеновых углеводородов [2].

Как известно, глубокая переработка нефти осложняется высоким содержанием асфальто-смолистых веществ. При наложении на систему ультразвуковых колебаний было установлено резкое снижение содержания смолистых веществ.

Результаты обработки постоянным магнитным полем грозненских нефтей и тяжелых нефтяных остатков с последующим исследованием процессов подготовки и первичной переработки активированных видов сырья. Обработка нефтяного сырья постоянным магнитным полем позволяет повысить эффективность процессов обессоливания и обезвоживания продукции скважин, интенсифицировать и увеличивать выход светлых нефтепродуктов в процессе первичной атмосферной перегонки. Предварительная обработка мазута как остатка первичной атмосферной переработки нефти в магнитном поле приводит к увеличению выхода светлых и среднедистиллятных фракций до 6 % об., а в условиях равного отбора фракций температурный режим процесса перегонки снижается на 5-25 °С [3].

### **1.1.3 Комбинированная обработка**

Известно техническое решение, предназначенное для обработки мазута, нефти и отработанных масел. Решение касается способа комбинированной обработки нефтесодержащего сырья, включающего волновое воздействие, крекинг и выделение конечных продуктов. При этом перед подачей сырья в зону волнового воздействия его подвергают гидродинамической обработке с вакуумной отгонкой легких фракций и остатка отгонки с возвращением остатка отгонки на гидродинамическую обработку. Обработку волновым воздействием совмещают с гидрокаталитическим крекингом, с последующим отделением газовой фазы и фракционированием оставшейся жидкой фазы. Выделенные дистиллятные фракции смешиваются с остатками фракционирования или потоком исходного сырья на входе в зону волнового воздействия. Другую часть направляют в зону вакуумно-плазменной обработки с последующим отделением газовых и конденсируемых фракций, а также остатка и смешением части конденсируемых фракций с потоком нефтепродуктов на входе в зону волнового воздействия. Для интенсификации деструктивных процессов используют активирующие вещества. В результате достигается регулирование и оптимизация выходных характеристик продуктов переработки сырья различного типа [4].

Предлагаемый способ комбинированной обработки нефтесодержащего сырья осуществляется на указанной установке следующим образом. Сырье из емкости поступает по магистрали в гидродинамическое устройство. Затем поток сырья пропускают по магистралям и через вакуумную колонну. Прогрев сырья до заданной температуры, в него вводят с помощью устройства активирующее вещество. После начала отгонки легких (бензиновокеросиновых) фракций, поступающих в емкость, часть нефтепродуктов направляют по магистрали по входную часть реактора крекинга, при этом расход по магистрали поддерживают ниже расхода по магистралям. Нефтепродукты из входной части реактора перемещаются в

выходную часть, проходя последовательно зоны преимущественной обработки ультразвуком и гидрокаталитической обработки. В нижнюю часть реактора устройством вводят водород (водородосодержащие газы), а устройства могут быть использованы для подачи водомаслорастворимых катализаторов и/или активирующих веществ. Продукты обработки из выходной части реактора через магистраль поступают в сепаратор, где осуществляется отделение газовой фазы от жидкой. Газообразные вещества (водород, метан) отводятся по вакуумной магистрали, жидкие продукты обработки поступают по магистрали в ректификационную колонну.

Как следует из описания работы установки, она обладает широкими функциональными возможностями, определяемыми сочетанием различных физико-химических факторов воздействия при обработке нефтепродуктов, поведением обработки в несколько стадий, введением функциональных (обратных) регулируемых связей между стадиями и процесса. Эти возможности позволяют регулировать и оптимизировать процессы комбинированной обработки на одной установке нефтесодержащего сырья различного типа, например тяжелая нефть, газойли, мазут с обеспечением высокой глубины переработки (от 85 до 95 мас.%) и повышением выхода светлых фракций.

## **1.2 Технология виброструйной магнитной активации жидкостей (ВСМА)**

Одним из способов является комплексное воздействие на нефть и нефтяные фракции с помощью физических полей и устройства, реализующего этот способ.

Технология ВСМА – это запатентованный способ многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные жидкие системы, применяемый для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров. Технология ВСМА обеспечивает: диспергацию дисперсных составов на микронном уровне, высокоэффективное и производительное

получение или разрушение устойчивых надмолекулярных структур различных жидких систем, интенсификацию массообменных процессов [5].

Технология ВСМА реализуется устройствами ВСМА модульного типа, распределяемыми по всему объему обрабатываемой жидкой среды.

### **1.2.1 Влияние технологии ВСМА на фракционный состав нефти**

Представленный способ воздействия на нефть и нефтепродукты комплексом физических полей. Проведенные исследования показывают, что виброструйная магнитная активация нефти изменяет фракционный состав нефти, изменяются температура застывания и температура начала кипения. Увеличение объема конденсата напрямую зависит от количества энергии физических полей, переданной нефти, а удельная энергоемкость процесса зависит от физикохимических свойств и от группового состава нефти [6].

В процессе виброструйной обработки механических воздействий разрушает надмолекулярную структуру нефти, а мощное импульсное электромагнитное поле сообщает частицам нефти кинетическую и потенциальную энергию и переводит их в возбужденное метастабильное состояние. Высокая скорость сдвига потока нефти через магнитный поток, высокие удельные магнитные параметры магнитной системы позволяют влиять на среду с высокими энергиями. Колебательная система настраивается на резонансную частоту, равную частоте электрической сети 50 Гц.

С точки зрения теории колебаний данная колебательная система состоит из элементов конструкции (якорь, упругий элемент) и элементов нагрузки, которой является жидкая среда. К элементам нагрузки относят: присоединенную массу среды, которая колеблется в фазе с якорем и зависит от плотности жидкости; упругости неньютоновских жидкостей при малых значениях сдвиговых скоростей складываются с упругостями вибратора, изменяя резонансную частоту системы. При больших сдвиговых скоростях

структура жидкости, определяющая ее упругость нарушается и эффективная вязкость жидкости снижается.

В основу устройства положен принцип резонанса. Амплитуды и резонансные частоты зависят от плотности и вязкости среды, поэтому и частотные характеристики существенно отличаются. Поэтому задача создания эффективных устройств ВСМА заключается в корректном подборе активных конструктивных элементов вибратора: массы и габаритов активатора, геометрии зоны активации; жесткости подвеса активатора, в совокупности обеспечивающих работу с максимальными амплитудами активатора.

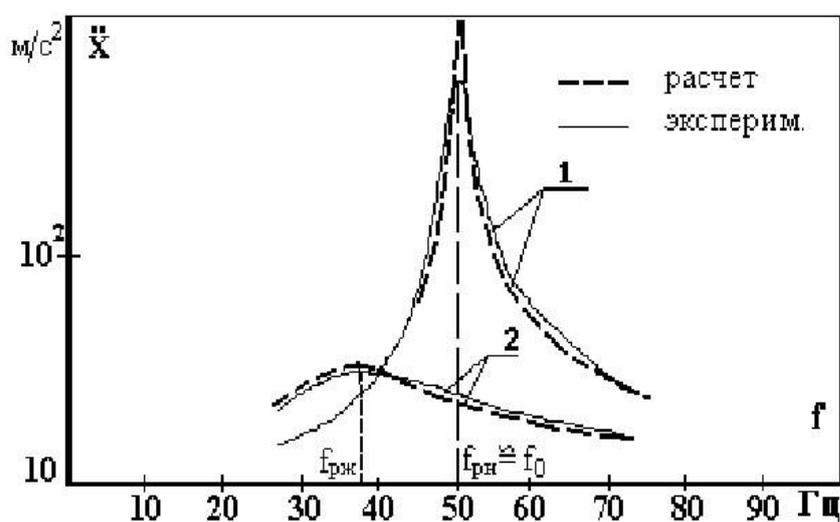


Рисунок 1– Частотные характеристики колебания активатора.

1 – частотная характеристика колебаний активатора на воздухе.

2 – частотная характеристика колебаний активатора в жидкости.

Образцы оборудования ВСМА имеются. Оно обладает определёнными преимуществами. Однако стоит задача увеличения производительности обработки. Производительность зависит от расхода обрабатываемой жидкости, который в свою очередь зависит от амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний активатора в жидкости во многом определяется величиной гидравлического сопротивления, которое для рассматриваемого случая зависит от формы и размеров сопла активатора. Поэтому в работе предлагается исследовать зависимость производительности

активации устройств ВСМА в зависимости от формы сопла. В существующих образцах оборудования ВСМА форма сопла, определяющего струеобразование, является трапециидальной. Очевидно, что в местах переходов трапециидальной формы сопла, возникает турбулизация потока жидкости, что сказывается на увеличении гидравлического сопротивления. Увеличение гидравлического сопротивления приводит к уменьшению амплитуды колебания активатора и, соответственно, к уменьшению производительности обработки. Из источников известно, что для уменьшения гидравлического сопротивления при протекании жидкости через сопло рекомендуется использовать сопла лавая или вентури. Указанные сопла характеризуются плавными переходами отдельных участков, что существенно уменьшает гидравлического сопротивления течения жидкости.

Следовательно, преимущества оборудования и технологии ВСМА, приведённые выше, обусловленные наличием высоких удельных характеристик физических воздействий на обрабатываемую среду, могут устранить недостатки существующих устройств и методов.

Необходимая производительность предлагаемых устройств ВСМА, задаваемая конкретными требованиями эксплуатации, может быть достигнута выполнением готового устройства, состоящего из нескольких модулей, каждый из которых обеспечивает свою равную долю производительности. Зная общие требования по обеспечению производительности готового устройства и показатели производительности отдельного модуля, можно определить необходимое количество таких модулей, объединённых в единую конструкцию.

Существенным отличием устройств ВСМА является работа в режимах близких к резонансу. Такой режим работы устройств ВСМА обеспечивает максимальные удельные показатели по производительности обработки при минимальных затратах электроэнергии. Практические параметры обрабатываемых жидкостей, учитывая их изменяющийся компонентный состав, не являются постоянными. Тогда для обеспечения работы устройств

ВСМА в режимах, близких к резонансу, необходимо предусматривать возможность регулирования частоты воздействий. Для электромагнитных устройств, каковым и являются устройства ВСМА, это реализуется использованием частотных преобразователей.

### **1.2.2 Виброструйная обработка мазута для увеличения выхода «светлых».**

Предварительные исследования влияния виброструйной магнитной активации на нефтепродукты (товарный мазут Ачинского НПЗ) демонстрируют большие возможности повышения глубины переработки нефти достаточно простым и дешевым способом. После виброструйной обработки мазута при температуре 20°С обнаружены изменения значений температур начала кипения и вспышки. У обработанного мазута увеличился выход «светлых» в диапазоне температур до 300° С.

Исходный мазут

температура вспышки – 183 °С;

- температура начала кипения – 197 °С;
- выход «светлых» – 4 %.

Обработанный мазут:

- температура вспышки – 168 °С;
- температура начала кипения – 118 °С ;
- выход «светлых» – 10 %

Фракционный состав определялся посредством атмосферной разгонки мазута по истечении трех недель после виброструйной магнитной активации (время обработки – 8 мин). Затраты энергии на вибрационную обработку мазута составляли 1,0-1,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Представленный материал наглядно показывает, что технология ВСМА существенно изменяет температуру застывания и температуру кипения высоковязких нефтепродуктов. При виброструйной магнитной активации разнообразные высокомолекулярные соединения различного строения

превращаются в нормальные низкокипящие и низкоплавкие парафины, которые могут служить базовыми фракциями для выработки бензинов и дизельного топлива.

## 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОДА СЕТЕВЫХ ФРАКЦИЙ.

Из опыта разработок устройств ВСМА следует, что наиболее целесообразным при разработке конструкции устройства для обработки отходов для увеличения выхода светлых фракций является модульный подход, позволяющий оптимально решить поставленные в работе задачи: обеспечить требуемую производительность при заданных габаритах. Дополнительно, решается задача обеспечения высокой работоспособности и надёжности [7].

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью системы для обработки отходов и осуществляет непосредственное виброударное магнитное воздействие на среду. Общие принципы построения МВО иллюстрируются рисунком 2.

