

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

---

Институт - Энергетический

Направление подготовки - 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра - Электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промышленного трубопровода</b>

УДК 622.692.4:62-83-523

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Осипова Ульяна Дмитриевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. МЕН	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭБЖ	Панин В.Ф.	д.т.н, профессор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. ЭПЭО	Дементьев Ю. Н.	к. т. н., Ph. D.		

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

Институт Энергетический  
 Направление подготовки - 13.03. 02 Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

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

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Осипова Ульяна Дмитриевна

Тема работы:

<b>Электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промышленного трубопровода</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><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></p>	<p><i>Объектом исследования является электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промышленного нефтепровода. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- производительность установки 150 м<sup>3</sup>/час;</li> <li>- параметры магнитопровода;</li> <li>- собственная частота колебаний активатора</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи исследования;</li> <li>- составление математической модели модуля активации;</li> <li>- исследование режимов работы активатора;</li> <li>- разработка конструкции единичного модуля и установки;</li> <li>- выбор основных элементов электропривода;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент.»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> <li>- заключение.</li> </ul>

<i>выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. <i>Общий вид блока вибурообработки</i> 1. <i>Общий вид установки УАНПН -25</i>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Потехина Нина Васильевна
«Социальная ответственность»	Панин Владимир Филиппович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Осипова У.Д.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГЗБ	Осиповой Ульяне Дмитриевне

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады: – руководителя – 26 300 руб. – проектировщика – 14 000,00 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; коэффициент доплат и надбавок 20%; коэффициент дополнительной заработной платы 15%; коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; районный коэффициент 30%. Норма амортизации 33,3%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 27,1 %

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала проекта</i>	Оценка перспективности проекта по технологии QuaD.
2. <i>Планирование и формирование бюджета затрат на проектирование</i>	Определение трудоемкости выполнения работ, разработка плана и графика выполнения проекта (графика Ганта). Формирование бюджета затрат на проектирование: материальные затраты, заработная плата (основная и дополнительная), отчисления на социальные цели, накладные расходы, амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности проекта</i>	Расчет интегрального показателя эффективности проекта.

**Графический материал:**

*Показатели оценки качества проекта  
Календарный план-график выполнения проектирования  
Бюджет затрат на проектирование*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>08.02.2017</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ст. преподаватель	Потехина Н.В.	–		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГЗБ	Осипова Ульяна Дмитриевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Осиповой Ульяне Дмитриевне

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Территория нефтеперерабатывающего завода с главным объектом рассмотрения исследования – электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промышленного нефтепровода. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (нефтеперерабатывающий завод).</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус электрической машины при нарушенном его заземлении.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>

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

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <p>1.1. Возможные ненормативные метеоусловия; 1.2. Шумы; 1.3. Вибрации; 1.4. Недостаток естественного света</p>
--	---

нормативно-технический документ); 1.4.предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1.механические опасности (источники, средства защиты); 2.2.термические опасности (источники, средства защиты); 2.3.Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Наиболее значимые опасные факторы: 2.1.Загорания (пожары); 2.2.Опасность электропоражения.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.:разработать или описать систему обращения с выбросами нефтеперерабатывающего завода. По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами. По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11 2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичных ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.
<b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b>	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Осипова Ульяна Дмитриевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страниц, 26 рисунков, 19 таблиц, 2 приложения, 26 источников.

Ключевые слова: МОДУЛЬ ВИБРООБРАБОТКИ, БЛОК ВИБРОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, РЕЗОНАНС, АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ.

Цель работы – исследовать электропривод и провести расчет резонансного вибратора модульного типа, предназначенного для вибромагнитной обработки нефти промыслового трубопровода.

В выпускной квалификационной работе разработана математическая модель, позволяющая исследовать режимы работы виброактиватора, сделан выбор преобразователя частоты и других элементов электрического привода.

Используя математическую модель, решенную в программе Mathcad 14, проведено исследование режимов работы установки, получены основные параметры, необходимые для выбора силового оборудования электрического привода.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью пакета программ: Microsoft Word 2010, Mathcad 14, AutoCAD 2016, Microsoft office.

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	11
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР</b> .....	22
1.1 Анализ имеющихся оборудования и технологий для снижения вязкости нефти в промысловых трубопроводах .....	22
1.2 Технология и оборудования ВСМА .....	28
1.3 Влияние технологии ВСМА на фракционный состав нефти.....	29
1.4 Задача проектирования.....	30
<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА УСТРОЙСТВА</b> .....	31
2.1 Конструкция модуля виброобработки .....	31
2.2 Расчёт количества единичных модулей вибромагнитной установки.....	33
2.3 Расчет обмоточных данных.....	36
2.4 Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита.....	37
2.5 Расчёт массы активатора .....	38
2.6 Расчёт жёсткости пружинного подвеса активатора.....	41
2.7 Расчёт механического сопротивления колебаний активатора в вязкой среде.....	42
<b>ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА</b> .....	44
3.1 Уравнение электрических контуров .....	44
3.2 Уравнение механического контура .....	50
3.3 Система уравнений модуля устройства .....	51
3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений .....	53
<b>ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ ВИБРОАКТИВАТОРА</b> .....	55



4.1 Анализ режимов работы при обработке нефти со средним показателем вязкости .....	55
4.2 Анализ режимов работы при обработке нефти с высоким показателем вязкости .....	59
<b>ГЛАВА 5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ.....</b>	64
5.1 Разработка конструкции устройства.....	64
5.2 Конструкция установки активации нефти в промышленном нефтепроводе УАНПН-25.....	66
5.3 Разработка схемы подключения установки .....	68
5.4 Схема подключение виброактиватора .....	70
5.5 Выбор преобразовательного устройства для системы.....	70
5.6 Выбор диода .....	72
5.7 Выбор автоматического выключателя.....	72
5.8 Выбор кабеля защиты.....	73
<b>ГЛАВА 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ...</b>	74
6.1 Оценка коммерческого потенциала проекта.....	74
6.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	76
6.3 Разработка плана и графика выполнения проекта .....	78
6.4 Формирование бюджета затрат на проектирование .....	83
6.5 Основная заработная плата исполнителей.....	83
6.6 Дополнительная заработная плата исполнителей.....	85
6.7 Отчисления во внебюджетные фонды.....	86
6.8 Амортизационные отчисления.....	87
6.9 Накладные расходы.....	88
6.10 Формирование бюджета затрат на проектирование.....	88
6.11 Определение ресурсоэффективности проекта.....	89

<b>ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>92</b>
7.1 Анализ вредных факторов.....	92
7.1.1 Шум.....	94
7.1.2 Вибрация.....	95
7.1.3 Недостаток естественного света .....	98
7.1.4 Микроклимат.....	101
7.2 Анализ опасных факторов.....	102
7.2.1 Электропоражение.....	103
7.2.2 Загорание (пожар) .....	104
7.3 Защита окружающей среды.....	105
7.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий .....	108
7.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	108
7.4.2 Электропоражение как источник ЧС.....	109
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>111</b>
Список источников.....	112
Приложение А.....	115
Приложение Б.....	116

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы**

Нефть - это ресурс, правящий миром. Добыча нефти прошла эволюцию от сбора с поверхности мест, где она вырывалась на поверхность, до высокотехнологичных методов добычи из глубин океана [1]. Российская Федерация является активным производителем нефти и оказывает огромное влияние на экономику других стран. По этой причине, и не только, нефть играет особую роль в современном мире, за ней закрепилось выражение «черное золото». На данный момент торговлей нефти на рынке занимается большое количество государственных и частных компаний. Промысловые нефтепроводы используют для того, чтобы перегонять топливо от скважин, где его добывают, на различные объекты в пределах промысла. Они делятся на несколько типов по разным параметрам: в соответствии с рабочим давлением (высоким, средним и низким), по способу укладки (подземный или надземный, наземный или подводный), в соответствии со схемой работы (без ответвлений или с ответвлениями), по типу давления (давление или без давления).

Кроме того, промысловые нефтепроводы делятся на сборные коллекторы и выкидные линии.

Выкидные линии перекачивают сырье из скважин и транспортируют его до замерного устройства. Диаметр труб колеблется (75 – 250) мм, а длина зависит от устройства промысла и зачастую составляет четыре и более километров.

Сборные коллекторы нефти перегоняют топливо далее в блок обработки нефти, где вещества, замедляющие движение (вода, газы, минеральные соли), удаляются из сырья. Нефть после обработки становится значительно легче.

Самотечными, напорно-самотечными, свободно-самотечными, а так же безнапорными бывают промысловые нефтепроводы. Это обусловлено рельефом - если уклон идет от скважины, то, конечно, нет смысла устанавливать дополнительные насосы, только один, который напрямую откачивает сырье. Но рельеф на промыслах не одинаков - и в этом случае трубопровод может быть комбинированным - одна секция - самотечная, другая - напорно-самотечная (следует отметить, что в напорно-самотечном трубопроводе только нефть течет, а в условиях безнапорных и свободно-самотечных нефть и газ движутся отдельно).

Кроме того, есть сети промысловых трубопроводов, которые обеспечивают нормальную работу. Например, для подачи воды в скважины для поддержания пластового давления. Промысловые трубопроводы-ингибиторы подают реагенты в нефтяные скважины. Например, деэмульгаторы, которые не позволяют закупорить пласт. Эта сеть представляет собой нефтяные технологические трубопроводы, упомянутые выше.

Таким образом, по нефтепроводам сырье направляется из скважины в нефтеперерабатывающий завод. Следующим этапом продвижения нефти станут магистральные нефтепроводы, которые доставляют продукт вплоть до нефтяных складов. Из этих нефтебаз нефтепродукты транспортируются непосредственно для конечного использования [1].

Целью подготовки (переработки) нефти является:

- дегазация;
- обезвоживание;
- опреснение;
- стабилизация.

## Дегазация нефти

Дегазация проводится для отделения газа от нефти. Устройство, в котором это происходит, называется сепаратором, и сам процесс разделения является сепарацией.

Процесс разделения происходит в несколько этапов. Чем больше ступеней разделения, тем больше выход дегазированной нефти из одного и того же количества пластовой жидкости [2]. Но в то же время увеличиваются инвестиции в сепараторы. В связи с вышеизложенным количество ступеней сепарации ограничено 2 или 3.

Сепараторы могут быть:

- горизонтальный;
- вертикальный;
- гидроциклонный.

1. Вертикальный сепаратор представляет собой вертикально установленный цилиндрический корпус с полусферическим дном [4]. Вертикальный сепаратор работает по следующему принципу образом (рисунок 1): смесь из нефти и газа под давлением подается в сепаратор через патрубок 1 в раздаточный коллектор 2 со щелевым выходом. Регулятор давления 3 в сепараторе устанавливает определенное давление, меньше начального давления смеси газа и жидкости. С помощью уменьшения давления, из смеси, в сепараторе высвобождается растворенный газ. Так как этот процесс не является мгновенным, время нахождения смеси в сепараторе, как вследствие, увеличивается, за счет установки полок наклонных 6, по которым смесь стекает в нижнюю часть аппарата. Выпускаемый газ поднимается. Здесь он проходит через жалюзийный каплеуловитель 4, который служит для, а затем идет к газопроводу. Условная нефть стекает вниз по дренажной трубе 12.

Контроль в нижней части сепаратора за уровнем нефти осуществляется с помощью регулятора уровня 8 и уровнемерного стекла 11. Шлам (песок, окалина и т.п.) из аппарата удаляется по трубопроводу 9.

Преимущества вертикальных сепараторов - относительная легкость регулировки уровня жидкости, а также очистка от парафиновых отложений и механических примесей. Эти сепараторы занимают относительно небольшую площадь, что особенно важно в морских промыслах, где промысловое оборудование устанавливается на платформах или эстакадах. Однако вертикальные сепараторы также имеют существенные недостатки; более низкая производительность по сравнению с горизонтальными с тем же диаметром устройства; меньшая эффективность сепарации.