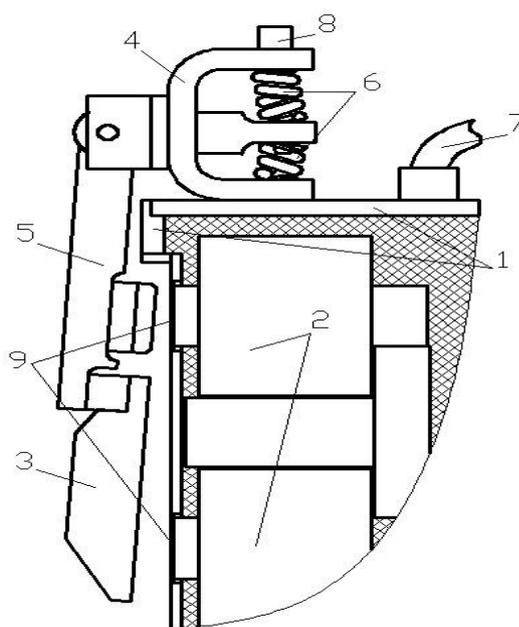


Рисунок 2 – Конструкция МВО

где: 1-корпус, 2-электромагнит, 3-активатор, 4-кронштейн, 5-рычаг, 6-упругость (пружина), 7-устройство ввода, 8- регулирующий винт, 9-стенка МВО

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в объёме, изолированном от воздействия среды обработки и поэтому он должен быть герметичным. Пространство корпуса, не занятое

электромагнитом, заливается компаундом, для обеспечения лучшего теплоотвода с обмоток и магнитопровода. Электромагнит 2 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жёстко связан с корпусом, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор 3, являющийся якорем электромагнита. Сердечник электромагнита выполнен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки. Активатор выполнен из цельной заготовки. Активатор может быть выполнен круглой или квадратной формы. В теле активатора выполнено специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор 3 закреплён на длинном плече рычага 5. Крепление подвижных элементов МВО к корпусу производится при помощи кронштейна 4. Возвращающую силу колебательной системы МВО формируют упругости 6, представляющие из себя цилиндрические пружины. Регулировочный винт 8 предназначен для регулировки начального зазора между активатором и стенкой корпуса МВО.

МВО, представляющий собой колебательную систему, работает в резонансном режиме, который позволяет при минимальных энергозатратах оказывать максимальное комплексное виброструйное магнитное воздействие на продукты отходов. Объясняется это тем, что в резонансе амплитуда колебаний активатора является максимальной. Резонансный режим обеспечивается соответствующим сочетанием массы колеблющихся элементов и жёсткости. Исходными данными для определения значения жёсткости пружин является масса активатора.

При работе МВО на воздухе можно предположить, что данный режим соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери в системе практически отсутствуют. В этом случае, если известны частота колебаний и масса активатора, то можно расчётным путём определить жёсткость.

По опыту разработки и использования устройств ВСМА для большинства исполнений электромагнитного преобразователя (ЭМП) установлено, что частота собственных колебаний должна находиться в пределах, от 60 до 70 Гц. Масса активатора определяется из выбранных его геометрических размеров.

Образование затопленных струй при работе МВО происходит следующим образом. При подаче напряжения на МВО по обмоткам магнитопровода протекает ток, создающий электромагнитную силу притяжения активатора к полюсам стержней магитопровода. Активатор при этом движется в сторону стенки МВО. Жидкость, находящаяся в пространстве между основанием активатора и стенкой МВО выдавливается через отверстие в активаторе, образуя пульсирующую затопленную струю жидкости. При этом пружина сжимается, запасая кинетическую энергию. При снятии напряжения с обмоток электромагнитная сила притяжения становится равной нулю и за счёт кинетической энергии, запасённой в пружине, активатор начинает двигаться в обратном направлении - от стенки МВО. При питании обмоток напряжением переменной частоты и использовании диода активатор совершает гармонические колебания, частотой, равной частоте питающего напряжения.

Важным моментом при настройке работы МВО является обеспечение колебаний активатора в пределах вставленного начального зазора между активатором и стенкой МВО. При недостаточной амплитуде колебаний активатора количество жидкости, образующей поток, не будет соответствовать максимально возможной. При амплитуде колебаний активатора больше, чем выставленный начальный зазор, активатор будет стучать по стенке МВО, что может привести к её разрушению и нарушению герметичности корпуса.

## 2.1 Мини–НПЗ в Томской области

В качестве объекта для разработки устройства ВСМА выбираем мини-НПЗ, расположенный в Томской области, который находится 20 км от Томска у п. Семилужки. Проектная мощность предприятия составляет 200 тысяч тонн по сырью, а в сутки это примерно около 500 м<sup>3</sup>/сутки. Из этого объёма 40% (200 м.куб/сутки) перерабатывается в светлые фракции. Остальные 300 м.куб/сутки это мазут, который должен подвергаться вторичной обработке для получения из него ещё до 15 % светлых.

## 2.2 Производительность активации ЖС

Так как, рассматривается конкретный мини – НПЗ, то есть конкретное значение количества перерабатываемой нефти в сутки. Активацию нефти будем производить в одном из вертикально стального резервуара, следовательно, для расчета будем использовать емкость в 300 м<sup>3</sup>. Нужно рассчитать производительность активаторов, которая показывает объем жидкости, обработанный активатором. Исходя из этого, рассчитаем значение заданной производительности активации нефти.

$$Q_{\Sigma} = \frac{300}{24} = 12,5 \frac{м^3}{час}.$$

С учетом колебательного движения активатора устройства ВСМА объем ЖС, выталкиваемый из-под активатора через специальные отверстия в нем за один час, определяется выражением

$$Q = 2 \cdot S_{захв} \cdot X_0 \cdot f \cdot 3600 = 16,96 м^3 / час$$

где  $S_{захв}$  – площадь захвата, являющаяся частью площади основания

активатора  $f$  – частота колебаний активатора, Гц;  $X_0$  – амплитуда колебаний активатора, м.

Амплитуда колебаний выбирается исходя из соображений, полученных опытным путем. Главная мысль полученных результатов заключается в том, что максимальная производительность достигается при

максимально возможной амплитуде колебаний, что соответствует величине начального зазора (и является значением зазора), таким образом, принимаем

$$X_0 = \delta_0 = 0,006 \text{ м}$$

Площадь захвата  $S_{захв}$  рассчитывается по формуле

$$S_{захв} = k \cdot S_{осн} = 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,0078 \text{ м}^2$$

где  $S_{осн}$  – площадь основания активатора,  $\text{м}^2$ ;  $k$  – коэффициент захвата.

На предварительном этапе расчета производительности активации модуля ВСМА частоту колебаний активатора принимаем равно частоте напряжения промышленной сети - 50 Гц.

Количество попаданий одной порции ЖС в зону активации, выбираем значение  $Z$  для мазуты равное 10.

Минимальное расчетное значение расхода производительности активации одним активатором с учетом значения  $Z$

$$Q_p = \frac{Q}{Z} = \frac{16,96}{10} = 1,696 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Расчётное количество единичных модулей необходимых для обеспечения производительности установки

$$K = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_p} = \frac{12,5}{1,696} = 7,37$$

Принимаем количество активатора  $K=8$  шт.

### 2.3 Конструирование и расчет параметров электромагнита

Основным параметром, определяющим эффективность работы устройств ВСМА является размер активатора. При определении размеров активатора необходимо учитывать то обстоятельство, что при больших габаритах активатора соответственно будет расти и его масса. Для обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА при большой массе активатора потребуется обеспечивать и соответствующее большое значение жёсткости пружинного подвеса. Высокие значений жёсткости

могут сказаться на увеличении габаритов узла подвеса активатора, что не всегда является приемлемым.

Чтобы задать наружный диаметр активатора  $D_{на}$  нужно учитывать определённые условия: из практики эксплуатации устройств ВСМА имеются рекомендации по выбору размеров активатора, которые сводятся к следующему: для жидких систем со значениями низкой вязкости и плотности не более  $1000 \text{ кг/м}^3$  выбирается диаметр активатора  $250 \text{ мм}$ ; для жидких систем со средними значениями вязкости и плотностью до  $2000 \text{ кг/м}^3$  выбирается активатор диаметром не более  $150 \text{ мм}$ ; для высоковязких жидких систем с плотностью более  $2000 \text{ кг/м}^3$  выбирается диаметр  $90\text{-}100 \text{ мм}$ .

Так как рассматриваются высоковязкие жидкие системы, то выбираем активатор диаметром равным  $100 \text{ мм}$ . На рисунке 3 проиллюстрирован общий вид магнитопровода и активатора для определения размеров.

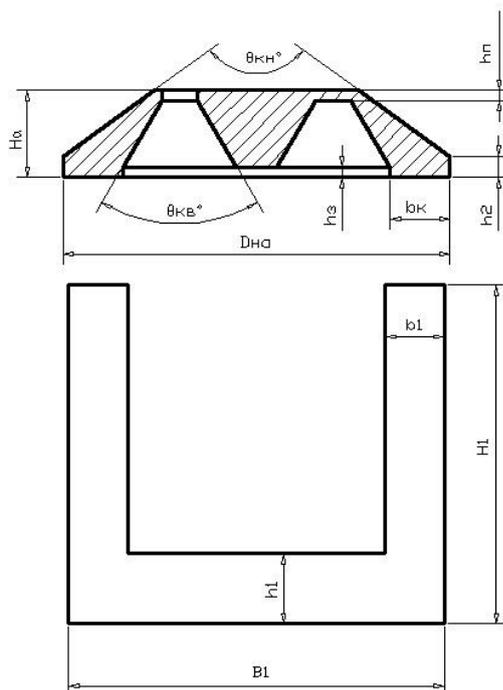


Рисунок 3 – Общий вид магнитопровода

Основные соотношения размеров активатора и магнитопровода, рекомендуемые для устройств ВСМА, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры электромагнита

Размер активатора, индуктора	Рекомендованные соотношения
Наружный диаметр активатора, $D_{на}$	$D_{на}$ выбирается, исходя из реологических свойств ЖС
Высота активатора, $H_a$	$H_a = (0,19 \div 0,21) D_{на}$
Длина ярма индуктора, $B1$	$B1 = (0,95 \div 1,0) D_{на}$
Ширина полюсного наконечника индуктора, $b1$	$b1 = (0,15 \div 0,2) B1$
Длина полюсного наконечника индуктора, $A1$	$A1 = (0,3 \div 0,4) B1$
Ширина кольцевой части активатора $b_k$	$b_k = (1,0 \div 1,1) b1$
Высота стержня индуктора, $H1$	$H1 = (1,0 \div 1,1) B1$
Высота ярма индуктора, $h1$	$h1 = (1,3 \div 1,5) b1$

Основываясь на указанных рекомендациях, произведем расчет размеров активатора и электромагнита.

Расчет осуществляется на основе ранее выбранного значения диаметра активатора

$$D_{на} = 0,1 м$$

Высота активатора

$$H_a = 0,2 \cdot D_{на} = 0,2 \cdot 0,1 = 0,02 м$$

Длина ярма сердечника

$$B1 = 0,95 \cdot D_{на} = 0,95 \cdot 0,15 = 0,095 м$$

Ширина полюсного наконечника сердечника

$$b1 = 0,18 \cdot B1 = 0,18 \cdot 0,1 = 0,018 м$$

Выбираем  $b1 = 0,02 м$

Ширина кольцевой части основания активатора

$$b_k = 1,05 \cdot b1 = 1,05 \cdot 0,02 = 0,021 м$$

Принимаем  $b_k = 0,021 м$

Длина полюсного наконечника сердечника

$$A1 = 0,35 \cdot B1 = 0,35 \cdot 0,1 = 0,035 м$$

Принимаем  $A1 = 0,04 м$

Высота стержня сердечника

$$H1 = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 м$$

Принимаем  $H1 = 0,1 м$

Высота ярма сердечника

$$h1 = 1,4 \cdot b1 = 1,4 \cdot 0,02 = 0,028$$

Принимаем  $h1 = 0,03 м$

Из полученных расчетных и скорректированных данных создадим эскизы активатора и электромагнита, которые изображены на рисунке 4.