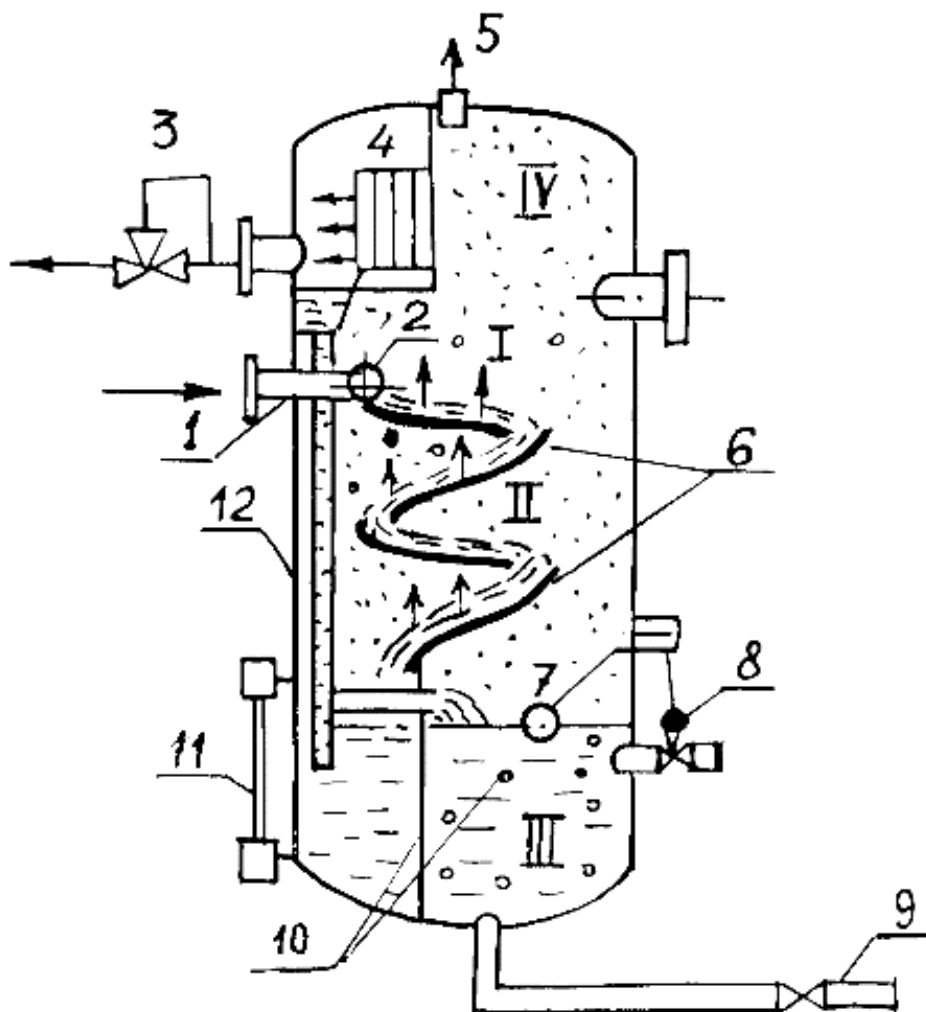


Рисунок 1 - Вертикальный сепаратор

2. Горизонтальный газонефтяной сепаратор (рисунок 2) состоит из технологического резервуара 1, внутри которого расположены две наклонные полки 4 и 5, пеногаситель 6, осушитель 8 и устройство 9 для предотвращения образования воронки при дренаже нефти. Технологическая емкость оборудована патрубком 2 для ввода газонефтяной смеси, штуцерами выхода газа 7 и нефти 10 и люк-лазом слева. Наклонные полки выполнены в виде желобов с отбортовкой не менее 150 мм. В тот момент, когда газовая смесь впрыскивается в сепаратор, устанавливается распределительное устройство 3.

Сепаратор работает следующим образом. Газонефтяная смесь проходит через патрубок 2 и распределитель 3 на полки 4 и 5, вдоль них стекает вниз на дно технологического сосуда. Стекая по наклонным полкам, нефть освобождается от пузырьков газа. Выделенный из нефти газ проходит пеногаситель 6, где пена разрушается, и осушитель 8, где он очищается от нефтяных капелек, и через выход газа 7 выводится из устройства. Дегазационная нефть накапливается на дне технологического сосуда и сливается из устройства через сопло 10 [4].

Для повышения эффективности процесса сепарации в горизонтальных сепараторах используют гидроциклонные устройства.

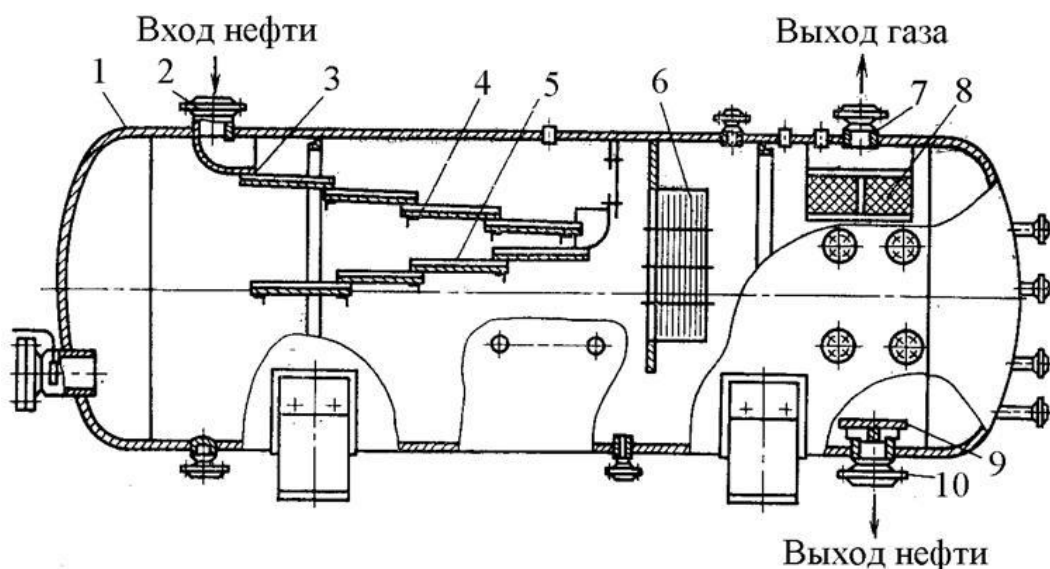


Рисунок 2 - Горизонтальный сепаратор нефти и газа

Газонефтяной сепаратор гидроциклонного типа (рисунок 3) состоит из технологического резервуара 1 и нескольких монотонных гидроциклонов 2. Однотонный циклон представляет собой вертикальное цилиндрическое устройство с тангенциальным входом газопроводной трубы 3 и секция перетока 4. В однотонном гидроциклоне смесь поворачивается вокруг направляющего патрубка и нисходящее движение, образуя нисходящий вихрь. Нефть под действием центробежной силы прижимается к стенке циклона, и газ выделяется и очищается от капель жидкости. Кроме того, поток газа проходит каплеотбойник 5, распределительные решетки 6 и выходит из сепаратора. Нефть по наклонным полкам 7 стекает в нижнюю часть емкости. Его уровень поддерживается регулятором 8 [6].

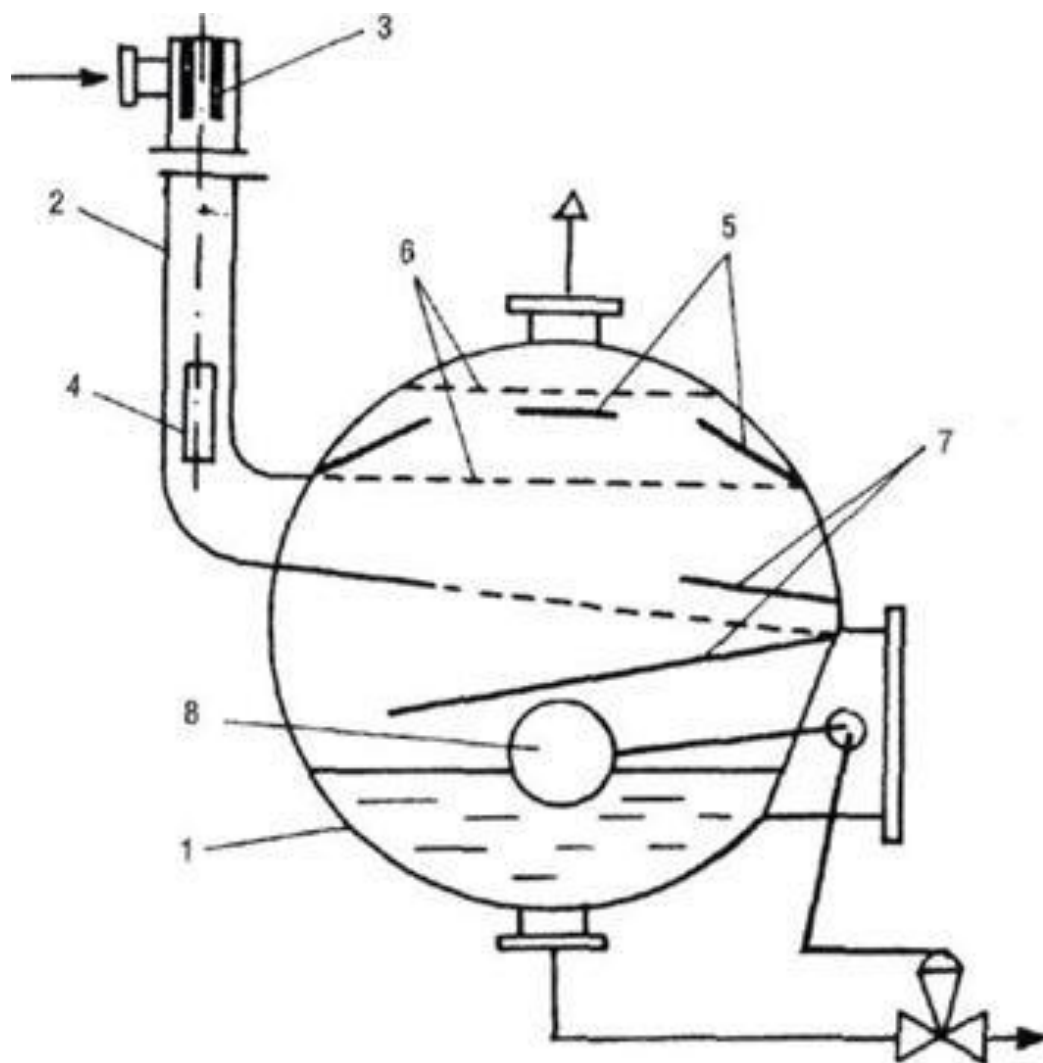


Рисунок 3 - Газонефтяной сепаратор гидроциклонного типа



## **Обезвоживание**

При извлечении из пласта, перемещение по насосно-компрессорным трубам в стволе скважины, а также по промысловым трубопроводам для добычи нефти и воды образуется водонефтяная эмульсию - механическая смесь нерастворимых друг в друге и находящихся в мелкодисперсном состоянии жидкостей. В соответствии с характером дисперсии среды и дисперсной фазы существуют два типа эмульсий; «нефть в воде» и «вода в нефти». Тип эмульсии формируется в основном по размеру фаз, а также по температуре, поверхностному натяжению на границе нефть-вода и т. д.

Одной из наиболее важных характеристик эмульсий является диаметр капель дисперсной фазы, потому что от него зависит скорость их осаждения.

Применяются следующие методы для разрушения эмульсий:

- термохимическое воздействие;
- внутритрубная деэмульсация;
- разделение в поле центробежных сил;
- гравитационное холодное разделение;
- фильтрация;
- электрическое воздействие;
- термическое воздействие;
- комплексный.

Холодное гравитационное разделение применяется при высоком содержании воды в пластовой жидкости. Отстаивание осуществляется в периодическом и непрерывном осадочных резервуарах.

В качестве отстойника чаще всего используются сырьевые цистерны, аналогичные резервуарам для хранения нефти. После заполнения этих резервуаров нефтью вода откладывается в нижней части.

В отстойниках непрерывного действия разделение воды осуществляется с непрерывным прохождением обработанной смеси через отстойник. Принципиальная схема непрерывного отстойника показана на рисунке 4.

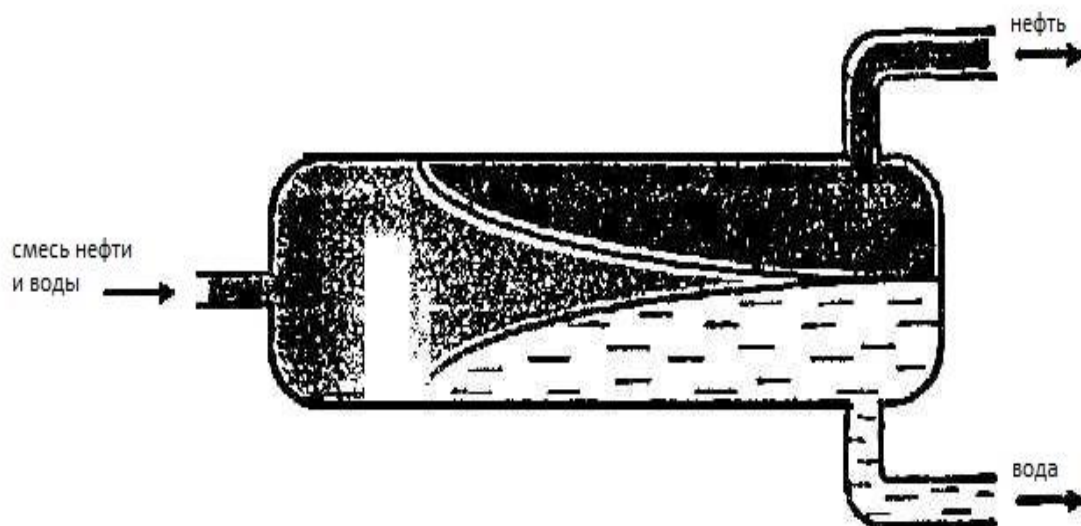


Рисунок 4 - Отстойника непрерывного действия

Длина отстойника определяется из условия, что капли заданного размера должны отделяться от нефти.