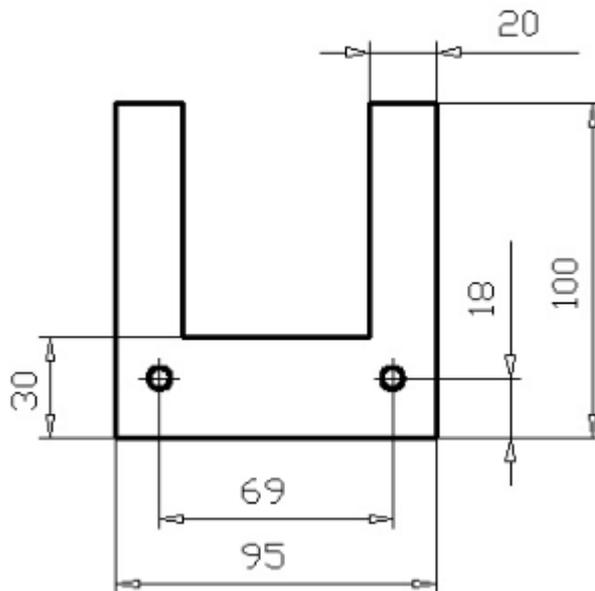


Рисунок 4 – Эскиз активатора

#### 2.4 Расчет обмоточных данных модуля ВСМА

Расчёт обмоточных данных электромагнита модуля ВСМА сводится к выбору диаметра обмоточного провода, определению числа витков в каждой из катушек, длины обмоточного провода и вычислению их активных и индуктивных сопротивлений. Общий вид сердечника магнитопровода модуля ВСМА с обмотками приведен на рисунке 5.

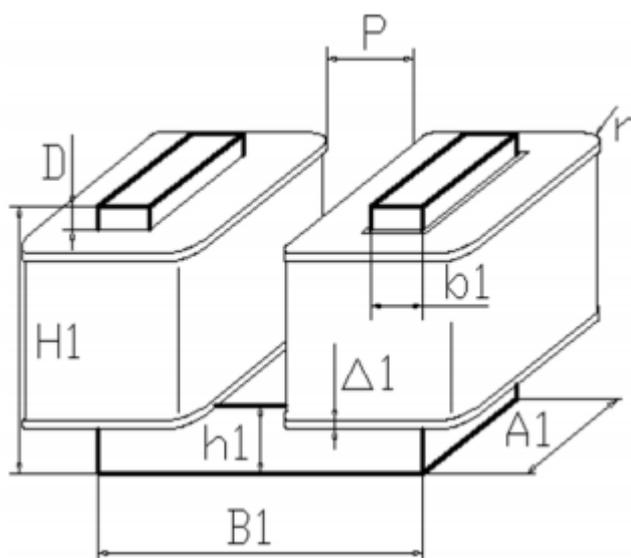


Рисунок 5 – Общий вид сердечника модуля ВСМА

При расчете обмоток следует иметь в виду, что с учетом особенностей эксплуатации устройств ВСМА допустимое значение плотности тока в обмотках должно составлять не более  $2,4 \text{ А/мм}^2$ . Используя данное значение допустимой плотности тока и на поперечное сечение обмоточного провода, всегда можно определить допустимое значение тока в обмотках устройства ВСМА. Обмотки электромагнита рекомендуется выполнять из медного обмоточного провода в эмалевой изоляции [8], выдерживающей нагрев не ниже  $140^\circ\text{C}$ . Намотка обмоток производится рядовым способом виток к витку в автоматизированном или ручном режимах. Обмотки электромагнита модуля ВСМА можно соединять последовательно или параллельно. Определяющим при этом является то обстоятельство, что магнитные потоки, формируемые обмотками, должны быть направлены в одну сторону и, соответственно, суммироваться.

На основании этих рекомендаций произведем расчет параметров обмоток магнитопровода.

Площадь сечения окна для размещения обмоток

$$S_{\text{окн}} = (B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P_{\text{об}}) \cdot (H1 - h1 - 2\Delta1 - D) = 3,038 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Расчетное количество витков в обмотке магнитопровода

$$K = \frac{S_{\text{окн}} \cdot k_{\text{зан}}}{S_{\text{пр}}}$$

Принимаем коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода обмоточным проводом  $k_{зан} = 0,55$ . Выбираем обмоточный провод марки ПЭТВ диаметром жилы  $d_{np} = 1,5 \text{ мм}$  и диаметром провода в изоляции  $d_{np.u} = 1,59 \text{ мм}$ .

$$K = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 0,55}{\pi \cdot 1,59^2} = 420$$

Принимаем  $K = 400$

Расчетная толщина обмотки

$$Q = \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P_{об}}{2} = 0,0245 \text{ м}$$

Расчетное количество слоев обмотки:

$$N_{сл.об.p} = \frac{Q}{d_{np.u}} = 15,41$$

Принимаем  $N_{сл.об.p} = 15$

Расчетное количество рядов обмотки

$$N_{p.об.} = \frac{K}{N_{сл.об.}} = 26,66$$

Средний радиус закругления обмотки

$$R_{ск.p.} = \frac{(N_{сл.об.} + 1) \cdot d_{np.u}}{2} = 0,0127 \text{ м}$$

Расчетная длина среднего витка обмотки

$$L_{cp} = 2(b1 + A1 + 2\Delta1) + 2 \cdot \pi \cdot R_{ск.p.} = 0,2079 \text{ м}$$

Расчетная длина провода обмотки,

$$c = L_{cp} \cdot K = 83,16 \text{ м}$$

Принимаем  $L_{cp} = 83 \text{ м}$

## 2.5 Конструирование пружинного подвеса модуля ВСМА

Пружинный подвес активатора модуля ВСМА состоит из коромысла и пружин. Активатор закрепляется на длинном плече коромысла. Основной задачей конструирования пружинного подвеса является конструкции

пружин, обладающих конструкции пружин, обладающих жесткостью, обеспечивающей работу устройства ВСМА на частоте, равной резонансной.

Резонансная частота вынужденных колебаний активатора модуля ВСМА в среде ЖС находится в прямой зависимости от собственной частоты колебательной системы.

Чтобы рассчитать массу активатора нужно разбить его на составляющие объемные фигуры. На рисунке 6 представлен общий вид конструкции.

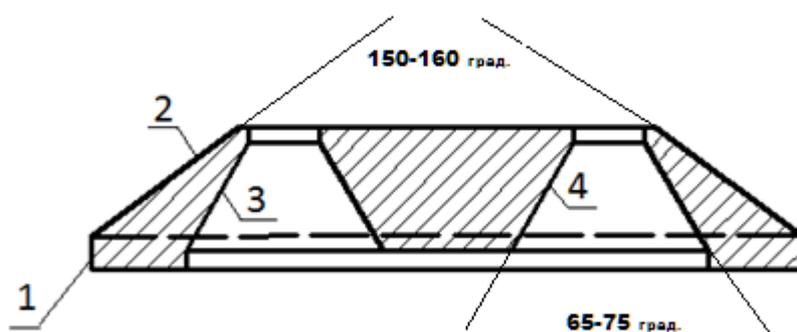


Рисунок 6 – Общий вид активатора

- 1- цилиндр основания активатора
- 2- усеченный конус, образованный наружной формой активатора
- 3- усеченный конус, образованный внешней образующей полости внутри активатора
- 4- усеченный конус, образованный внутренней образующей полости внутри активатора

Остальные размеры активатора принимаются из условий пропорциональности. Высота цилиндрической части 1 – 0,25 от толщины активатора.

Тогда объём материала активатора можно определить

$$V_{\text{общ}} = V1 + V2 - V3 + V4 ,$$

где:

V1 - объём цилиндра основания активатора

V2 - объём усечённого конуса, образованного наружной формой активатора

V3 - объём усечённого конуса, образованного внешней образующей полости внутри активатора

V4 - объём усечённого конуса, образованного внутренней образующей полости внутри активатора.

Объём цилиндра основания активатора

$$V_1 = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot h_3 = 3,14 \cdot \frac{150^2}{4} \cdot 8 = 1,414 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

Объём усеченного конуса

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (h_2 - h_3) \cdot \left[ \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 + \frac{(d_1 \cdot d_2)}{4} + \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot (35 - 8) \cdot \left[ \left( \frac{150}{2} \right)^2 + \left( \frac{150 \cdot 100}{4} \right) + \left( \frac{100}{2} \right)^2 \right] = 3,358 \cdot 10^5 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

Объём усеченного конуса, образованного внутренней образующей полости

$$\begin{aligned} V_4 &= \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_1 \cdot \left[ \left( \frac{d_4}{2} \right)^2 + \frac{(d_4 \cdot d_5)}{4} + \left( \frac{d_5}{2} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 31 \cdot \left[ \left( \frac{68}{2} \right)^2 + \left( \frac{68 \cdot 23}{4} \right) + \left( \frac{23}{2} \right)^2 \right] = 5451 \cdot 10^4 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

Объём усечённого конуса, образованного внешней образующей полости внутри активатора

$$V_3 = \pi \cdot \frac{(d_2)^2}{2} \cdot h_6 = 3,14 \cdot \frac{100^2}{2} \cdot 105 = 3,142 \cdot 10^4$$

Находим общий объём

$$V = 2,114 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Находим массу активатора

$$M_a = \rho \cdot V = 7800 \cdot 2,114 = 1,649 \text{ кг}$$

Присоединенная масса ЖС

$$M_{np} = \frac{8}{3} \rho_{жс} \cdot \left( \frac{D_{на}}{2} \right)^3 = \frac{8}{3} \cdot 2000 \cdot \left( \frac{0,1}{2} \right)^3 = 0,666 \text{ кг}$$

Общая масса подвижных частей механической части

$$M = M_a + M_{np} = 1,649 + 0,666 = 2,315 \text{ кг}$$

Расчетное значение жесткости пружинного подвеса активатора

$$q_{собст} = \omega_0^2 \cdot M_a$$

$\omega_0$  – угловая частота (для 50 Гц),  $M$  - масса активатора.

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 314,159$$

$$\text{Тогда } q_{собст} = 314,159^2 \cdot 1,649 = 162,75 \cdot 10^3 \frac{H}{м}$$

Расчетное значение собственной угловой частоты работы активатора модуля ВСМА при работе в жидкой среде

$$\omega_{0,жс} = \sqrt{\frac{q_{собст}}{M_a + M_{np}}} = \sqrt{\frac{162750}{2,315}} = 265,1 \text{ с}^{-1}$$

### **3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА**

В общем случае устройства ВСМА представляет собой электротехнические устройства, состоящие из электрических контуров и механической части отдельных модулей ВСМА. Функционирование каждой из указанных составных частей устройств ВСМА может быть описано соответствующими уравнениями. Системный анализ уравнений, описывающих работу каждого из контуров, позволяет моделировать режимы работы устройств ВСМА и на стадии проектирования определять основные рекомендации для условий их эксплуатации.

#### **3.1 Электрическая схема замещения контуров установки**

Электрическая схема модуля виброобработки (МВО) ВСМА состоит из главного и двух короткозамкнутых контуров. Главный электрический контур состоит из электромагнита, который в свою очередь состоит из индуктивности  $L1$  и  $L2$ , активных сопротивлений катушек  $R1$  и  $R2$  и диода  $VD$ . Энергия распространения колебаний в пространстве будет зависит от частоты возмущений. Чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии колебаний в среде. При работе на частоте 50 Гц возмущающая сила будет увеличена в 2 раза, т.е. 100 Гц. Диод  $VD$  обеспечивает частоту возмущающей силы 50 Гц при питающем напряжении с частотой 50 Гц.

Короткозамкнутый контур, создаваемый конструктивными элементами листов стенки корпуса МВО ВСМА, на схеме замещения представлен индуктивностью  $L_{кз}$  и активным сопротивлением  $R_{кз}$ .

Из-за идентичности к.з. контуров рассчитаем влияние только одного на катушки. Схема замещения представлена на рисунке 7.

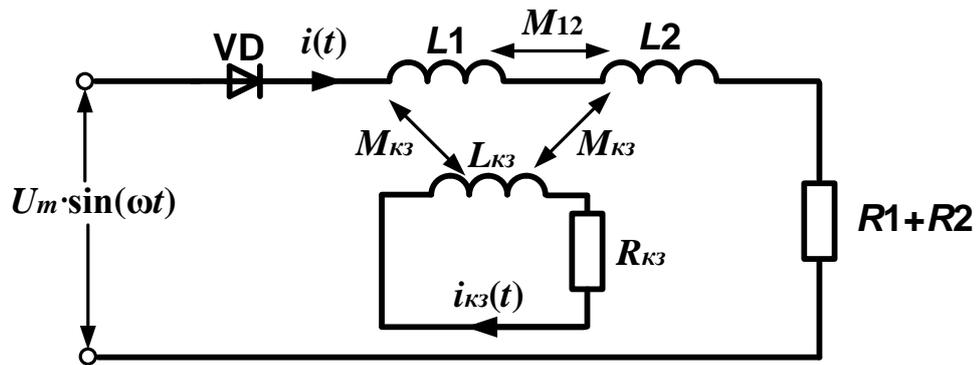


Рисунок 7– Схема замещения

В которой входят следующие элементы:

- $L_1, L_2$  – индуктивность катушек;
- $R_1, R_2$  – активные сопротивления катушек;
- $M_{12}$  – взаимная индуктивность между катушками;
- $L_{кз}, R_{кз}$  – индуктивность и активное сопротивление короткозамкнутого контура соответственно;
- $M_{кз}$  – взаимная индуктивность короткозамкнутого контура

Находим параметры электрической схемы замещения для начальных условий работы устройства.

Активное сопротивление обмотки

$$R_{об} = 4 \cdot \rho_m \cdot \frac{L_{np.об}}{\pi \cdot d_{np}^2} = 0,8236 \text{ Ом}$$

где  $\rho_m = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$  – удельное сопротивление меди

Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии

$$R_{об.гор} = R_{об} \cdot (1 + \tau_m \cdot \Delta T) = 1,0427$$

где  $\Delta T = 70^\circ\text{C}$  – перепад температуры в обмотке модуля ВСМА;

$\tau_m = 0,0038 \text{ C}^{-1}$  – температурный коэффициент удельного сопротивления меди.

Активное сопротивления катушек

$$R_1 = R_2 = R_K = R_{об.гор} = 1,0427 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление к.з. контура принимаем:

$$R_{кз} = \rho_{ст} \cdot \frac{\pi}{0,1 \cdot \tau_{кз}} \cdot 10^{-6} = 1,4923 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}$$

где  $\rho_{кз} = 4,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1}$  - проводимость короткозамкнутого витка;

$\tau_{кз} = 0,001 \text{ м}$  – сечение короткозамкнутого витка.

Индуктивность обмотки:

$$L_{об} = \frac{W^2 \cdot \mu_{ст} \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{2,5(2\delta_0 \cdot \frac{\mu_{ст}}{10} + l_m + 10 \cdot Q)} = 0,0274 \text{ Гн}$$

где  $W=400$ – число витков катушки;

$l_m$  – длина средней линии магнитопровода;

$$l_m = 2(B1 - b1) + 2(H1 - \frac{h1}{2}) + \tau_{кз} + H_a = 0,331 \text{ м}$$

где  $\tau_{кз} = 0,001 \text{ мм}$  – толщина стенки корпуса модуля ВСМА

$S_{пол}$  – площадь поперечного сечения сердечника;

$$S_{пол} = A1 \cdot b1 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м.кв}$$

где  $\delta_0 = 0,006$  – величина воздушного зазора;

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$  – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{ст} \approx 500$  – относительная магнитная проницаемость стали;

Расчетное начальное значение взаимной индуктивности основных обмоток

$$M_{12} = \frac{W^2 \cdot \mu_{ст} \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{5(2\delta_0 \cdot \frac{\mu_{ст}}{10} + l_m + 10 \cdot Q)} = 0,0137 \text{ Гн}$$

Начальное значение индуктивности к.з контура

$$L_{к.з} = 2 \cdot \pi \cdot D_{кз} (\ln(\frac{8D_{кз}}{d_{кз}}) - 1,75) \cdot 10^{-7} = 1,0059 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

где  $d_{кз}$  – диаметр условного витка к.з. контура

$$d_{кз} = 2 \sqrt{\frac{h_{кз} (D_{кз} - A_1)}{\pi}} = 1,5683 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетное начальное значение взаимной индуктивности обмоток контра и  
 К.3.К

$$M_{K12} = \frac{W \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(\delta_0 + H1 - h1)} = 5,2926 \cdot 10^{-6}$$

Уравнение основного электрического контура имеет следующий вид:

$$U_m = \sin \omega t = i_k \cdot 2 \cdot R_k + \frac{d\psi_{\Sigma}}{dt}$$

$\psi_{\Sigma}$  – суммарное потокосцепление катушек L1, L2;

$i_k$  – ток протекающий в основном контуре;

$R_k$  – активное сопротивление основного контура;

$U_m$  – амплитуда питающего напряжения;

$\omega$  – угловая частота питающего напряжения

$\psi_{\Sigma}$  - суммарное потокосцепление, имеет вид

$$\psi_{\Sigma} = \psi_1 + \psi_2$$

$\psi_1$  – суммарное потокосцепление катушки **L1**, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимными индуктивными связями.

$\psi_2$  – суммарное потокосцепление катушки L2, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимными индуктивными связями.

$$\psi_1 = \psi_{соб.инд1} + \psi_{в.инд1} + \psi_{в.инд.К1}$$

где  $\psi_{соб.инд1} = i_k \cdot L_1$  – собственное потокосцепление катушки L1;

$\psi_{в.инд1} = i_k \cdot M_{12}$  – потокосцепление катушки L1 с катушкой L2;

$\psi_{в.инд.К1} = i_{кз} \cdot M_{1кз1}$  – потокосцепление с короткозамкнутым контуром.

$$\psi_2 = \psi_{соб.инд2} + \psi_{в.инд2} + \psi_{в.инд.К2}$$

где  $\psi_{соб.инд2} = i_k \cdot L_2$  – собственное потокосцепление катушки L1;

$\psi_{в.инд2} = i_k \cdot M_{12}$  – потокосцепление катушки L1 с катушкой L2;

$\psi_{в.инд.К2} = i_{кз} \cdot M_{1кз2}$  – взаимное потокосцепление с короткозамкнутым

контуром.

Отсюда

$$U_m = \sin \omega t = i_k \cdot 2 \cdot R_k + \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt}$$

Где потокосцепление  $\psi_1, \psi_2$  будут равны:

$$\frac{d\psi_1}{dt} = \frac{\psi_{\text{соб.инд}1}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд}1}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд.К1}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_1}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1кз1}}{dt}$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = \frac{\psi_{\text{соб.инд}2}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд}2}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд.К2}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_2}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1кз2}}{dt}$$

Тогда

$$U_m = \sin \omega t = i_k \cdot R_k + i_k \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right) + \frac{di_k}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1кз1} + M_{1кз2});$$

Упростим и сгруппируем однородные члены для составления уравнения основного контура

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{U_m + \sin(\omega t) - 2i_k \cdot R_k - i_k \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

$$0 = i_{кз} \cdot R_{кз} + \frac{d\psi_{кз}}{dt}$$

Где  $\psi_{кз}$  – потокосцепление короткозамкнутого контура, представляющий собой суммарный магнитный поток, сцепляющийся со всеми витками катушки индуктивности и взаимдуктивности короткозамкнутого контура.

Произведем для короткозамкнутого контура операции преобразования как для основного контура и получим окончательный вид:

$$\frac{i_{кз}}{dt} = \frac{-i_{кз} \cdot R_{кз} - i_{кз} \cdot \left( \frac{L_{кз}}{dt} + \frac{M_{кз1кз2}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right)}{L_{кз}}$$

### 3.2 Механический контур модуля ВСМА

Схема замещения механического контура, учитывающая массу колебательной системы, жёсткость пружины представлена на рисунке 8.

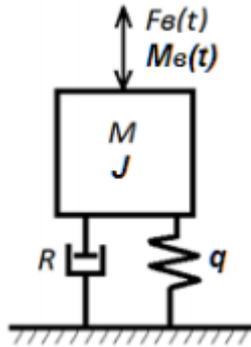


Рисунок 8 – Расчётная схема механической части модуля ВСМА

Общий вид дифференциального уравнения, описывающего колебания, для механической части модуля устройства преобразователя при линейных перемещениях активатора:

$$M \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + R_{\text{мех}} \cdot \frac{dx(t)}{dt} + q \cdot x(t) = F_в(t).$$

где  $M$  – масса колеблющихся элементов;  $R_{\text{мех}}$  – коэффициент механических потерь на вязкое трение;  $q$  – жёсткость пружинного подвеса,

$F_в(t)$  – возмущающая сила;  $x$  – смещение активатора.

Значение коэффициента потерь на вязкое трение при колебательном движении активатора можно определить по формуле:

$$R_{\text{мех}} = \sqrt{2 \cdot M^2 \cdot (\omega_{0ж}^2 - \omega_{рж}^2)} = \sqrt{2 \cdot 2.315^2 \cdot (265.1^2 - (-49.46)^2_{рж})} = 852,67 \text{ Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}$$

$$\text{где } \omega_{рж} = \omega_{0ж} - \Delta\omega = 265,1 - 314,159 = -49,46$$

где  $\Delta\omega$  – разность между резонансной и собственной угловыми частотами колебаний активатора в жидкости.

Общий вид дифференциального уравнения, описывающий колебания механической части модуля ВСМА.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F_в(t)}{m} - \frac{R_{\text{мех}}}{m} y - \frac{q_{\text{собст}} x}{m},$$

$$\frac{dx}{dt} = y$$

Таблица 2 – Постоянные коэффициенты системы дифференциальных уравнений

Параметр	Обозначение	Значение
Активное сопротивление обмоток электромагнита, Ом	R	1,0427
Активное сопротивление к.з.к, Ом	R <sub>кз</sub>	1,492·10 <sup>-9</sup>
Расчетное значение жесткости пружинного подвеса активатора Н/м	q <sub>собств</sub>	162,75
Масса подвижных элементов модуля ВСМА, кг	M	2,315
Коэффициент механических потерь, Н·с/м	R <sub>мех</sub>	852,67

### 3.3 Система дифференциальных уравнений модуля виброобработки

Полная система после преобразований и упрощений состоит из уравнений электрических контуров и механического контура и представлена выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di}{dt} = \frac{U_m \cdot \sin(\omega t) - 2i \cdot (R + \frac{dL}{dx} \cdot y + \frac{dM_{12}}{dx} \cdot y - 2 \cdot \frac{M_{1(2)кз}}{L_{кз}} \cdot \frac{dM_{1(2)кз}}{dx} \cdot y) - 2i_k \cdot (\frac{dM_{1(2)кз}}{dx} \cdot y - \frac{M_{1(2)кз}}{L_{кз}} (R_{кз} + \frac{dL_{кз}}{dx} \cdot y))}{2(L + M_{12} - 2 \cdot \frac{M_{1(2)кз}^2}{L_{кз}})} \\ \frac{di_{кз}}{dt} = \frac{2i \cdot (\frac{M_{1(2)кз}}{L + M_{12}} (R + \frac{dL}{dx} \cdot y + \frac{dM_{12}}{dx} \cdot y) - \frac{dM_{1(2)кз}}{dx} \cdot y) + i_k \cdot (\frac{2M_{1(2)кз}}{L + M_{12}} \cdot \frac{dM_{1(2)кз}}{dx} \cdot y - (R_{кз} + \frac{dL_{кз}}{dx} \cdot y)) - \frac{M_{1(2)кз} \cdot U_m \cdot \sin(\omega t)}{L + M_{12}}}{L_{кз} + M_{1(2)кз} - 2 \cdot \frac{M_{1(2)кз}^2}{L + M_{12}}} \\ \frac{dy}{dt} = \frac{F_B(t) - R_{мех} \cdot y - q_l \cdot x}{M} \\ \frac{dx}{dt} = y \end{array} \right.$$

### 3.4 Алгоритм расчета системы дифференциальных уравнений

Система уравнений, состоящая из основного контура, короткозамкнутого контура, уравнения механического контура и скорости амплитуды, не может быть решена аналитическими методами, поэтому для расчёта режимов работы виброактиватора выше приведенные системы уравнений рассчитаем численными методами Рунге-Кутты четвертого порядка, составим алгоритм расчета системы. Метод Рунге-Кутты обладает большой точностью. Метод Эйлера, или метод касательных, не столь точен. Этот метод очень удобен для практических вычислений.