Суть метода внутритрубной деэмульсификации заключается в добавлении к смеси нефти и воды специального вещества - деэмульгатора в количестве 15 ... 20 г на тонну эмульсии. Деэмульгатор разрушает оболочку брони на поверхности капель воды и, таким образом, создает условия для их слияния при столкновениях. Впоследствии эти увеличенные капли относительно легко разделяются в фазе плотностей.

Тепловой эффект заключается в том, что нефть подвергается обезвоживанию. С другой стороны, при нагревании, с одной стороны, прочность бронированных оболочек на поверхности капель и, следовательно, их слияние облегчается, с другой стороны, вязкостью нефти, в которой капли оседают, и это увеличивает скорость разделения эмульсии.

Нагревают эмульсию в емкостях, теплообменниках и трубчатых печах до температуры 45 - 80 ° С.

Термохимический метод состоит из комбинации термического действия и внутритрубной деэмульсификации.

Электрический эффект на эмульсию осуществляется в аппаратах, называемых электрическими дегидраторами. Под действием электрического поля на противоположных концах капель воды появляются разноименные электрические заряды. В результате капли притягиваются друг к другу и сливаются. Затем они оседают на дне контейнера.

Фильтрация используется для разрушения нестабильных эмульсий. В качестве фильтрующего материала - вещества, которые не смачиваются водой. Поэтому нефть проникает сквозь фильтр, вода нет [5].

Разделение в области центробежных сил осуществляется в центрифугах, которые представляют собой вращающийся ротор с большим числом оборотов. Эмульсию подают на ротор вдоль полого вала. Здесь она под действием сил инерции разделяется, так как капли воды и нефти имеют различные плотности. При дегидратации содержание воды в масле уменьшается до 1 - 2%.

### **Обессоливание**

Обессоливание нефти осуществляют путем смешивания обезвоженной нефти с пресной водой, после чего полученную искусственную эмульсию снова обезвоживают. Эта последовательность технологических операций объясняется тем, что даже в дегидратированной нефти остается определенное количество воды, в которой растворяются соли. При смешивании с пресной водой соли распределяются по всему объему жидкости и, как следствие, их концентрация в воде падает. При обессоливании содержание солей в нефти уменьшается до величины менее 0,1%.

## **Стабилизация**

Процесс стабилизации нефти - это процесс отделения от нее легких (пропан-бутанов и частично бензиновых) фракций для уменьшения потерь нефти при последующей транспортировке.

Стабилизация нефти проводится с помощью горячей сепарации или методом ректификации. При воздействии горячей сепарации нефть сначала нагревают до температуры 40-80°C, а затем сепарируют. Легкие углеводороды высвобождаются во время процесса и отправляются в холодильную установку. В ней тяжелые углеводороды конденсируются, а легкие собираются и вводятся в газопровод.

Во время ректификации нефть под давлением и при повышенных температурах (до 240°C) нагревается в специальной стабилизирующей колонне. Отделенные в стабилизационной колонне легкие фракции конденсируют и перекачивают на газофракционирующие установки или на ГПЗ для дальнейшей переработки.

К степени стабилизации товарной нефти предъявляются строгие требования: давление упругости ее паров при 38°C должно быть не больше 0,066 МПа (500 мм рт.ст.) [6].

Как правило, для обеспечения каждой из рассмотренных (следующих) технологий применяется специальное оборудование. Однако, фактически, при осуществлении указанных технологических процессов необходимо перевести нефть, поступающую из скважины, в нестабильное агрегатное состояние, что облегчает получение необходимых результатов. Перевод нефти в неустойчивое агрегатное состояние называется активацией. В связи с этим, разработка технологий и оборудования, обладающего универсальными характеристиками, способствующими повышению эффективности процессов подготовки нефти, является актуальной задачей.

**Объект исследования** – электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промышленного нефтепровода.

**Предмет исследования** – Разработка конструкции установки обработки нефти, расчёт и анализ режимов работы вибромагнитной установки на основе построенной математической модели.

**Целью настоящей работы** является разработка практических рекомендаций по выбору параметров установки для вибромагнитной обработки нефти в промышленных нефтепроводах, обеспечивающей снижение вязкости и обладающей следующими параметрами:

1. Производительность установки  $25 \text{ м}^3/\text{час}$ ;
2. Габариты образца должны обеспечить свободное помещение в конструкции существующих промышленных трубопроводах.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать конструкцию установки для установки в промышленном нефтепроводе диаметром 245 мм;
- разработать математическую модель вибромагнитной установки, провести анализ режимов ее работы для различных конструктивных решений;
- на основании результатов анализа работы установки на математической модели разработать практические рекомендации по выбору элементов электропривода установки.

**Методы исследования** – В выпускной квалификационной работе применены: численные методы решения дифференциальных уравнений математическое моделирование в программной среде MathCAD15.

**Достоверность полученных результатов подтверждается** корректным применением допущений при математическом моделировании, применением известных методов решение систем дифференциальных уравнении.

## ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### 1.1 Анализ имеющихся оборудования и технологий для снижения вязкости нефти в промысловых трубопроводах.

В начале разработки целесообразно провести аналитический обзор передовых технологий транспортировки высоковязких нефтепродуктов по промысловым трубопроводам и способы снижения вязкости нефтепродуктов.

На нефтяных месторождениях чаще всего используют централизованную схему сбора и добычи нефти (рисунок 1.1). Сбор производственных продуктов производят из группы скважин на автоматизированные групповые замеры (АГЗУ). Из каждой скважины через отдельный трубопровод в АГЗУ нефть поступает с газом и пластовой водой. АГЗУ регистрируют точное количество нефти, подаваемой из каждой скважины, а также первичную сепарацию для частичного отделения пластовой воды, нефтяного газа и механических примесей с направлением отделяемого газа по газопроводу на ГПЗ (газоперерабатывающий завод). Частично обезвоженная и частично дегазированная нефть поступает в центр сбора в центральном пункте сбора (ЦПС). Обычно на одном нефтяном месторождении устраивают один ЦПС. Но в ряде случаев один ЦСП организован для нескольких месторождений с размещением на более крупном месторождении. В этом случае комплексные пункты сбора (КСП) могут быть построены на определенных месторождениях, где нефть частично обрабатывается. В ЦПС сосредоточены установки по подготовке нефти и воды. На установке по подготовке нефти осуществляют в комплексе все технологические операции по ее подготовке. Набор этого оборудования называется УКПН - блок для комплексной обработки нефти [3].

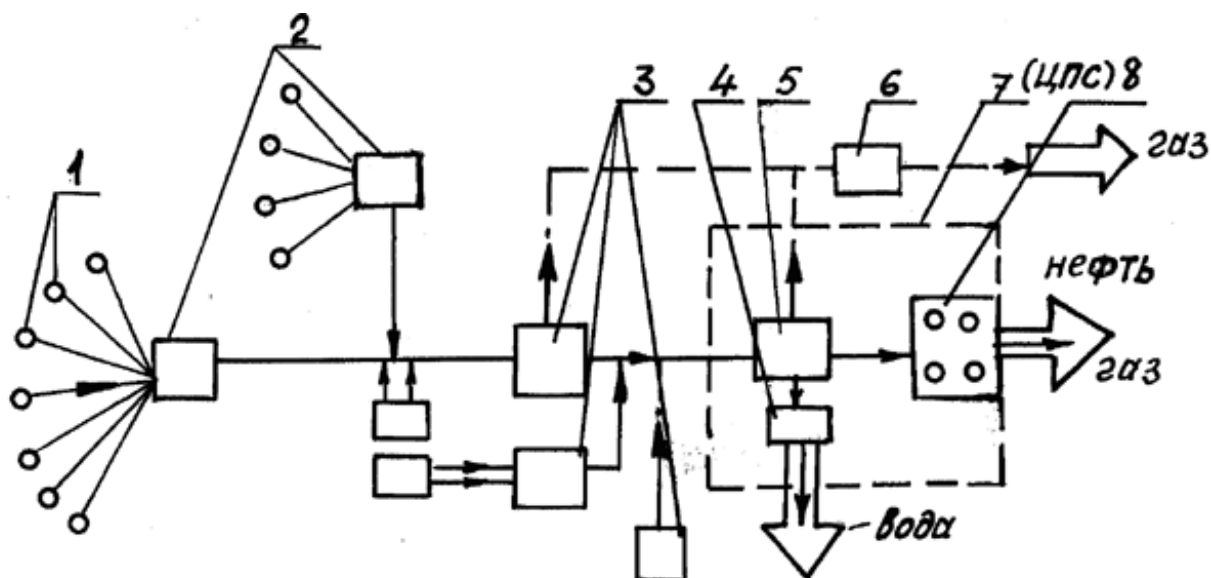


Рисунок 1.1 - Схема сбора и подготовки продукции скважин на нефтяном промысле

- 1- скважина нефтяная;
- 2- автоматизированные групповые замерные установки (АГЗУ);
- 3- дожимная насосная станция (ДНС);
- 4- установка очистки воды пластовой;
- 5- установка подготовки нефти;
- 6- станция газокompрессорная;
- 7- центральный пункт сбора газа, воды и нефти;
- 8- парк резервуарный.

Промысловые нефтепроводы предназначены для перегонки нефти непосредственно из скважин на различные участки в пределах промысла. Они делятся на несколько типов по разным параметрам: в соответствии с рабочим давлением (низким, средним и высоким), по способу прокладки (подводные или наземные, надземные или подземные), согласно схеме работы (с ответвлениями или без ответвлений), а также по типу давления (безнапорные или напорные).

Кроме этого, нефтепроводы на промыслах подразделяются на сборные коллекторы и выкидные линии.

Сборные коллекторы нефти перегоняют «черное золото» далее в установку для обработки нефти, далее из сырья удаляют вещества, замедляющие движение (минеральные соли, вода, газы). После обработки нефть становится легче. Выкидные линии выкачивают сырье непрямоу из скважин и перевозят его до измерительной установки. Диаметр труб колеблется (75-250) мм, а длина, в зависимости от устройства промысла, может составлять более 4 километров.

Нефть, транспортируемая через сборные коллекторы, зачастую представляет собой эмульсию (нефть + вода), содержащую все более или менее количество взвешенных механических частиц. Во время переноса жидкости из этой эмульсии выпадает свободная вода, кристаллы парафина, соли, механические примеси и т.д.

Условия осаждения воды, кристаллов парафина и солей, минеральных частиц и других примесей в потоке иные, чем в спокойной жидкости, так как в потоке действуют подъемные силы. Режим засорения происходит, когда частицы механических примесей и суспензии парафинов для низких скоростей потока не увлекаются потоком и оседают в трубе.

Появление режима засорения в сборных коллекторах вызывает осложнения в работе нефтепроводов. При расчете диаметра трубопроводов следует избегать скоростей, вызывающих этот режим. Кроме того, необходимо учесть, что когда эмульсия расслаивается и освобождается свободная вода, нижняя часть трубки интенсивно подвергается коррозии пластовой водой.

Рекомендуемый средний поток в трубе при прокачке нефти составляет от 1 до 2,2 м / с.

При эксплуатации промысловых нефтепроводов основные осложнения вызваны парафинами на внутренней поверхности труб и коррозией трубопроводов.



Основными факторами, влияющими на осаждение парафина в трубопроводах, являются:

1. Состояние поверхности стенки трубопровода в контакте с нефтью. Шероховатости на стенках труб способствуют отложению парафина, поскольку они усиливают перемешивание потока в турбулентном режиме движения и облегчают выделению газа из нефти непосредственно на стенки труб.

2. Растворяющая сила нефти по отношению к парафиновым соединениям. Опытным путем установлено, что чем тяжелее нефть, тем хуже в ней растворяются парафиновые соединения и, следовательно, парафин более интенсивно выделяется из этих нефтей и осаждается на стенках труб.

3. Концентрация парафиновых соединений в нефти. Чем больше концентрация соединений парафина, тем интенсивнее будет отложение парафина, при прочих равных условиях.

4. Температура кристаллизации парафина. Как известно, кристаллизация парафина, т. е. образование твердой фазы, происходит при разных диапазонах температуры. Образование парафинов, которые кристаллизуются при высоких температурах и осаждаются на стенках труб, происходит раньше, чем парафины, которые кристаллизуются при низких температурах.

5. Скорость снижения давления в потоке нефти. Чем выше перепад давления, тем интенсивнее образование и смещение газа из нефти, который помогает снизить температуру потока нефти и газа. Кроме того, дегазация нефти влечет за собой выделение легких фракций, которые являются лучшим растворителем парафиновых соединений.

6. Скорость потока нефти и газа. Многочисленные эксперименты установили, что чем меньше скорость движения нефти, т. е. чем меньше

скорость добычи из скважины, тем больше формируются отложения парафинов.