Система расчета состоит из итерационного определения четырех коэффициентов  $K$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $C$ :

$$K(t, l, l_k, x, y) = \frac{k1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k3(t, l, l_k, x, y) + k4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$M(t, l, l_k, x, y) = \frac{m1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m3(t, l, l_k, x, y) + m4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$S(t, l, l_k, x, y) = \frac{s1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s3(t, l, l_k, x, y) + s4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$C(t, l, l_k, x, y) = \frac{c1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c3(t, l, l_k, x, y) + c4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

Расчеты производятся вычислением указанных коэффициентов при их дискретном приращении во времени. Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ l_{i+1} \\ l_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if} \left( l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i), 0 \right) \\ l_{k_i} + M(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if} \left( x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq X_0, X_0, x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \right) \end{pmatrix}$$

Первый ряд матрицы задаёт время расчёта с определённым шагом  $t_i+h$ . Второй ряд матрицы, рассчитывает ток  $I_i$  в основном контуре, учитывает наличие диода, третий ряд учитывает ток  $I_{k_i}$  в короткозамкнутом

витке, четвертый ряд учитывает скорость движения активатора, пятый ряд учитывает смещение активатора относительно средней точки.

## 4 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Основными задачами анализа режимов работы модуля ВСМА являются:

- определение токов в основном контуре модуля ВСМА при максимальной производительности активации;
- определение величины и частоты питающего напряжения модуля ВСМА при максимальной производительности активации;

### 4.1 Определение резонансной частоты при колебаниях, не превышающих начальный зазор

Произведем расчеты по математической модели при диапазоне значений частоты питающего напряжения  $f=30-60$  Гц, с шагом 5 Гц, и значениях механического сопротивления  $R_{\text{мех}} = 850$  Н·с/м, и занесем полученные значения в таблицы.

Расчет начнем производить при постоянном воздушном зазоре  $\delta_0 = 7$  мм, а также с относительной магнитной проницаемостью стали  $\mu = 1350$ .

В таблице 3 представлены полученные значения при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 850$  Н·с/м.

Таблица 3 – Результаты полученных данных

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60
$I_d$ , А	9,029	9,007	9,038	9,442	10,472	11,647	12,354
x, мм	1,303	1,455	1,727	2,093	2,298	2,119	1,721
$Q_{\text{акт}}$ , м <sup>3</sup> /час	0,998	1,178	1,393	1,666	2,017	2,374	2,661
$U_d$ , В	120	140	160	180	200	220	240

На основе рассчитанных данных построим график зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты.

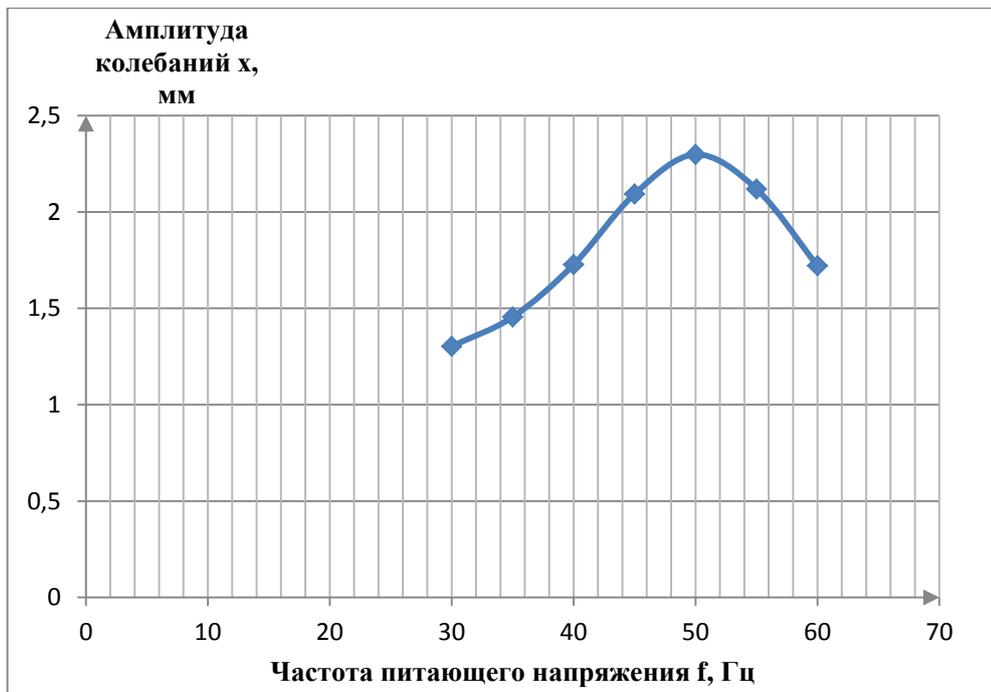


Рисунок 9 – Амплитудно–частотная характеристика

Как видно из рисунка 9 при значении  $R_{\text{мех}} = 850 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  резонанс наступает на частоте питающего напряжения 50 Гц.

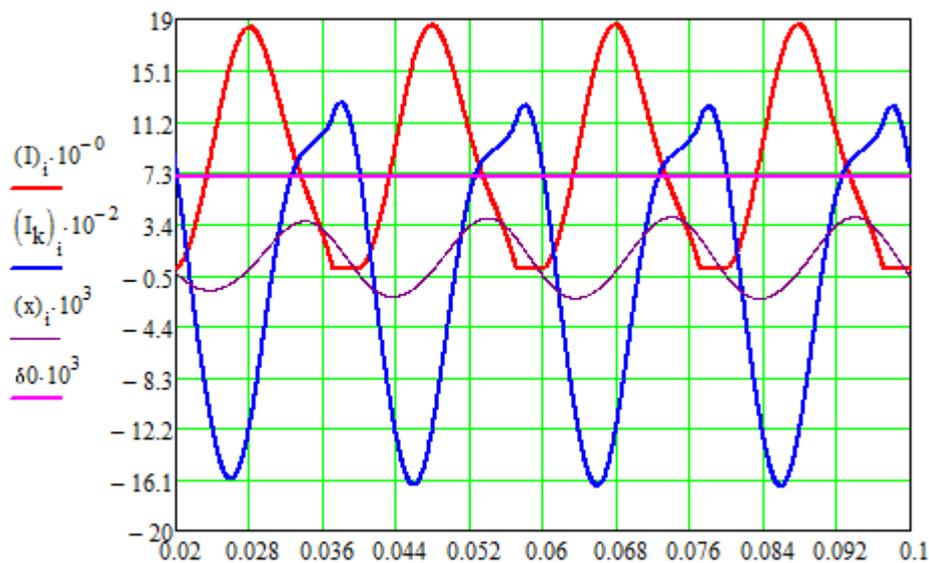


Рисунок 10 Графики изменения токов и смещения активатора в установившемся режиме

На рисунке 10 приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: амплитуда колебаний, начальный зазор, электромагнитная сила, тока в основной цепи и тока в короткозамкнутых контурах в зависимости от времени при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 850 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$

## 4.2 Анализ режимов работы с повышенным значением вязкости

Аналогично произведем расчет при значениях механического сопротивления  $R_{\text{мех}} = 1,25R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

В таблице 4 представлены полученные значения при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 1,25R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

Таблица 4 – Результаты полученных данных

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60
I <sub>d</sub> , А	9,052	9,127	9,282	9,744	10,581	11,465	12,055
x, мм	1,258	1,398	1,605	1,823	1,906	1,767	1,505
Q <sub>акт</sub> , м <sup>3</sup> /час	1,008	1,196	1,418	1,688	2,006	2,325	2,605
U <sub>d</sub> , В	120	140	160	180	200	220	240

На основе рассчитанных данных построим график зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты.

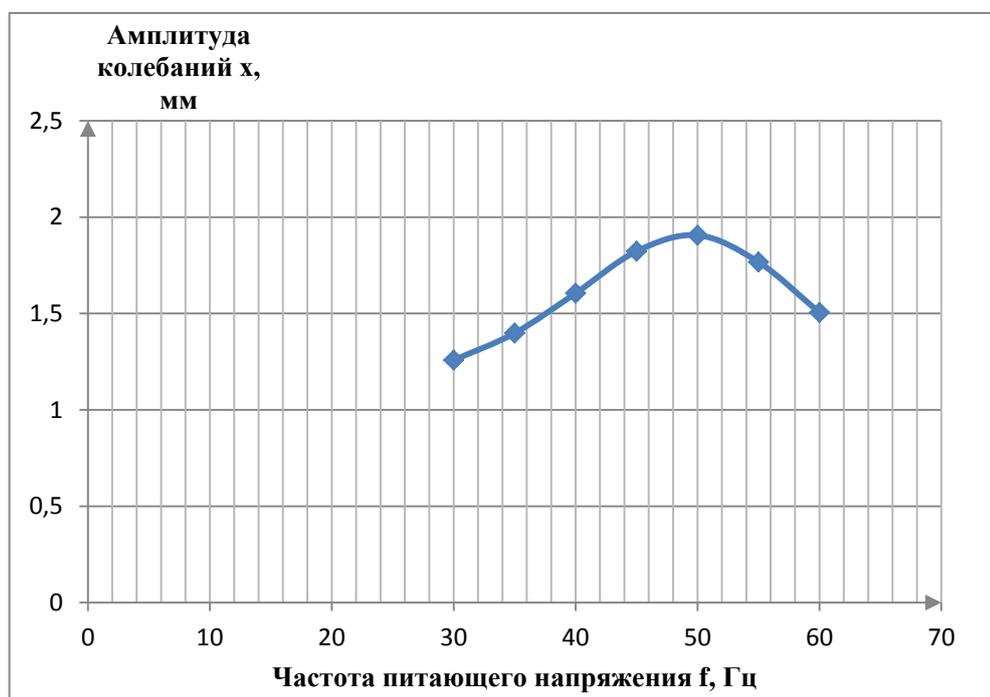


Рисунок 11 – Амплитудно–частотная характеристика

Как видно из рисунка 11 при значении  $R_{\text{мех}} = 1,25R_0 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  резонанс наступает на частоте питающего напряжения 50 Гц.

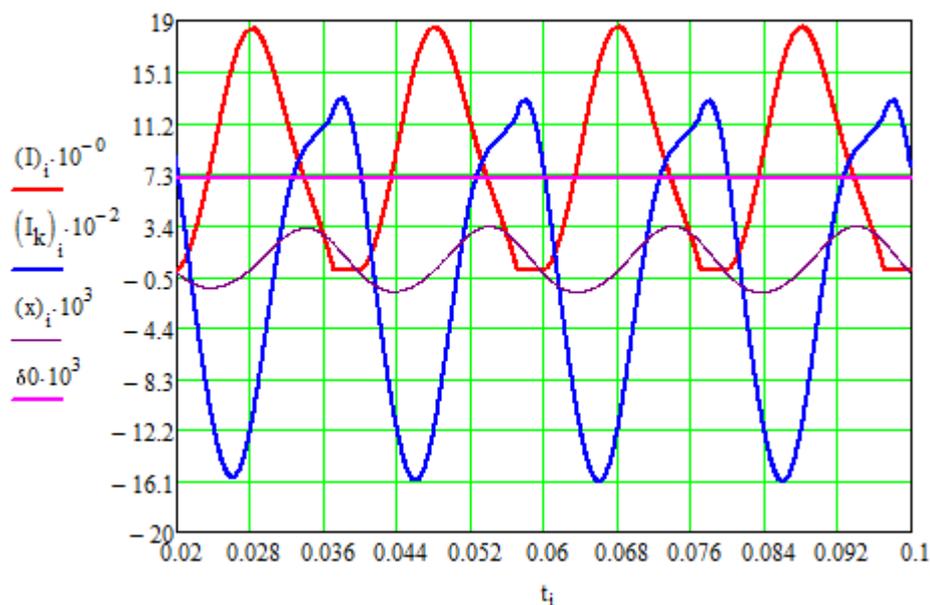


Рисунок 12– Графики изменения токов и смещения активатора в установившемся режиме

На рисунке 12 видно, что амплитуда колебаний не превышает воздушный зазор и работает в нормальном режиме при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 1,25R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

#### 4.3 Анализ режимов работы с пониженным значением вязкости

Произведем расчет при значениях механического сопротивления  $R_{\text{мех}} = 0,75R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

В таблице 5 представлены полученные значения при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 0,75R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

Таблица 5 – Результаты полученных данных

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60
$I_d, \text{А}$	9,03	8,89	8,754	9,003	10,295	11,956	12,805
x, мм	1,353	1,506	1,848	2,467	2,923	2,672	2,026
$Q_{\text{акт}}, \text{М}^3/\text{час}$	0,986	1,159	1,363	1,632	2,034	2,453	2,741
$U_d, \text{В}$	120	140	160	180	200	220	240

На основе рассчитанных данных построим график зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты.

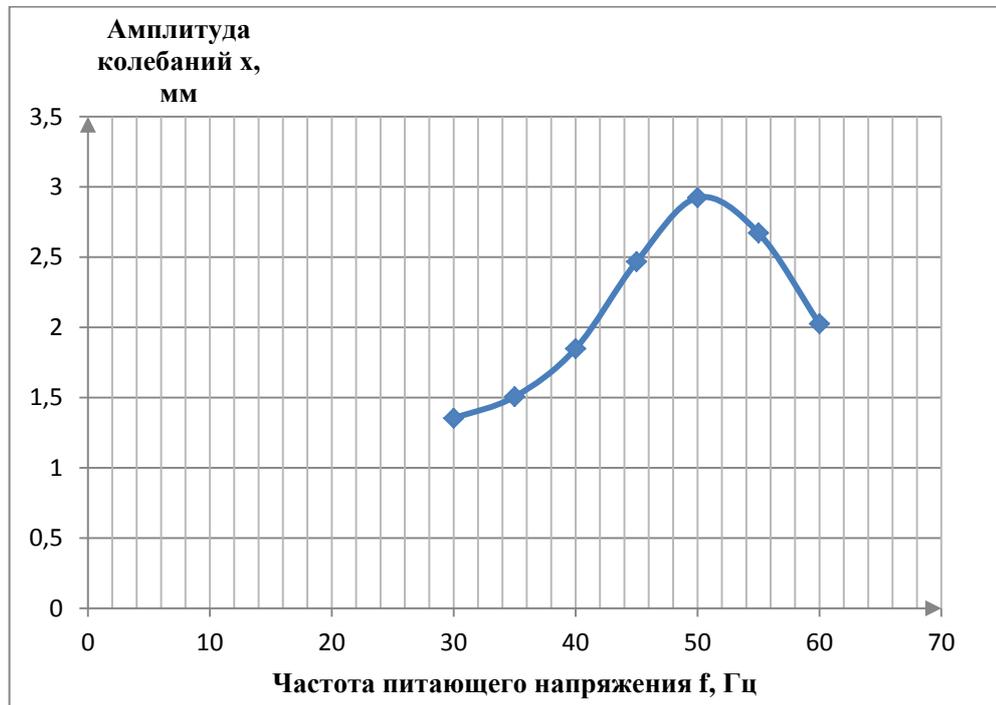


Рисунок 13 – Амплитудно–частотная характеристика

Как видно из рисунка 13 при значении  $R_{\text{мех}} = 0,75R_0$  Н·с/м резонанс наступает на частоте питающего напряжения 50 Гц.

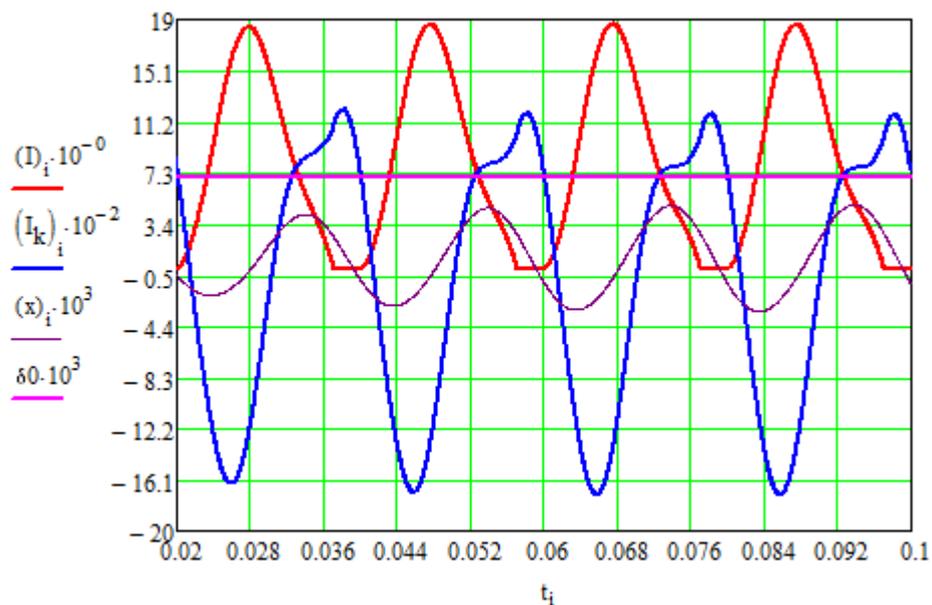


Рисунок 14 – Графики изменения токов и смещения активатора в установившемся режиме

На рисунке 14 видно, что амплитуда колебаний не превышает воздушный зазор и работает в нормальном режиме при механическом сопротивлении  $R_{\text{мех}} = 0,75R_0, \text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ . Также увеличилась производительность при частотах равных 55-60 Гц, так как ниже значение вязкости.

Вывод:

Как видно из рисунка 13 размах амплитуды и ускорение колебаний активатора будет больше, это связано с более низким механическим сопротивлением. Во всех случаях амплитуда находится в допустимых пределах начального зазора. Изменения тока в основном контуре практически не значительны.

Производительность установки со средним значением вязкости будет выше, чем при более вязкой нефти. Следовательно, работа устройства будет более эффективна при механическом сопротивлении равном 850 Н·с/м.

Таким образом, для обеспечения максимальной производительности активации установки нефти необходимо ориентироваться на следующие параметры: резонансная частота в диапазоне 45-50 Гц; напряжения питания 200; начальный зазор 0,008 м.

## 5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

### 5.1 Конструкции устройства

В зависимости от общей производительности установки и конкретных габаритов области применения целесообразно использовать принцип компоновки, предусматривающий конструктивное объединение нескольких единичных модулей в одном блоке. Такой подход позволяет существенно экономить на расходе конструктивных материалов. Общая конструкция представлена на рисунках 15 и 16.

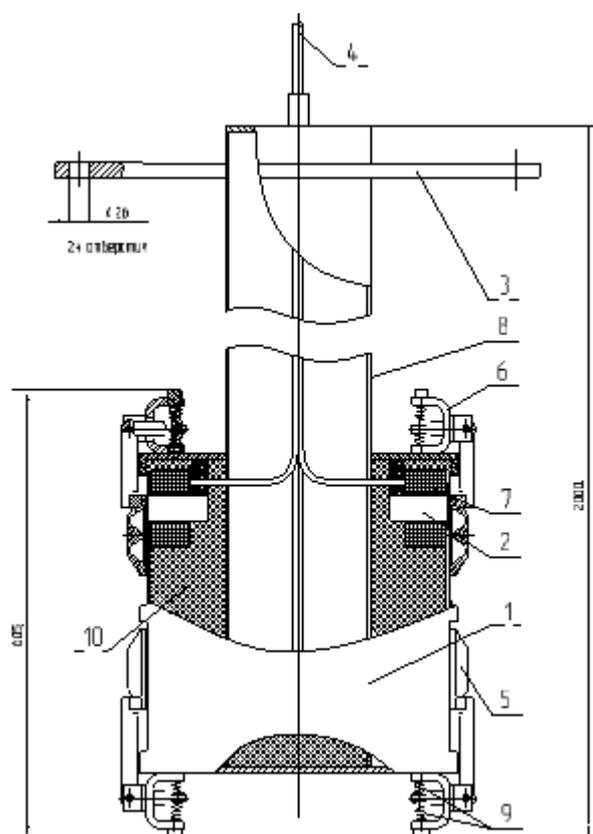


Рисунок 15– Конструкции блока виброструйной обработки  
где: 1–корпус БВО; 2–магнитопровод МВО; 3–фланец БВО; 4–вывод БВО; 5–  
активатор МВО; 6–пружинный узел МВО; 7– катушки МВО; 8– патрубок  
БВО; 9– пружины МВО.

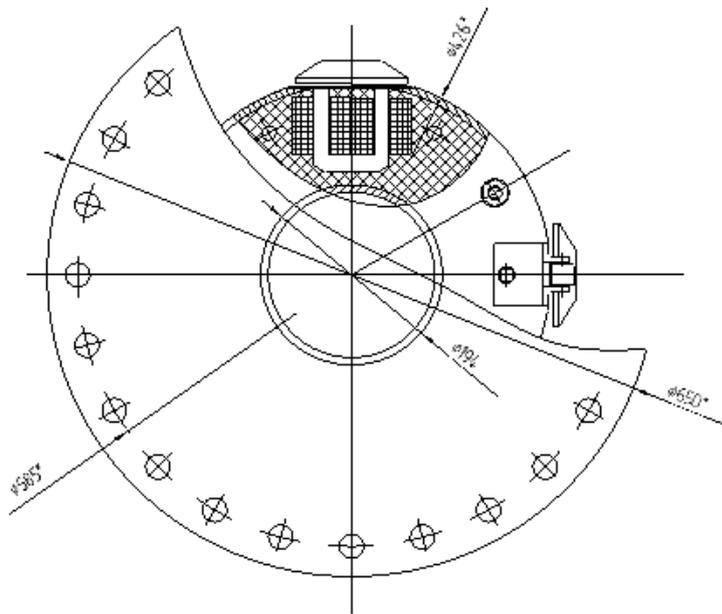


Рисунок 16 – Вид сверху блока виброструйной обработки

## 5.2 Схема подключения

Элементами схемы подключения в данной работе является:

Виброактиватор;

Преобразователь частоты;

Блок питания (включает в себя диод и автоматический выключатель)

Общая схема подключения представлена на рисунке 17.

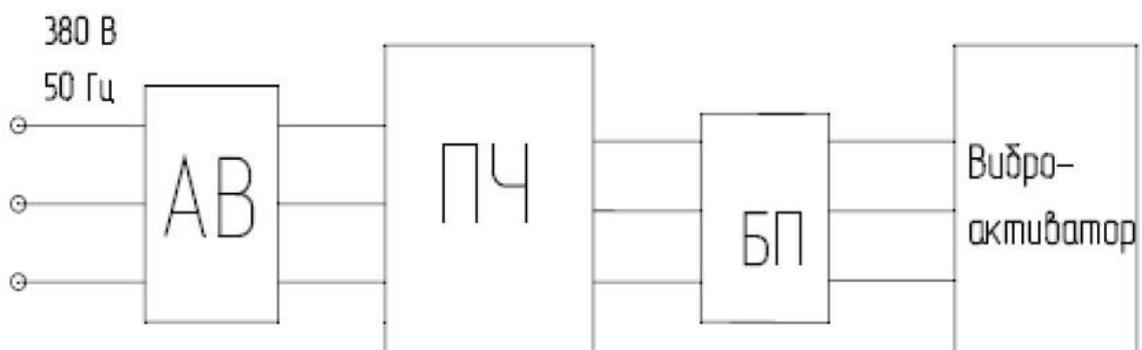


Рисунок 17– Схема подключения виброактиватора

### **5.3 Выбор преобразователя частоты**

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется на основании данных, полученных в результате расчёта режимов работы вибрационного активатора на математической модели. Исходными данными для этого являются напряжение, величина тока, подаваемое на обмотки виброактиватора и частота напряжения.