#### 7. Наличие воды в нефти.

На промыслах могут быть рекомендованы следующие основные методы, которые предотвращают образование парафиновых отложений:

- Применение системы сбора под высоким давлением (1-1,5 МПа), что значительно снижает дегазацию нефти;
- Использование различных нагревателей для нагрева нефти в трубопроводах;
- Покрытие внутренней поверхности трубопроводов различными эпоксидными смолами и стекловолокном, что снижает шероховатость поверхности труб;
- Использование специальных ингибиторов парафинов;
- Использование поверхностно-активных веществ, применяемых к забоям или устьям скважин в поток обводненной нефти. Подача поверхностно-активных веществ в водозаборных скважинах полностью предотвращает образование нефтяной эмульсии, в результате чего стенки выкидных линий контактируют не с нефтью, способствующей прилипанию твердых частиц парафина, а с пластовой водой, что отрицательно влияет на осаждение парафина;
- Применение теплоизоляции, которая в то же время будет антикоррозийным покрытием;
- Использование резиновых шариков, периодически вводимых в выкидные линии.

Срок службы и надежность работы промысловых трубопроводов во многом определяются степенью защиты их от разрушения при взаимодействии с внешней и внутренней средой.

Обезвоженная, обессоленная и дегазированная нефть после окончательной проверки поступает в коммерческие нефтяные резервуары и далее на головную насосную станцию магистрального нефтепровода.

Реже используется метод виброструйной магнитной активации на основе вибрации (ВСМА) с добавлением депрессоров. Этот метод менее энергоемкий, но требует тонкого выбора режимов работы вибраторов и химических реагентов.

Рассмотрена область механических, электромеханических и акустических воздействий на окружающую среду, образованная поверхностью моторной части и активатором. Эта область характеризуется следующим комплексом физических эффектов: чередующейся подсистемой, скоростью движения, магнитным полем, акустическим полем.

Эффективность технологии ВСМА протестирована на всех объектах Российской Федерации и Вьетнама, в лабораторных и промышленных условиях.

Технология виброструйной магнитной активации зарекомендовала себя для подготовки высокопарафинистых нефтей к транспорту, но конкретные установки ВСМА имеют среднюю производительность и могут быть использованы на промысловых нефтепроводах.

Использование рассматриваемых устройств очистки нефти в условиях эксплуатации нефтепроводов, как правило, сопровождается определенными трудностями с точки зрения их местоположения, такими как техническое обслуживание. Поэтому разработка нефтеперерабатывающего оборудования, работающего в условиях эксплуатации на промыслах, и обеспечивающего многофункциональное воздействие, влияющее на эффективность различных технологических процессов, является актуальной задачей.

## 1.2 Технология и оборудование ВСМА

Технология ВСМА является запатентованным методом многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные жидкие системы, используемые для их реологических свойств и получения требуемых параметров. Технология ВСМА обеспечивает: диспергацию дисперсных соединений на микронном уровне, высокоэффективное и производственное получение или разрушение устойчивых надмолекулярных структур различных жидких систем, интенсификацию процессов массообмена.

Многокомпонентное физическое воздействие ВСМА характеризуется предельными значениями параметров [6]:

- частота модуляции основного воздействия 0,1-10 Гц;
- частота основного воздействия 50 Гц;
- скорость затопленных струй до 10 м/с;
- магнитная индукция в зоне активации до 1,9 Тл;
- сдвиговая скорость до  $15 \times 10^3 \text{С}^{-1}$ ;
- ускорение рабочего органа до 100 д;
- перепад давления в зоне активации до 3 атм.

Регулировка параметров энергосистемы ВСМА позволяет изменять уровень физического воздействия в широком диапазоне.

Технология ВСМА обеспечивает значительное повышение эффективности использования различных химических добавок-реагентов.

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

Виброструйная магнитная активация нефти изменяет ее фракционный состав, температуру застывания и температуру кипения, а выход «легких» фракций увеличивается до 20%. Увеличение объема конденсата напрямую зависит от количества энергии физических полей, передаваемых нефти, а удельная энергетическая интенсивность процесса зависит от физико-химических свойств и группового состава нефти.

Технология ВСМА создает комплексное воздействие на окружающую среду: высокие скорости сдвига; акустическое поле; мощное магнитное поле; дополнительный эффект сжатия. Использование таких типов физических эффектов создается для достижения конечного уровня разрушения структуры молекулярных кристаллов для обеспечения процессов массообмена. Колебательное действие с определенной энергией при разрушении кристаллических структур может привести к сильному изменению структурно-вязких свойств нефти и даже изменить групповой и фракционный состав.

В настоящее время детально изучена зависимость реологических свойств высокопарафинистой нефти от влияния вибрационных воздействий.

Колебательная система, которая состоит из двигателя, упругих элементов и вибрационного конфузора (активатора), опускается в жидкость, являющуюся объектом обработки. Энергия, которая необходима для поддержания стабильных возвратно-колебательных движений активатора, переносится в систему с помощью магнитного поля. Происходит огромное влияние на частоту собственных колебаний механической системы, зависящую, в частности, от механических свойств среды в которой находится активатор: вязкости, плотности, статического напряжения сдвига.

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.

#### **1.4 Задача проектирования**

Из вышеизложенного следует, что преимущества оборудования и технологии виброструйной магнитной активации, представленные выше, обусловленные наличием высоких удельных характеристик, а также физических воздействий на обрабатываемую среду, устраняют недостатки существующих устройств и методов, применяемых для уменьшения вязкости нефти в промысловых трубопроводах.

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.

Резонансный режим работы ВСМА-устройств обеспечивает максимальные удельные параметры по производительности с минимальными затратами энергии. Практические параметры обработанных жидкостей, учитывая их изменяющийся состав компонентов, не являются постоянными. Тогда для обеспечения работы устройств ВСМА в режимах, близких к резонансу, необходимо предусмотреть возможность изменения частоты.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА УСТРОЙСТВА

### 2.1 Конструкция модуля виброобработки

Из опыта разработки технологий ВСМА следует, что наиболее целесообразным в разработке конструкций устройства для обработки нефти промысловых трубопроводов является модульный подход, который позволяет оптимально решать задачи, поставленные в работе: обеспечение требуемой производительности при заданных габаритах. Кроме того, решается задача обеспечения высокой работоспособности и надежности.

Модуль виброобработки (МВО) (рисунок 2.1) является основной частью виброактиватора для нефтепереработки промысловых нефтепроводов и прямой подачи магнитных воздействий на жидкую среду [2].

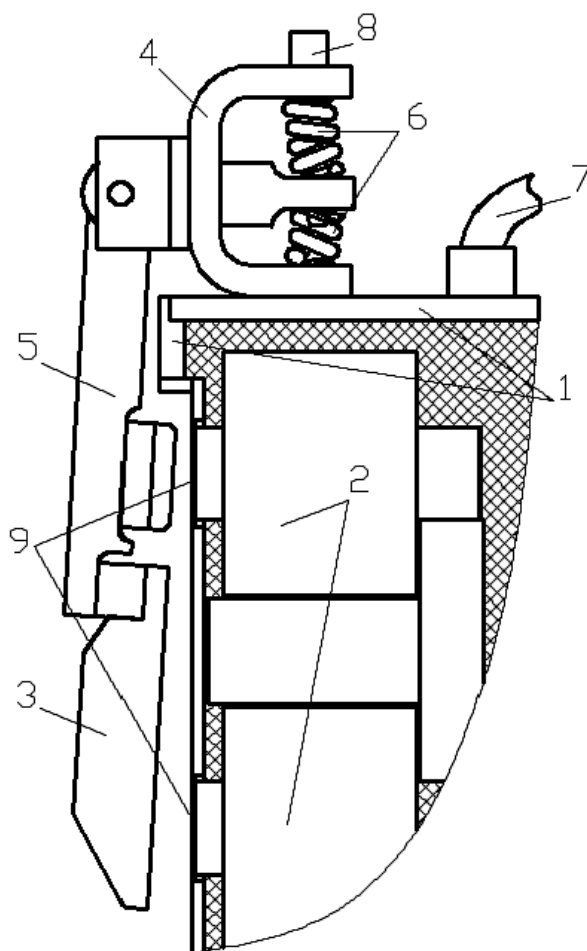


Рисунок 2.1 - Конструкция модуля виброобработки

Модуль виброобработки состоит:

- 1-корпус;
- 2-электромагнит;
- 3-активатор;
- 4-кронштейн;
- 5-рычаг;
- 6-пружина;
- 7-устройство ввода;
- 8-регулирующий винт;
- 9-стенка МВО.

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в объеме, изолированном от воздействия среды, и поэтому он должен быть герметизирован. Пространство корпуса, не занятое электромагнитом, заливается компаундом для обеспечения лучшего рассеивания тепла от обмоток и магнитопровода.

Электромагнит 2 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жестко связан с телом, поэтому в этой конструкции колебания совершает активатор 3, являющийся якорем электромагнита. Сердечник электромагнита изготовлен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. Одинаковые катушки расположены на обоих стержнях сердечника. Активатор выполнен круглой формы из цельной заготовки. В корпусе активатора создается специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор 3 прикреплен к длинному рычагу 5. Подвижные элементы МВО прикрепляются к корпусу с помощью 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.

## **2.2 Расчёт количества единичных модулей вибромагнитной установки**

МВО, который представляет собой колебательную систему, работает в резонансном режиме, что позволяет осуществлять комплексное виброустойчивое магнитное воздействие при минимальных затратах энергии. Это объясняется тем, что амплитуда колебаний активатора при резонансе является максимальной. Резонансный режим обеспечивается соответствующим отношением значений массы колеблющихся элементов и жёсткости пружин. Начальным значением для определения значений жёсткости пружины является масса активатора.

Единичный модуль оборудования обеспечивает определенную производительность. Расчет производительности одного модуля на основе следующих данных:

- размер активатора;
- расчетный начальный зазор между активатором и корпусом модуля;
- частота колебаний активатора.

Размер активатора выбирается исходя из размеров магнитопровода. Размеры магнитопровода для каждого случая определяются заданием для ВКР.

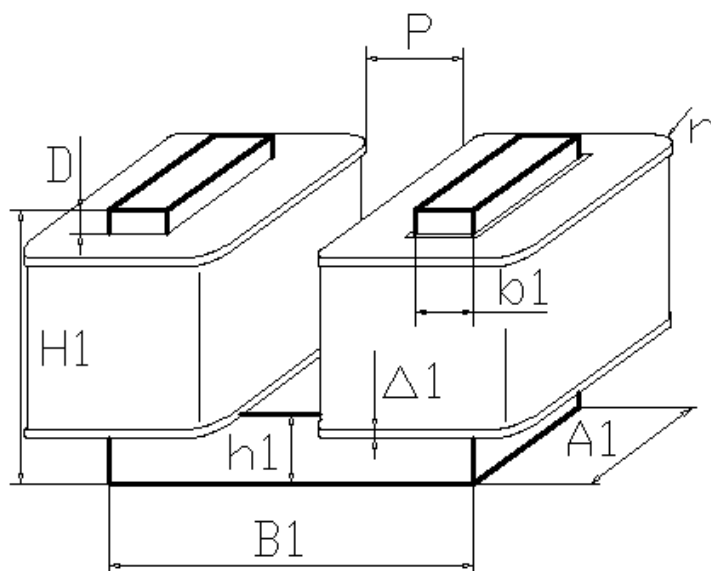


Рисунок 2.2 - Схема магнитопровода

Табличные данные по размерам магнитопровода представлены в таблице

Таблица 2.1 - Размеры магнитопровода

Расстояние между обмотками	$P=2$ мм
Зазор между обмоткой и стенкой корпуса	$D = 4$ мм
Высота спинки	$h1=20$ мм
Высота стержня	$H1=80$ мм
Ширина	$b1=17$ мм
Длина полюса	$A1=36$ мм
Длина спинки	$B1=80$ мм
Толщина стенки каркаса обмотки	$\Delta 1=2$ мм

Наружный диаметр активатора рассчитывается по формуле:

$$D_{акт} = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,107 = 0,118 м , \quad (2.2.1)$$

Расчётный расход обрабатываемой жидкости (м<sup>3</sup>/час) при колебаниях активатора рассчитывается по формуле:

$$Q = 2 \cdot S_{акт} \cdot \delta_0 \cdot f \cdot 3600 = 2 \cdot 0,011 \cdot 0,005 \cdot 50 \cdot 3600 = 19,585 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.2.2)$$

где:

$S_{акт}$  – площадь сечения активатора.

Площадь активатора рассчитывается по формуле:

$$S_{акт} = D_{акт}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,118 \cdot \frac{3,14}{4} = 0,011 \text{ м}^2, \quad (2.2.3)$$

где:

$\delta_0=0,005\text{м}$  - расчётный начальный зазор;

$f=50$  Гц - частота колебаний активатора.

Расчётная производительность активации устройств ВСМА по экспериментальным данным равна 0,15 от Q:

$$Q_{расч} = 0,15 \cdot Q = 0,15 \cdot 19,585 = 2,938 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.2.4)$$

По приведённым данным производится расчёт количества единичных модулей K, необходимых для обеспечения производительности установки, заданной в задании на выполнение ВКР:

$$K = \frac{Q_{\Sigma}}{Q} = \frac{25}{2,938} = 8,51, \quad (2.2.5)$$

где:

$Q_{\Sigma}=25 \text{ м}^3/\text{ч}$  – производительность устройства в задании на ВКР.

Расчёты показывают, что для обеспечения заданной в работе производительности устройства необходимо использовать не менее 9 МВО.

### 2.3 Расчёт обмоточных данных.

Основой для расчёта обмоточных данных являются размеры магнитопровода. Обмотка может быть размещена в межстержневом пространстве магнитопровода. Площадь сечения окна, в котором может быть размещена обмотка, составляет:

$$\begin{aligned} S_{\text{окн}} &= (B1 - 2 \cdot b1 - 2 \cdot \Delta1 - P_{\text{об}}) \cdot (H1 - h1 - 2 \cdot \Delta1 - D) = \\ &= (0,107 - 2 \cdot 0,017 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) \cdot (0,08 - 0,02 - \\ &- 2 \cdot 0,002 - 0,004) = 3,484 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

Для размещения обмоток на магнитопроводе используется только часть площади  $S$ . Рекомендуется использовать:

$$S'_{\text{окн}} = S_{\text{окн}} \cdot 0,9 = 3,484 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 = 3,136 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \quad (2.3.2)$$

По технологическим соображениям для обмоток устройств ВСМА рекомендуется выбирать обмоточный провод диаметром в диапазоне от 0,3 до 1,5 мм. Произвольно выбирается провод из данного диапазона по справочным данным равный 1,35 мм марки ПЭВ-1 (провод, изолированный высокопрочной эмалью винифлекс).

Для выбранного провода рассчитывается количество витков количество витков в одной катушке магнитопровода:

$$K_p = \frac{2 \cdot S'_{\text{окн}} \cdot k_{\text{зап}}}{\pi \cdot d_{\text{пр.и}}^2} = \frac{2 \cdot 3,136 \cdot 10^{-3} \cdot 0,65}{3,14 \cdot 0,00143^2} = 634,515, \quad (2.3.3)$$

где:

$k_{\text{зап}}$  - коэффициент заполнения;

$d_{\text{пр.и}}$  - диаметр обмоточного провода в изоляции.

Принимаем количество витков одной обмотки равным  $K_p = 650$ .

## 2.4 Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита

Для расчёта активного сопротивления катушек необходимо знать длину провода, необходимого для намотки катушек. Длину провода можно определить, зная количество витков и среднюю длину витка катушки.

Для определения длины конечного витка катушки необходимо определить толщину обмотки  $C$ :

$$\begin{aligned} C &= \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P_{об}}{2} = \\ &= \frac{0,107 - 2 \cdot 0,017 - 2 \cdot 0,002 - 0,002}{2} = 0,034, \end{aligned} \quad (2.4.1)$$

В свою очередь  $N$  можно определить следующим образом:

$$N_{сл.об} = \frac{Q}{d_{np.u}} = \frac{0,034}{0,00143} = 23,427, \quad (2.4.2)$$

Количество слоев принимаем равным  $N_{сл.об}=24$ .

Средний радиус скругления обмотки рассчитывается по формуле:

$$R_{ск.p} = \frac{(N_{сл.об} + 1) \cdot d_{np.u}}{2} = \frac{(23 + 1) \cdot 0,00143}{2} = 0,018 м, \quad (2.4.3)$$

Длина среднего витка обмотки рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} L_{cp} &= 2(b1 + A1 + 2\Delta1) + 2\pi \cdot R_{ск.p} = \\ &= 2(0,017 + 0,036 + 2 \cdot 0,002) + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,018 = 0,226 м, \end{aligned} \quad (2.4.5)$$

Длина провода обмотки рассчитывается по формуле:

$$L_{np.об} = L_{cp} \cdot K = 0,226 \cdot 650 = 147,103 м, \quad (2.4.6)$$

Активное сопротивление обмотки рассчитывается по формуле:

$$R_{об} = 4 \cdot \rho_m \cdot \frac{L_{np.об}}{\pi \cdot d_{np}^2} = 4 \cdot 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{147,103}{3,14 \cdot 0,00135^2} = 1,798 Ом \quad (2.4.7)$$

Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии рассчитывается по формуле:

$$R_{об.гор} = R_{об} \cdot (1 + \tau_m \cdot \Delta T) = 1,798 \cdot (1 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 55) = 2,174 \text{ Ом}, \quad (2.4.9)$$

## 2.5 Расчёт массы активатора

Масса активатора рассчитывается по геометрическим размерам. Общий вид конструкций активатора приведен на рисунке 8. Внешний диаметр активатора был определен ранее. Диаметр внутреннего конуса активатора считается красным ( $B1-2 \cdot b1$ ). Высота активатора 0,4 от внешнего диаметра активатора. Угол внутренней части конуса зависит в пределах от  $65^\circ$  до  $75^\circ$ . Значение угла конуса, составляющего внешний контур, рекомендуется в диапазоне от  $150^\circ$  до  $160^\circ$ .

Расчет массы активатора носит предварительный характер и с его реализацией можно сделать некоторые допущения упрощающие расчет. Учитывая, что активатор изготовлен из магнитопроводящей стали, плотность материала активатора составляет  $7800 \text{ кг / м}^3$ . Объем активатора, занятый стальной частью, может быть представлен как набор деталей, цилиндрической и конической формы. Упрощенная схема составных частей активатора, показанного на рисунке 2.3, может быть распределена следующим образом [6]:

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

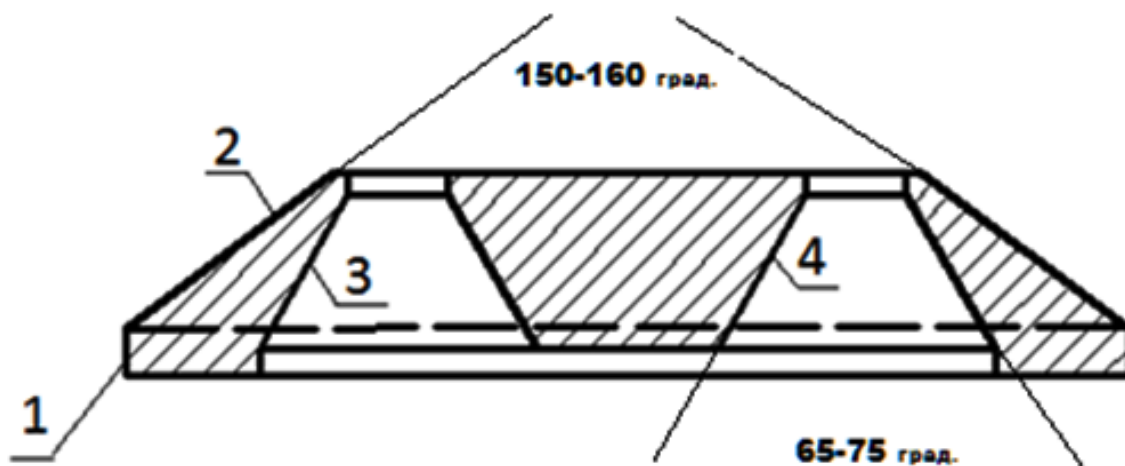


Рисунок 2.3 - Общий вид конструкции виброактиватора

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

Тогда объём материала активатора можно определить

$$V_{\text{общ}} = V1 + V2 - V3 + V4 , \quad (2.5.1)$$

где:

$V_1$  - объём основания активатора цилиндра;

$V_2$  - объём усечённого конуса, образованного наружной формой активатора;

$V_3$  - объём усечённого конуса, образованного внешней образующей полости внутри активатора;

$V_4$  - объём усечённого конуса, образованного внутренней образующей полости внутри активатора.

Объёмы частей активатора рассчитываются по формулам:

цилиндрическая часть:

$$V1 = \pi \cdot H \cdot R_{\text{осн.акт}}^2 = 3,14 \cdot 7 \cdot 59^2 = 76512 \text{ мм}^3 , \quad (2.5.2)$$

конусные части:

$$V2 = \frac{1}{3} \pi \cdot H \cdot (R_{осн.1}^2 + R_{осн.1} \cdot R_{осн.2} + R_{осн.2}^2), \quad (2.5.3)$$

где:

$R_{осн.1}$  – радиус основания усеч-ого нижнего конуса;

$R_{осн.2}$  – радиус основания усеч-ого верхнего конуса.

$$\begin{aligned} V2 &= \frac{1}{3} \pi \cdot H \cdot (R_{осн.1}^2 + R_{осн.1} \cdot R_{осн.2} + R_{осн.2}^2) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot (59^2 + 59 \cdot 28 + 28^2) = 123862 \text{ мм}^3, \end{aligned} \quad (2.5.4)$$

$$\begin{aligned} V3 &= \frac{1}{3} \pi \cdot H \cdot (R_{осн.1}^2 + R_{осн.1} \cdot R_{осн.2} + R_{осн.2}^2) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot (37^2 + 37 \cdot 26 + 26^2) = 78683 \text{ мм}^3, \end{aligned} \quad (2.5.5)$$

$$\begin{aligned} V4 &= \frac{1}{3} \pi \cdot H \cdot (R_{осн.1}^2 + R_{осн.1} \cdot R_{осн.2} + R_{осн.2}^2) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 22 \cdot (18^2 + 18 \cdot 7 + 7^2) = 11490 \text{ мм}^3, \end{aligned} \quad (2.5.6)$$

$$\begin{aligned} V_{общ} &= V1 + V2 - V3 + V4 = \\ &= 76512 + 123862 - 78683 + 11490 = 133181 \text{ мм}^3, \end{aligned} \quad (2.5.7)$$

Масса активатора рассчитывается по формуле:

$$m = \rho \cdot V_{общ} = 7800 \cdot 0,000133181 = 1,039 \text{ кг}, \quad (2.5.8)$$



## 2.6 Расчёт жёсткости пружинного подвеса активатора.

Расчёт жёсткости пружин производится из условий обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА на собственной частоте колебательного контура. Для этого необходимо знать величину собственной частоты устройства ВСМА. Опыт эксплуатации устройств ВСМА показывает, что для большинства случаев разность резонансной частоты работы устройств в обрабатываемой жидкости и собственной частоты колебательного контура составляет от 10 до 15 Гц. Если принять условие, что работа проектируемого устройства должна осуществляться на частоте промышленной электрической сети 50 Гц, то собственная частота колебательного контура должна быть равна 70-65 Гц. Принимаем собственную частоту колебательного контура установки равной 68 Гц.

Объем материала активатора, рассчитан по приведенным формулам и составляет 133181 мм<sup>3</sup>. Расчетная масса активатора составляет 1,039кг.

Для приведенных значений жесткость рассчитывается:

$$q = \omega_0^2 \cdot m = (2 \cdot 3,14 \cdot 68)^2 \cdot 1,039 = 189475 \frac{H}{м}, \quad (2.6.1)$$

где:

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$  - угловая частота собственных колебаний;

$M$  - масса подвижных элементов электромеханического преобразователя (активатора).

## 2.7 Расчёт механического сопротивления колебаний активатора в вязкой среде.

Следует иметь в виду, что данная частота соответствует собственной частоте, при его работе на воздухе, где практически отсутствуют потери трения и присоединённая масса среды.

Так как разрабатываемое устройство, предназначено для работы в жидкой среде, то необходимо определить собственную частоту колебаний в среде жидкости, учитывая присоединённую массу. Присоединённая масса среды определяется по выражению

$$M_{np} = \frac{8}{3} \rho_{cp} \cdot R_{экв}^3 = \frac{8}{3} \cdot 870 \cdot 0,059^3 = 0,473 \text{ кг}, \quad (2.7.1)$$

где:

$\rho_{cp}$  – плотность среды;

$R_{экв}$  - эквивалентный радиус активатора.

Зная массу активатора и присоединённую массу среды можно определить собственную частоту колебаний активатора в среде

$$\omega_{с.ж.} = \sqrt{\frac{q_{собст}}{m + M_{np}}} = \sqrt{\frac{189475}{1,039 + 0,473}} = 354 \text{ рад/с}, \quad (2.7.2)$$

Из опыта экспериментальных исследований установлено, что с учётом потерь на вязкое трение, резонансная частота вынужденных колебаний активатора при работе в вязком нефтепродукте отличается на 50 и более рад/сек в меньшую сторону от собственной. В практических расчётах можно принять величину  $\omega_{р.ж.}$ , отличающуюся от  $\omega_{с.ж.}$  на 60 рад/с.

По полученным данным можно произвести расчёт механического сопротивления колебаниям активатора в вязкой среде:

$$\begin{aligned}
 R_{m0} &= \sqrt{2 \cdot (m + M_{np})^2 \cdot (\omega_{с.жс.}^2 - \omega_{р.жс.}^2)} = \\
 &= \sqrt{2 \cdot (1,039 + 0,473)^2 \cdot (354^2 - 344^2)} = 178,679 \text{ кг/с}, \quad (2.7.3)
 \end{aligned}$$

Рассчитанные в данном разделе параметры необходимы для использования в уравнении движения активатора в разделе математическое моделирование работы устройства вибромагнитной обработки вязких нефтепродуктов в промышленном нефтепроводе.

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.