Диапазон напряжений необходимый для обеспечения регулирования режимов работы вибрационного активатора, составляет от 110 до 240 В.

Для обеспечения резонансного режима работы обработки вибрационным активатором необходимо изменять частоту питающего напряжения в диапазоне от 35 до 60 Гц.

Согласно справочным данным выбираем частотный преобразователь марки Овен ПЧВ3-45К-В [9]. Этот преобразователь частоты позволит равномерное и экономичное регулирование производительности путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены на рисунке 18 и таблице 6.



Рисунок 18– Внешний вид преобразователя частоты Овен ПЧВ3-45К-В

Таблица 6 – Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Выходная мощность (кВт)	45
Ток максимальный нагрузки (А)	93
Напряжение номинальное на входе (В)	380
Вес (кг)	45
Степень защиты, IP	IP54
Размеры	680x308x310 мм

#### 5.4 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 50 Гц выбираем диод марки STTH200L04TV1 [10]. Характеристики диода приведены:

- $I_{пр.мах} = 120 \text{ А}$ ;
- $U_{об.мах} = 400 \text{ В}$ ;
- $U_{прям.} = 1,2 \text{ В}$ ;
- $I_{об.} = 100 \text{ мкА}$ .

## 5.5 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель должен быть предусмотрен в схеме подключения вибрационного активатора. Учитывая параметры работы вибрационного активатора для его подключения к промышленной сети выбираем автоматический выключатель типа IEK ВА 47 - 100 С 100 [11].

Характеристики данного выключателя приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики автоматического выключателя

Серия	ВА 47 – 29
Номинальный ток	16 А
Максимальная отключающая способность	4500 А
Количество полюсов	3
Сечение проводника	до 25мм <sup>2</sup>
Артикул IEK	MVA 20 – 3 – 016 – С

## 5.6 Выбор кабеля сети

Учитывая, что вибрационный активатор портативен, он должен быть оснащен кабелем, который позволит манипулировать устройством в зоне разгрузки. Длина кабеля определяется определенными условиями применения вибрационного активатора. Для применения взрывозащищенного электрооборудования выберем длину кабеля, равную 20 метров.

Марка кабеля, предназначенная для использования в соответствующих условиях, соответствует КГН 4 × 16 мм<sup>2</sup>.

Выбираем кабель марки КГН (4x16) с  $I_{доп} = 95$  А [12]. Силовой гибкий кабель с медными многопроволочными жилами в резиновой изоляции, маслостойкой оболочке, которая не подвержена горению.



Продолжение таблицы 8 – Показатели оценки качества проекта

4. Унифицированность	0,05	50	100	0,5	0,025
5. Уровень материалоемкости разработки	0,02	75	100	0,75	0,375
6. Уровень шума	0,07	70	100	0,7	0,014
7. Безопасность	0,08	90	100	0,9	0,063
8. Простота эксплуатации	0,08	60	100	0,6	0,048
9. Ремонтопригодность	0,09	80	100	0,8	0,072
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
10. Конкурентоспособность продукта	0,06	80	100	0,8	0,048
12. Цена	0,08	80	100	0,8	0,064
13. Послепродажное обслуживание	0,09	80	100	0,8	0,072
<b>Итого</b>	<b>0,88</b>	<b>960</b>		<b>9,6</b>	<b>0,6565</b>

Оценка качества и перспективности проекта по технологии QuAD определяется согласно формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,88 \cdot 0,6565 = 0,58$$

где:

$P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности;

$B_i$  – вес критерия (в относительных единицах);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Согласно значению  $P_{cp}$  следует делать вывод о перспективах исследования проекта. В случае если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, в таком случае проект является перспективным. В случае если с 79 вплоть до 60 – то перспективность выше среднего. В случае если с 69 до 40 – то перспективность средняя. В случае если с 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если же 19 и ниже – то перспективность крайне низкая. В данном случае коэффициент перспективности равен 58.

Таким образом, проект является перспективным, и инвестирование денег на его реализацию целесообразно.

## 6.2 Планирование научно– исследовательских работ

### 6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Разработкой данного проекта будут заниматься два человека – руководитель (преподаватель) и проектировщик (студент-бакалавр). Обязанности между ними четко разделены. План работ необходим для выполнения проекта в срок, а также для определения начисляемой заработной платы за объем работ, выполненный руководителем и проектировщиком.

Сведения о необходимом перечне этапов и работ в рамках разработки проекта, а также о распределении исполнителей согласно видам работ, представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень работ и распределение исполнителей

№	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	Проектировщик
3	Календарное планирование работ	Руководитель
4	Исследование технологии виброструйной магнитной активации жидкостей (ВСМА)	Проектировщик
5	Разработка конструкции рабочего органа	Проектировщик
6	Математическое моделирование устройства	Проектировщик
7	Анализ режимов работы виброактиватора	Проектировщик
8	Выбор элементов электропривода установки	Проектировщик
9	Разработка общей схемы подключения виброактиватора	Проектировщик

Продолжение таблицы 9 – Перечень работ и распределение исполнителей

10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель
11	Социальная ответственность	Проектировщик
12	Финансовый менеджмент	Проектировщик
13	Составление пояснительной записки	Проектировщик

### 6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

Где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы человек-дней;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человек-дней;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человек-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

### 6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта - горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} ,$$

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

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

$k_{кал}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{\text{ки}}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Временные показатели выполнения проекта

№ раб.	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		$t_{ожi}$ , чел-дни					
		Руковод.	Проектир.	Руковод.	Проектир.	Руковод.	Проектир.	Руковод.	Проектир.	Руковод.	Проектир.
1	Составление и утверждение технического задания	2		4		2,8		3		3	
2	Подбор, изучение материалов и нормативных документов		4		5		4,4		4		7
3	Календарное планирование работ	2		3		2,4		2		3	
4	Исследование технологии виброструйной магнитной активации жидкостей (ВСМА)		5		7		3,4		3		8
5	Разработка конструкции рабочего органа		4		6		4,8		5		7
6	Математическое моделирование устройства		4		8		5,6		5		8
7	Анализ режимов работы виброактиватора		10		13		11,2		11		17

Продолжение таблицы 10– Временные показатели выполнения проекта

8	Выбор элементов электропривода установки		9		12		8,2		8		15
9	Разработка общей схемы подключения виброактиватора		4		5		4,4		4		7
10	Обобщение и оценка результатов	4		6		4,8		5		6	
11	Социальная ответственность		3		5		3,8		4		6
12	Финансовый менеджмент		3		5		3,8		4		6
13	Составление пояснительной записки		7		10		8,2		8		12
Итого	Общее количество дней для выполнения ВКР							календарных	105		
								рабочих	66		
	Общее количество дней, в течение которых работал инженер							календарных	93		
								рабочих	56		
	Общее количество дней, в течение которых работал руководитель							календарных	12		
								рабочих	10		

Календарная продолжительность выполнения проекта составит 105 дней. Руководитель при этом задействован в течение 12 календарных дней, инженер в течение 93 календарных дней. При этом общее количество рабочих дней руководителя составляет 10, инженера – 56. Реальная продолжительность работ, учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так больше указанной продолжительности (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Проектировщик работает большее количество дней, чем руководитель. Это можно объяснить тем, что цель руководителя – ставить задачи для проектировщика. Также на руководителе лежит ответственность за выполнение проекта. В свою очередь проектировщик должен выполнять работу, не нарушая календарного плана.

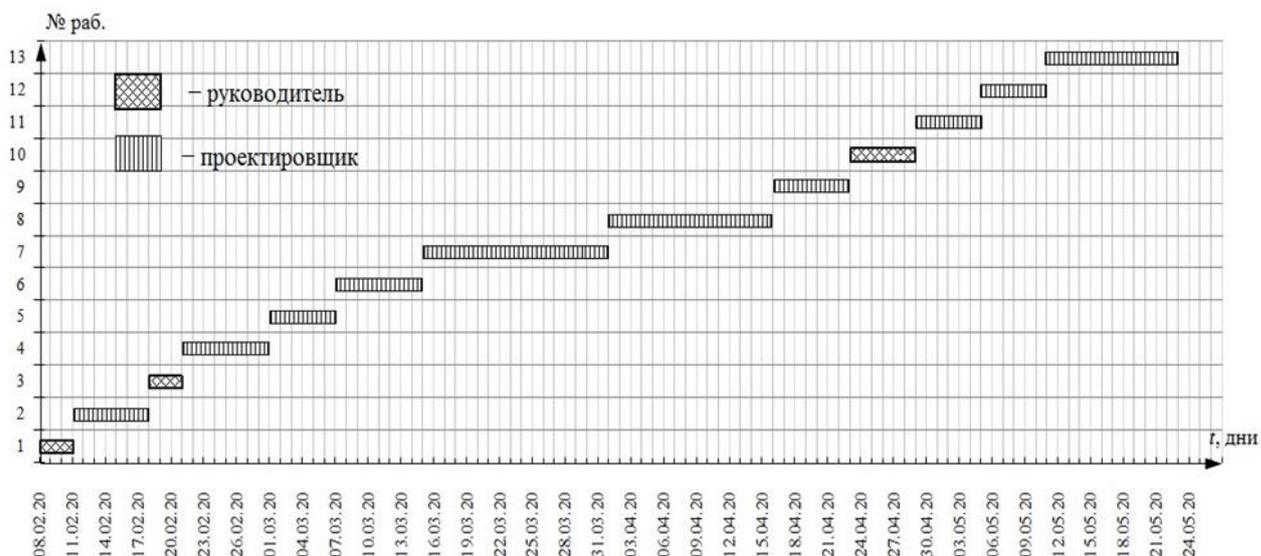


Рисунок 19 – Диаграмма Ганта

### 6.3 Бюджет научно–технического исследования

В данном разделе будет производиться отражение всех видов расходов, связанных с проектированием. Основными пунктами определения бюджета является затраты по статьям:

- Материальные затраты НТИ
- Основная заработная плата исполнителей темы
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
- Накладные расходы

#### 6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

В материальные затраты включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество		Цена за ед.,руб		Затраты на материалы, (Зм),руб.	
		Руководитель	Проектировщик	Руководитель	Проектировщик	Руководитель	Проектировщик
Компьютер	Шт	1	1	31000	27000	31000	27000
Mathcad	Шт	1	1	2500	2500	2500	2500
Бумага —Svetocopy	Шт	1	1	250	250	250	250
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	1000	1000
Итого	65500					34750	30750

### 6.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ

по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Полная заработная плата сотрудника ТПУ:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{осн}$ ).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} ,$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

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.).

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{осн} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_{д}}$$

где,  $F_{д}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

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

$Z_{допл}$  – доплаты и надбавки, руб. (50%);

$Z_{р.к.}$  – районная доплата, руб. (30%);

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p ,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата работника, руб.;

$Z_{он}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен ниже.

$$Z_{рук} = 24 \text{ ч} \cdot 300 \text{ руб/ч} = 7200 \text{ руб}$$

$$Z_{инж.осн} = 61 \text{ д} \cdot 561,5 \text{ руб/д} = 36497,5 \text{ руб}$$

$$Z_{общ.осн} = 7200 + 36497,5 = 43697,5 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{полн}$ , руб.
Руководитель	-	7200	-	7200
Инженер	0,12	36497,5	4379,7	40877,2
Итого $Z_{осн}$ , руб.		43697,5	4379,7	48077,2

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.).

### **6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 48077,2 = 13028,9 \text{ руб.}$$

### **6.3.4 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 6.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

К материальным затратам относятся: бумага, канцелярские принадлежности. Компьютер и Mathcad после разработки установки можно продать. Срок эксплуатации составляет 3года, срок пользования составляет 4 месяца. Амортизация составляет:

$$A = \frac{(31000+27000+5000+3000+2500+2500)}{12 \cdot 3} = 1750 \text{ рублей}$$

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 13.