Габариты основных элементов единичного модуля были определены ранее в разделе 2.2. Основным объектом, определяющим габаритные размеры области применения устройства, в нашем случае является труба нефтепровода. Обработка нефтепродуктов предполагает, что устройство должно размещаться в потоке нефтепродукта. Следовательно, разрабатываемое устройство и его элементы должны размещаться внутри потока нефтепродукта и при этом не создавать дополнительные препятствия течению. Данное требование можно выполнить, применив для размещения блоков виброструйной обработки в трубе большего диаметра, чем труба нефтепровода.

## ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

### 3.1 Уравнения электрических контуров.

Электрическая схема состоит из основного и двух короткозамкнутых (КЗ) контуров. Основной электрический контур включает в себя электромагнит, включающий индуктивности катушек  $L1$  и  $L2$ , активные сопротивления катушек  $R1$  и  $R2$ , и диод  $VD$ . Энергия распространения колебаний в пространстве, зависит от частоты возмущений. Чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии колебаний в среде. С помощью диода  $VD$  можно обеспечивать частоту возмущающей силы 50 Гц при частоте питающего напряжения 50 Гц [5].

Короткозамкнутые контуры, которые созданы конструктивными элементами стенки корпуса МВО, отделяющей активаторы и электромагниты, на схеме замещения представлены индуктивностью  $L_{кз}$  и активными сопротивлениями  $R_{кз}$ . Разрабатываемое устройство полностью погружено в обрабатываемую жидкую среду. Следовательно, конструктивно должно быть предусмотрено герметичное размещение элементов электропривода, обеспечивающее их защиту от воздействия жидкой агрессивной среды. Поэтому элементы электропривода размещены в герметичном корпусе, отделённом от жидкой обрабатываемой среды стенкой из прочного немагнитопроводящего материала. Таким материалом является листовая нержавеющая сталь. Расположение нержавеющей стали в зазоре магнитной цепи электромагнитного привода обуславливает наличие короткозамкнутого витка под каждым полюсом электромагнита.

Следовательно, помимо основного электрического контура, состоящего из двух катушек и диода, устройство имеет два короткозамкнутых контура. Указанные короткозамкнутые витки полностью идентичны, поэтому в схемах замещения их можно рассматривать как одно целое.

Учитывая выше приведённые данные, расчётная схема электрической части устройства может быть представлена, как показана на рисунке 3.1.

При подаче напряжения в цепи будет формироваться однополярное напряжение и, соответственно, по цепи катушек будет протекать однополярный ток, формирующий силу электромагнитного притяжения якоря (активатора) к полюсам электромагнита. Частота электромагнитного притяжения в данном случае будет иметь частоту 50 Гц. С данной частотой в рассмотренные периоды времени якорь (активатор) будет притягиваться к полюсам электромагнита. При запираии диода ток в цепи становится равным нулю и активатор под действием восстанавливающей силы, создаваемой пружиной, будет двигаться в обратном направлении от полюсов. Таким образом, при постоянном питании схемы активатор будет совершать колебательные движения.

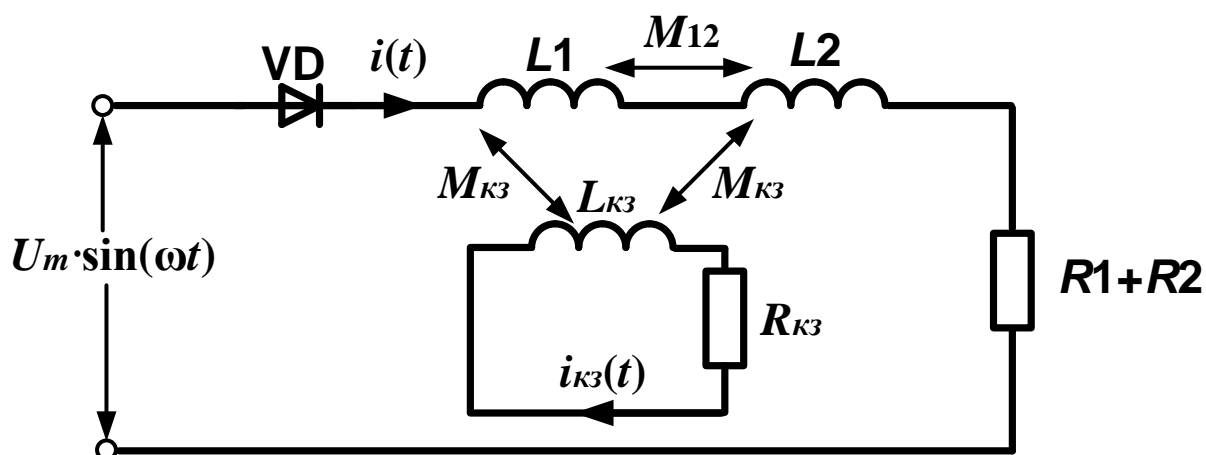


Рисунок 3.1 - Схема замещения электрической части устройства

Схема (рисунок 3.1) включает в себя следующие элементы:

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

- $M_{кз1кз2}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми катушками;
- $M_{1кз1}, M_{1кз2}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и катушками.

Рассчитаем параметры электрического контура для начального зазора.

Активные сопротивления катушек рассчитано ранее и равно (по заданию):

$$R_1 = R_2 = R_{ак} = 2,002 \text{ Ом}, \quad (3.1.1)$$

Рассчитаем значений индуктивности основного контура  $L_1, L_2$ , для начального зазора:

$$L_k = L_1 = L_2 = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W^2}{0,5 \left( \frac{l + (\delta - X_0) \cdot \mu_{ст.10}}{\sigma} \right)}, \quad (3.1.2)$$

$$= \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 6,12 \cdot 10^{-4} \cdot 650^2}{0,5 \left( \frac{0,322 + 0,001 \cdot 4000}{1,5} \right)} = 0,062 \text{ Гн}$$

где:

$X$  – амплитуда колебаний активатор;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{ст.10}$  – относительная магнитная проницаемость стали Ст10;

$\sigma$  - коэффициент рассеивания в зазоре;

$W$  – число витков катушки.

$l_{маг}$  – длина магнитного пути;

$\delta = X_0 + 1 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  ширина воздушного зазора;

$S$  – сечение полюсного наконечника, которое определяется формулой:

$$S = A1 \cdot b1 = 0,036 \cdot 0,017 = 6,12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.1.3)$$

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{\text{кз}} = \frac{\mu_{\text{ст.10}} \cdot \mu_0 \cdot S}{l} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 6,12 \cdot 10^{-4}}{0,322} = 3,846 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, \quad (3.1.4)$$

Принимаем следующие значения взаимных индуктивностей

$$M_{12} = \frac{\mu_{\text{ст.10}} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W^2}{l + (\delta - X_0) \cdot \mu_{\text{ст.10}}} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 6,12 \cdot 10^{-4} \cdot 650^2}{0,332 + 0,001 \cdot 4000} = \frac{\sigma}{1,5}, \quad (3.1.5)$$

$$= 0,035 \text{ Гн}$$

Взаимоиндуктивность между короткозамкнутыми витками:

$$M_{\text{кз}} = \frac{\mu_{\text{ст.10}} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W}{\frac{(\delta - X_0) \cdot \mu_{\text{ст.10}}}{\sigma} + \frac{l}{0,5}} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 6,12 \cdot 10^{-4} \cdot 650}{\frac{0,001 \cdot 4000}{1,5} + \frac{0,322}{0,5}}, \quad (3.1.6)$$

$$= 2,131 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

Уравнение для основного контура определяется по формуле:

$$U_m \sin \omega t = i_{\text{к}} + R_{\text{к}} + \frac{d\Psi_{\Sigma}}{dt}, \quad (3.1.7)$$

где:

$\Psi_{\Sigma}$  - суммарное потокосцепление катушек L1,L2

$i_{\text{к}}$  - ток протекающий в основном контуре;

$R_{\text{к}}$  - Активное сопротивление основного контура.

$\Psi_{\Sigma}$  - суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\Psi_{\Sigma} = \Psi_1 + \Psi_2, \quad (3.1.8)$$

$\Psi_1$ - суммарное потокосцепление катушки L1, которая представляет собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

$\Psi_2$ - суммарное потокосцепление катушки L2, которая представляет собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

$\Psi_1$  суммарное потокосцепление катушки L1 определяется как:

$$\Psi_1 = \Psi_{\text{соб.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд.К1}}, \quad (3.1.9)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд1}} = i_k \cdot L_1$ , - собственное потокосцепление катушки L1;

$\Psi_{\text{в.инд1}} = i_k \cdot M_{12}$ , - потокосцепление катушки L1 с катушкой  $L_2$ ;

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{\text{кз}} \cdot M_{1\text{кз1}}$  - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

$\Psi_2$  - суммарное потокосцепление катушки L2 определяется как:

$$\Psi_2 = \Psi_{\text{соб.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд.К2}}, \quad (3.1.10)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд2}} = i_k \cdot L_2$ , - собственная потокосцепление катушки L2;

$\Psi_{\text{в.инд1}} = i_k \cdot M_{12}$ , - взаимная потокосцепление катушки  $L_1, L_2$ ;

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{\text{кз}} \cdot M_{1\text{кз2}}$ , - взаимная потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение:

$$U_m \sin \omega t = i_k + R_k + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{d\Psi_2}{dt}, \quad (3.1.11)$$



где:

потокосцепление  $\Psi_1, \Psi_2$  будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K1}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_1}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa31}}{dt}, \quad (3.1.12)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K2}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_2}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa32}}{dt}, \quad (3.1.13)$$

Используя выражение получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) &= i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \\ &+ i_{\kappa} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa32}}{dt} \right) + \\ &+ \frac{di_{\kappa}}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\kappa31} + M_{1\kappa32}) \end{aligned}, \quad (3.1.14)$$

Упростим уравнение, заменив дифференциал произведения на суммы двух дифференциалов:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) &= Um \cdot \sin(\omega t) - i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - \\ &- i_{\kappa} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\kappa31-1} + M_{\kappa32-1} + M_{\kappa32-2} + M_{\kappa31-2}) =, \\ &= \frac{di_{\kappa}}{dt} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa32}}{dt} \right) \end{aligned} \quad (3.1.15)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

$$0 = i_{\kappa3} \cdot R_{\kappa3} + \frac{d\Psi_{\kappa31}}{dt}, \quad (3.1.16)$$

где:

$\Psi_{\kappa3}$  - потокосцепление короткозамкнутого контура, представляющий собой суммарный магнитный поток, сцепляющийся со всеми витками катушки индуктивности и взаимноиндуктивности короткозамкнутого контура.

### 3.2 Уравнение механического контура

Схема модуля устройства механического контура, учитывающая массу колебательной системы, жёсткость пружины представлена на рисунке 3.2.

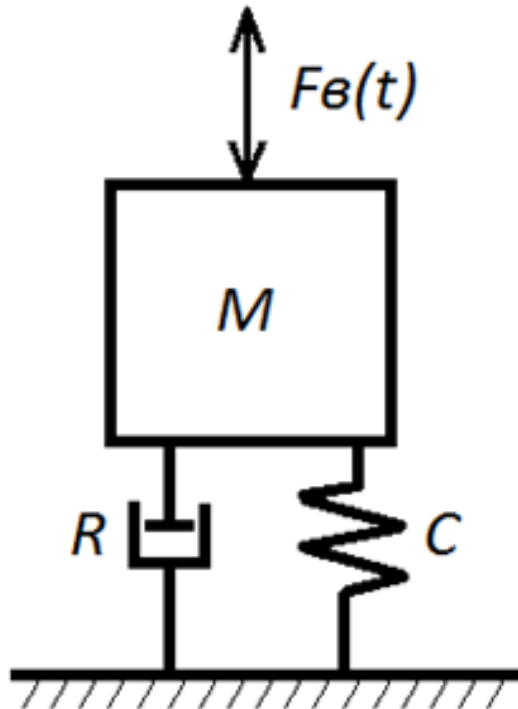


Рисунок 3.2 - Расчётная схема модуля устройства

- $R$  – сопротивление механических потерь;
- $C$  – жёсткость пружинного подвеса;
- $M$  – масса колеблющихся элементов;
- $F_в(t)$  – возмущающая сила.

Значения параметров  $R_{m0}$ ,  $C=q$ ,  $M_a$ ,  $M_{пр}$  для исходного состояния системы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Параметры для исходного состояния

$R_{m0}, \text{Ом}$	$q, \text{Н/м}$	$M_a, \text{кг}$	$M_{пр}, \text{кг}$
179	$1.9 \cdot 10^5$	1,039	0,473

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

$$m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + R \cdot \frac{dx(t)}{dt} + k \cdot x(t) = F(t), \quad (3.2.1)$$

где:

$m = m_a + m_{пр}$ , – общая масса;

$m_a$  – масса активатора;

$m_{пр}$  – присоединенная масса;

$k$  – коэффициент жесткости;

$F(t)$  – возмущающая сила.

### 3.3 Система уравнений математической модели модуля устройства

Ниже приведена система уравнений виброактиватора, состоящая из уравнений электрических контуров виброактиватора и уравнения механического контура. Эти уравнения должны быть преобразованы в удобную форму для их решений численными методами.