Таблица 13– Затраты на научно технический проект

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты	10600
2. Амортизация	1750
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43697,5
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4379,7
5. Отчисления во внебюджетные фонды	13028,9
6. Накладные расходы	25455,3
7. Бюджет затрат на технический проект	98911,

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 99 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

### 6.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Показатель конкурентоспособности

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4
3. Надежность	0,15	5
4. Безопасность	0,2	4
5. Простота эксплуатации	0,1	4
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4
7. Уровень проникновения на рынок	0,2	4
<b>ИТОГО</b>	<b>1,0</b>	<b>30</b>

$$I_{p-учн1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 4,15$$

В результате выполнения задания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен анализ конкурентных технических решений.

Далее составлен план – график выполнение работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика.

Рассчитан бюджет НТП, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 99 тысячи рублей

Реализация электромагнитного активатора для увеличения выхода светлых из продуктов переработки является актуальной задачей для мини-НПЗ.

## **7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Данный раздел посвящен анализу опасных и вредных производственных факторов пуско-наладочных работ и эксплуатации электропривода виброструйного магнитного активатора нефти, а также ставятся задачи определения необходимых мер защиты от этих факторов, оценки условий труда, микроклимата рабочей среды и представления рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Объектом исследования является рабочее место обслуживающего персонала.

Виброструйный магнитный активатор нефти – электромагнитный аппарат. При подаче напряжения на обмотки которого создается переменное магнитное поле которое заставляет активатор вибрировать с определенной частотой. Магнитная активация нефти изменяет ее фракционный состав, температуру застывания и температуру кипения, а выход фракций увеличивается до 20%.

Данный аппарат устанавливается в нефтяной промышленности. Он устанавливается стационарно на весь срок службы.

## **7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе Трудовой кодекс Российской Федерации [13].

Согласно статье 94 данного документа для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;

при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов.

Согласно статье 147 оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Согласно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать такие физические нагрузки на работающего при которых энергозатраты организма в течение рабочей смены не превышали бы 1046,7 кДж/ч (250 ккал/ч).

Конструкция всех элементов производственного оборудования, с которыми человек в процессе трудовой деятельности осуществляет непосредственный контакт, должна соответствовать его антропометрическим свойствам.

Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать возможность организации трудового процесса, исключая монотонность труда, путем ограничения частоты повторения простых трудовых действий и

длительности непрерывного пассивного наблюдения за ходом производственного процесса или его части.

Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать оптимальное распределение функций между человеком и производственным оборудованием с целью обеспечения безопасности, ограничения тяжести и напряженности труда, а также обеспечения высокой эффективности функционирования системы "человек - производственное оборудование"[14].

## 7.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в технологическом процессе рассматриваемой среды.

Таблица 15 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото вление	Эксплу атация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [15]. Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [16]. Требование к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [17]. Требования к СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [18].
2. Превышение уровня вибрации	-	-	+	
3. Превышение уровня шума	-	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	

1. Основными факторами, характеризующими микроклимат цеха подготовки и транспортировки нефти, являются: повышенная температура, подвижность и влажность воздуха.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, а низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

В соответствии с нормированием метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 16 и 17 [15].

К категории II б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Таблица 16 – Оптимальные нормы микроклимата

Сезона года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	II б	17-19	16-20	40-60	0,2
Тёплый	II б	19-21	18-22	40-60	0,2

Таблица 17–Допустимые нормы микроклимата

Сезона года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	II б	15-22	14-23	15-75	0,2-0,4
Тёплый	II б	16-27	15-28	15-75	0,2-0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматриваются следующие мероприятия:

- установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией.

2. Технологический процесс рассматриваемой среды основан на работе с электроприводом, который является источником повышенного уровня

шума и вибрации, что является вредными факторами производственной среды.

Производственная вибрация, характеризующаяся значительной амплитудой и продолжительностью действия, вызывает у работающих раздражительность, бессонницу, головную боль, ноющие боли в руках людей, имеющих дело с вибрирующим инструментом. При воздействии общей вибрации более выражены изменения со стороны центральной нервной системы: появляются головокружения, шум в ушах, ухудшение памяти, нарушение координации движений, вестибулярные расстройства, похудение. Технические нормы вибрации представлены в таблице 18 [16].

Таблица 18 – Нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для борьбы с вибрацией необходимо применять следующие мероприятия:

- правильное проектирование массивных оснований фундамента от виброактивного оборудования;
- изоляция фундамента виброактивного оборудования от несущих конструкций и инженерных коммуникаций;
- активная и пассивная виброизоляция оборудования и рабочих мест;
- использование покрытий вибрирующих поверхностей материалом с большим внутренним трением (резина, пробка);
- применение звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов, конструкций;
- применение виброзадерживающих гибких вставок (гасители).

3. Из-за шума у работающих возникает более быстрое утомление, которое приводит к снижению производительности на 10...15%, увеличению числа ошибок при выполнении операций трудового процесса и, следовательно, к повышенной опасности возникновения травм. При длительном воздействии шума снижается чувствительность слухового аппарата, возникают патологические изменения в нервной и сердечно-сосудистой системах, что, в конечном счете, приводит к понижению работоспособности. Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 19 [17].

Таблица 19–Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	31,5
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Для уменьшения шума применяются следующие меры: предусматриваются:

- снижение (ослабление) шума в самих источниках - в электрических машинах, станках, механизмах и других устройствах;
- установка звукоизолирующих кабин; звукоизолирующие кожухи и экраны;
- для профилактики воздействия шумов необходимо проводить постоянные медосмотры и освидетельствования.

4. Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. Отсутствие или недостаток естественного освещения вызывает ухудшение самочувствия, приводит к потере сна и ослаблению здоровья. Дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течение всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий. Поэтому цех обеспечивают естественным и искусственным освещением. В качестве источников искусственного освещения применяются люминесцентные

лампы. Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения представлены в таблице 20 [18].

Таблица 20 – Рекомендуемые источники света.

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность от общего освещения при системе комбинированного освещения, лк	Индекс цветопередачи источников света, $R_a$		Диапазон цветовой температуры источников света, $T_{Ц}$ , К	
		общег о	местног о	общег о	местног о
Требования к цветопередаче отсутствуют, качество цветопередачи стандартное	500 и более	50-69	70-79	2700-4500	4000-6500
	от 300 до 500	50-69	70-79	2600-4500	3500-5000
	от 200 до 300	50-59	50-69	2700-4500	2600-4500
	Менее 200	50-59	50-69	2600-4500	2400-3500

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. Такие как:

- сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников.

### **7.3 Экологическая безопасность**

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Основными выбросами нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) в атмосферу являются углеводороды и сернистый газ. Перед выбросом воздух помещению подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

В технологических процессах используется большое количество воды. Использованная вода, загрязнённая нефтью, солями, сернистыми соединениями и другими веществами, находящиеся в сырой нефти в виде примесей, отводится в специальную сеть канализации и далее поступает в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

Нефтебазы, а также их объекты, здания и сооружения с технологическими процессами, являющимися источниками выделения в окружающую природную среду вредных веществ, следует отделять от жилой застройки санитарно-защитной зоной.

Граница СЗЗ по территории предприятия устанавливается нормативным документом СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 [19]. Размер СЗЗ определяется в целом по санитарной классификации предприятия. Производство по переработки нефти входит в химическое производство первого класса, при котором минимальный размер зоны 1000 метров. Для предприятий первого класса, санитарно-защитная зона должна быть озеленена не менее 40 % ее территории с обязательной организацией полосы древесно-кустарниковых насаждений со стороны жилой застройки. Санитарно-защитная зона или какая-либо ее часть не могут рассматриваться как резервная территория для расширения предприятия.

## 7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновение чрезвычайной ситуации могут вызвать:

- пожары
- разрушение зданий и сооружений
- аварии на электроэнергетических системах

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в цехе подготовки нефти: возникновение пожара.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины. При обнаружении загорания работающий немедленно сообщает по телефону в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества

пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

### **Выводы по разделу**

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные факторы, воздействующие на рабочего, в момент выполнения его работы. Были предложены основные меры по профилактике и ликвидации воздействий отрицательных факторов на организм человека.

С точки зрения эффективности трудовой деятельности работника и производительности работ правильные условия труда и правильная организация рабочего места играет немаловажную роль, в то же время, обеспечивая безопасность сотрудника.

По результатам выполнения данного раздела были выполнены следующие основные этапы:

1. Рассмотрены нормативные документы, которые обеспечивают правовые и организационные вопросы безопасности.
2. Выявлены основные вредные и опасные факторы для объекта. Предложены методы снижения вредного воздействия на персонал.
3. Было рассмотрено влияние на окружающую среду, основные нормы, регламентирующие безопасную эксплуатацию объекта.

4. Рассмотрели основные причины возникновения ЧС. Был рассмотрен алгоритм поведения при пожаре, а также профилактические действия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проделанной работы по разработке электромагнитного активатора для увеличения выхода светлых из продуктов переработки следует сделать следующие выводы:

Использование оборудования на основе технологий ВСМА увеличивает процент выхода светлых фракций при обработки мазута до 10 %.

Разработана конструкция единичного модуля электромагнитного активатора, определены рекомендации по регулированию начальных параметров.

Разработана математическая модель, позволяющая произвести оценку основных показателей на этапе проектирования. Рекомендуемый начальный зазор при настройке устройства ВСМА следует выбирать не менее 0,8 мм, так как при нем можно добиться максимальной производительности активации. Во время работы необходимо периодически регулировать частоту и амплитуду напряжения питания для обеспечения работы виброактиватора в резонансом режиме. Диапазон регулирования частоты может составлять от 35 до 60 Гц, диапазон регулировки амплитуды напряжения может составлять от 110 о 240 В.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немчин А.Ф. Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо / А.Ф. Немчин, В.А. Михайлик, Г.Т. Тодорашко, Е.В. Щепкин // Пром. Теплотехника, 2002. – Т.24. – №6. – С. 60 – 53.
2. Такаева М.А., Пивоварова Н.А. Методы активирования углеводородного сырья воздействием ультразвука // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. VI междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012.
3. Немчин А.Ф. Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо / А.Ф. Немчин, В.А. Михайлик, Г.Т. Тодорашко, Е.В. Щепкин // Пром. Теплотехника, 2002. – Т.24. – №6. – С. 60 – 53.
4. Способ комбинированной обработки нефтесодержащего сырья и установка для его осуществления. Патент RU №2408656 С1; заявка №2009127789/04, 21.07.2009; опубликовано 10.01.2011, – авторы: Каськов С.И., Бахтин Б.И., Десятов А.В. и др.
5. Основы виброструйной магнитной активации жидких сред / Данекер В. В. Доленко // ТПУ. — Томск: Изд-во ТПУ, 2000
6. Рикконен С.В., Данекер В.А., Теплов А.И. Влияние технологии виброструйной магнитной активации (ВСМА) на фракционный состав нефти
7. Данекер, Валерий Аркадьевич. Расчет и конструирование электромагнитных преобразователей для активации жидких систем : учебно-методическое пособие / В. А. Данекер; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — 102 с.: ил.. — Библиогр.: с. 78-80.. — ISBN 978-5-4387-0829-2.
8. ГОСТ 26615-85. Провода обмоточные эмалевой изоляцией. Общие технические условия.– Москва:Изд-во стандартов, 1985.– 28 с.
9. Каталог преобразователей частоты [Электронный ресурс]: <https://uralenergotel.ru/pchv3-45k-v54/> (дата обращения: 5.06.2020) (дата обращения: 5.06.2020)

10. Каталог диодов [Электронный ресурс]: <https://www.compel.ru/catalog/discretes/diodes-thyristors/rectifier-diodes> (дата обращения: 5.06.2020)

11. Каталог автоматических выключателей [Электронный ресурс]: [https://elektrikadeshevo.ru/catalog/avtomaticheskie\\_vyklyuchateli/oborudovanie\\_n\\_izkovoltnoe-69105980/](https://elektrikadeshevo.ru/catalog/avtomaticheskie_vyklyuchateli/oborudovanie_n_izkovoltnoe-69105980/) (дата обращения: 5.06.2020).

12. Кабельные изделия. Справочник Автор: Алиев И.И., издание 2-е, 2004.

13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

14. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

15. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

16. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

17. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

18. СНиП 23-05-95 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.

19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.