Группируем однородные члены выражения 3.1.7, чтобы составить систему управления для основного контура, удобную для решения системы численного метода

$$\frac{di_{\kappa}}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - i_{\kappa} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \quad (3.3.1)$$

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

$$\frac{i_{кз}}{dt} = \frac{-i_{кз} \cdot R_{кз} - i_{кз} \left( \frac{L_{кз}}{dt} + \frac{M_{кз1кз2}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right)}{L_{кз}}, \quad (3.3.2)$$

Запишем уравнение для механического контура:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + R \cdot \frac{dx}{dt} + q \cdot x = F(t), \quad (3.3.3)$$

Для удобства решения уравнения механического контура численным методом введем новую переменную:

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad (3.3.4)$$

Тогда перепишем общее уравнение движения колебательного контура:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t)}{m} - \frac{R}{m}y - \frac{kx}{m}, \quad (3.3.5)$$

где:

$F(t)$  - возмущающая сила;

$y$  - скорость колебаний активатора;

$x$  – амплитуда колебаний активатора.

Система уравнений работы блока МВО, приведённых к виду удобному для решения численным методом, выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_x}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_x \cdot R_x - i_x \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \\ \frac{di_{k3}}{dt} = \frac{-i_{k3} \cdot R_{k3} - i_{k3} \left( \frac{L_{k3}}{dt} + \frac{M_{k31k32}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_{k3}}, \\ \frac{dy}{dt} = \frac{\mu_0 \cdot S_{пол} \frac{2J(I)^2}{(X_0 - x)^2}}{m} - \frac{R}{m} y - \frac{kx}{m}, \\ \frac{dx}{dt} = y \end{array} \right.$$

### 3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений

Система уравнений, состоящая из основного контура, короткого замыкания, уравнения механического контура и скорости, не может быть решена аналитическими методами, поэтому для расчета рабочих режимов виброактиватора приведенная выше система уравнений, вычисленная Численные методы Рунге-Кутты четвертого порядка составят алгоритм вычисления системы. Метод Рунге-Кутты имеет большую точность. Этот метод очень удобен для практических расчетов.

Система расчета состоит из итерационного определения четырех коэффициентов К, М, 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 выполняются путем расчетов, когда они принимаются дискретно во времени. Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ l_{i+1} \\ l_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if}(l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ l_{k_i} + M(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if}(x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq X0, X0, x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$

Первая строка матриц определяет время вычисления с определенным шагом  $t_i + h$ . Вторая строка матрицы вычисляет ток  $I_i$  в основном цикле, учитывает наличие диодов, третья строка учитывает текущий  $I_{k_i}$  в короткозамкнутом витке, четвертая строка учитывает скорость активатора, пятая строка учитывает смещение активатора относительно средней точки.

## ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ ВИБРОАКТИВАТОРА

### 4.1 Анализ режимов работы при обработке нефти со средним показателем вязкости (механическое сопротивление $R_{m0}=179$ кг/с)

Соблюдая условие не превышения допустимой плотности тока в проводнике катушек, который составляет не более 3,722 А, необходимо при уменьшении частоты снижать и величину питающего напряжения, соблюдая постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения  $U/f=const$ .

Учитывая то, что принцип работы установки резонансный, необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения от 35 до 70 Гц с шагом 5 Гц для определения зоны резонансной частоты колебаний активатора, обеспечивающей максимальную амплитуду колебаний.

Произведем расчет частотных характеристик на математической модели при обработке нефти, обладающей средним значением вязкости.

На рисунке 4.1.и 4.2. 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.

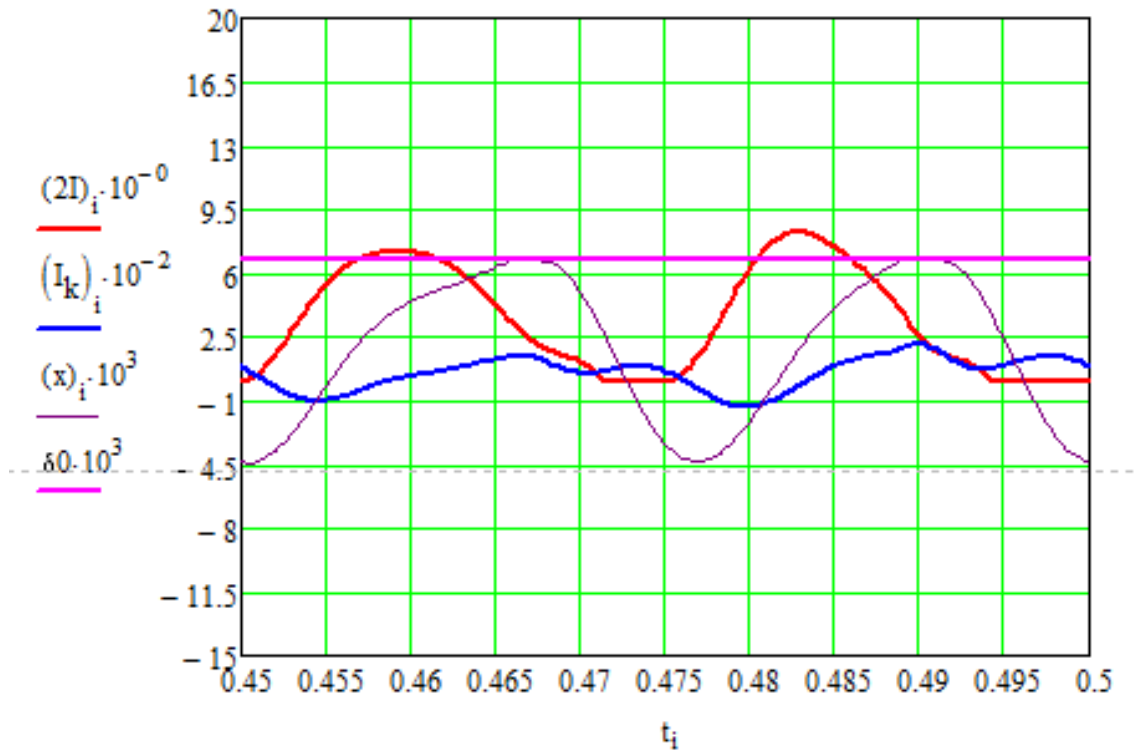


Рисунок 4.1 - График частотных характеристик при  $f=40$  Гц,  $U=136$  В,  $R_m=179$  кг/с

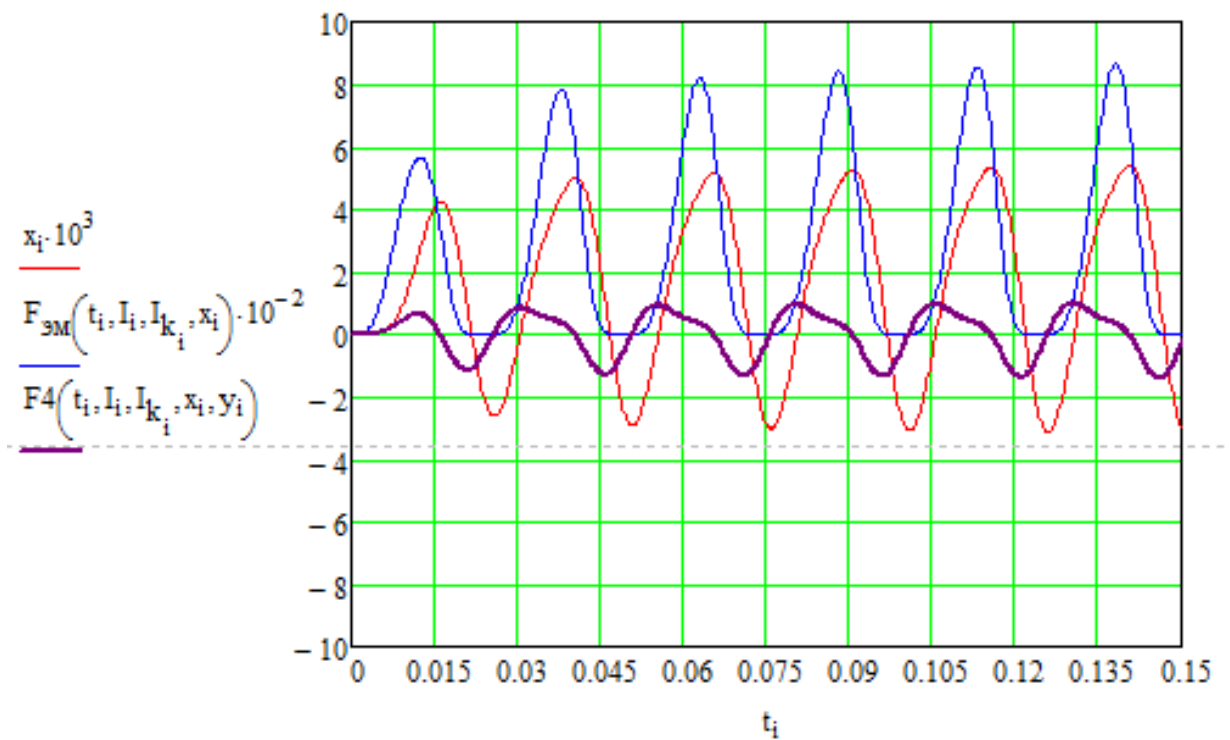


Рисунок 4.2 - График частотных характеристик работы модуля виброобработки при  $f=45$  Гц,  $U=136$  В,  $R_m=179$  кг/с



$X_0$  – начальный зазор;

$X_i$  – амплитуда колебаний активатора;

$I$  – ток в основной цепи;

$F_{эм}$  – электромагнитная сила;

$I_k$  – ток в короткозамкнутых контуре;

$F_4$  – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.1 следует, что при частоте питающего напряжения 45 Гц и напряжении 153 В, амплитуда колебаний активатора равна 0,00571 м, производительность активации при этом  $Q=17,746 \text{ м}^3/\text{час}$ .

На рисунке 4. 2 в режиме пуска происходит плавное изменение параметров, и, через пять периодов модуль вибромагнитной обработки работает в установившемся режиме.

Данные расчетов частотных характеристик работы модуля обработки нефти при изменении частоты питающего напряжения сведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Данные расчетов при механическом сопротивлении  $R_{m0}=179 \text{ кг/с}$

f, Гц	35	40	45	50	55	60	65	70
$\Delta x, \text{ мм} \cdot 10^{-3}$	4,557	6,298	6,151	5,916	5,377	4,431	3,745	3,153
V, м3/час	8,302	16,298	17,746	17,035	16,875	13,579	11,83	10,757
Id, А	1,985	2,225	2,867	3,302	3,657	3,568	3,314	3,028
$I_{кз}, \text{ А}$	104,95	119,82	139,932	173,773	210,75	231,25	217,69	196,83
U, В	119	136	153	170	187	204	221	238

На основании полученных данных, на математической модели, построим графики частотных характеристик:

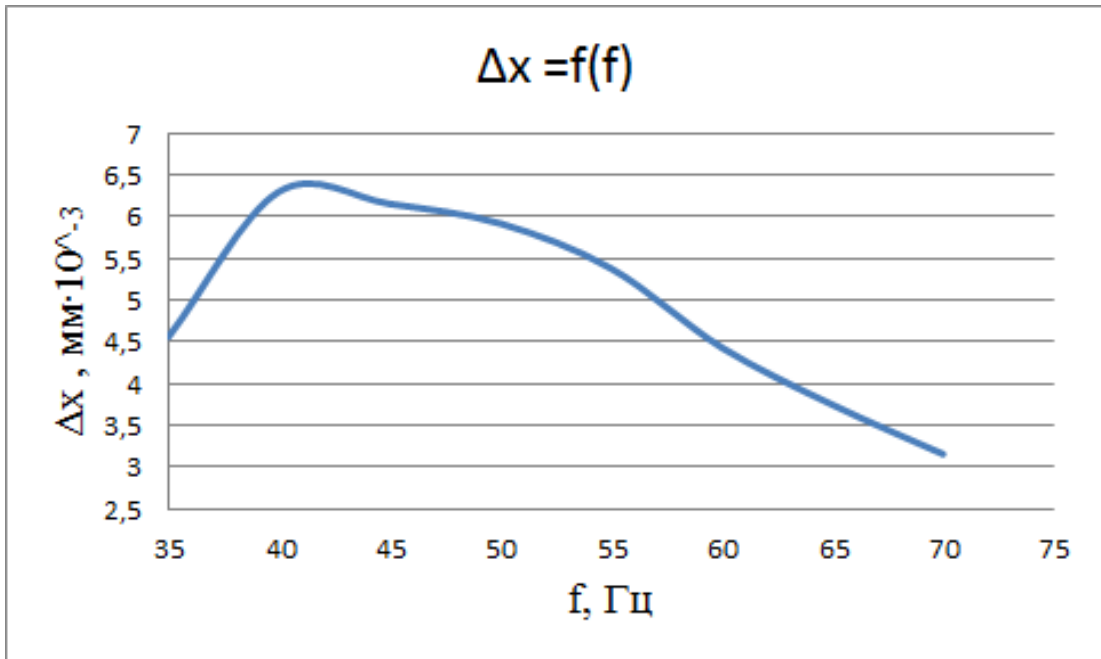


Рисунок 4.3 - График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при  $R_m=179$  кг/с

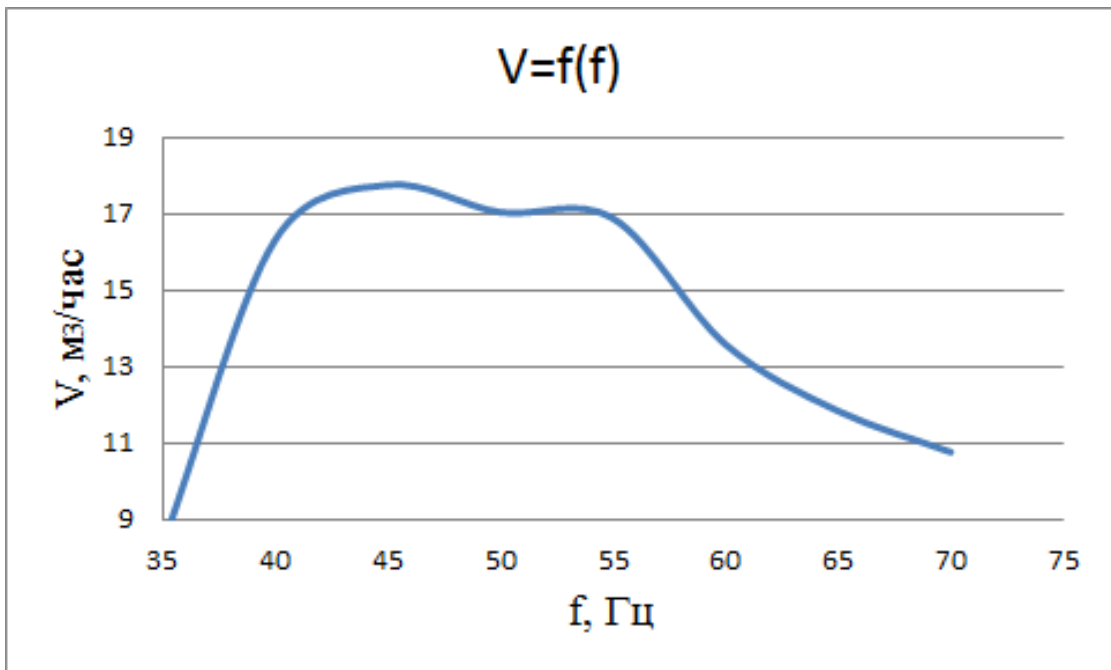


Рисунок 4.4 - График зависимости производительности единичного модуля активатора от частоты питающего напряжения при  $R_m=179$  кг/с

Из рисунка 4.3 и 4.4 при расчетном механическом сопротивлении, равном 179 кг/с, видно, что максимальная амплитуда колебаний активатора достигается при частоте  $f=40$  Гц, а максимальная производительность единичного модуля активатора достигается при частоте  $f=45$  Гц. Величина максимального тока в катушках согласно таблице 4.1, составляет  $I_{\max}=3,657$ А, при напряжении 187 В.

#### **4.2 Анализ режимов работы при обработке нефти с высоким показателем вязкости (механическое сопротивление $R_{m0}=400$ кг/с)**

Наибольший интерес представляет работа установки, перекачивающей нефть с высоким значением вязкости. Высокое значение вязкости сопровождается увеличенным механическим сопротивлением. Произведем расчёты при значении  $R_{m0}=400$  кг/с.

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления  $R_{m0}=400$  кг/с, и полученные данные заносятся в таблицу 4.2.

Типичные графики изменения основных показателей колебательного процесса для выше обозначенных параметров работы модуля приведены на рисунках 4.5 и 4.6.

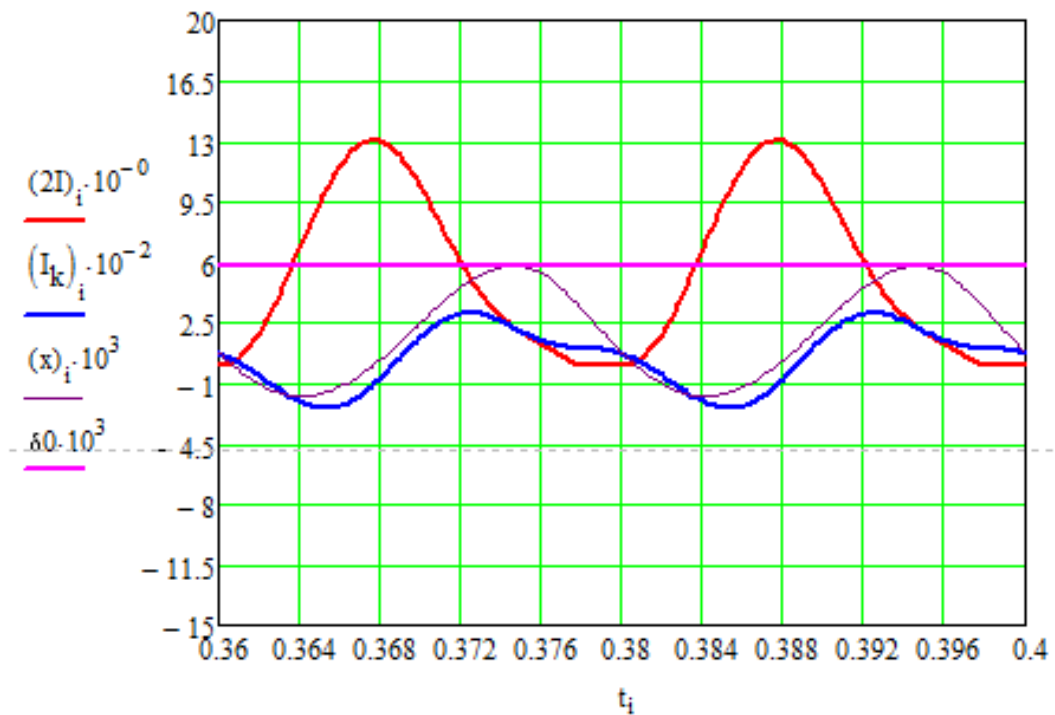


Рисунок 4.5 - График частотных характеристик при  $f=50$  Гц,  $U=200$  В,  
 $R_m=400$  кг/с

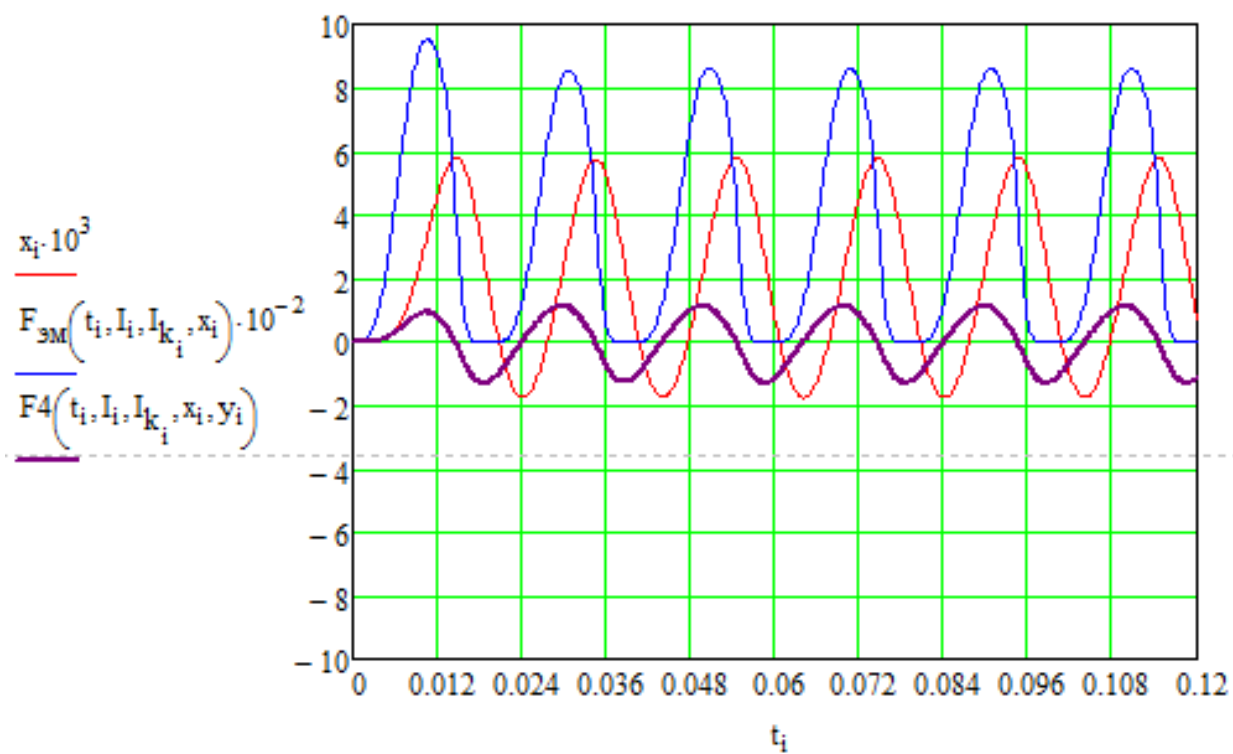


Рисунок 4.6 - График частотных характеристик при  $f=50$  Гц,  $U=200$  В,  
 $R_m=400$  кг/с

$I$ -ток в основной цепи;

$X_i$  – амплитуда колебаний активатора;

$I_k$ - ток в короткозамкнутых контуре;

$F_{эм}$  – электромагнитная сила;

$X_0$  –начальный зазор;

$F_4$  – ускорение колебаний активатора.

Как видно из рисунков 4.1 и 4.5 размах амплитуды и ускорение колебаний активатора при меньшей вязкости будет больше, это связано с более низким механическим сопротивлением. Изменения тока в основном контуре практически не значительны. Ток в короткозамкнутом витке при механическом сопротивлении равном 400 кг/с немного больше за счет увеличения потерь при нагреве элементов, но на параметры работы устройства это никак не повлияет.

Таблица 4.2 - Данные расчетов при механическом сопротивлении  $R_{m0}=400$  кг/с

$f$ , Гц	35	40	45	50	55	60	65	70
$\Delta x$ , мм · $10^{-3}$	4,827	5,774	6,596	6,702	6,65	5,124	3,653	3,088
$V$ , м3/час	9,773	12,95	15,6	15,6	16,16	14,19	12,337	11,182
$I_d$ , А	2,261	2,472	2,895	3,395	3,732	3,568	3,314	3,028
$I_{кз}$ , А	38,36	49,46	62,93	80,32	93,37	96,887	93,934	89,79
$U$ , В	140	160	180	200	220	240	260	280

На основании полученных данных, на математической модели построим графики частотных характеристик:

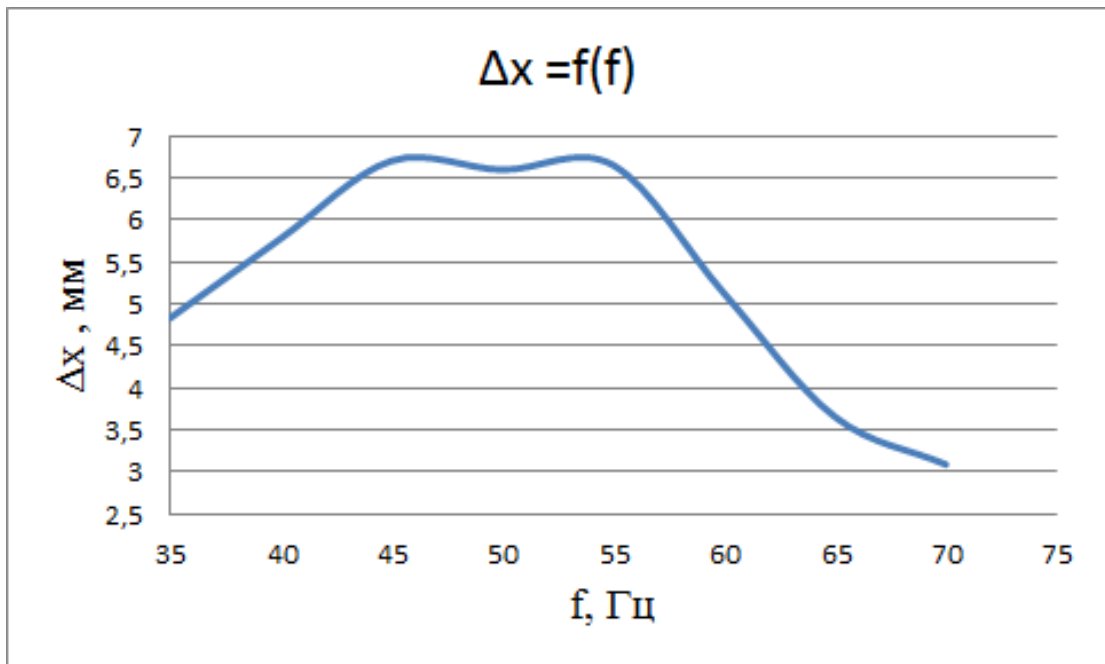


Рисунок 4.7 - График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при  $R_m=400$  кг/с

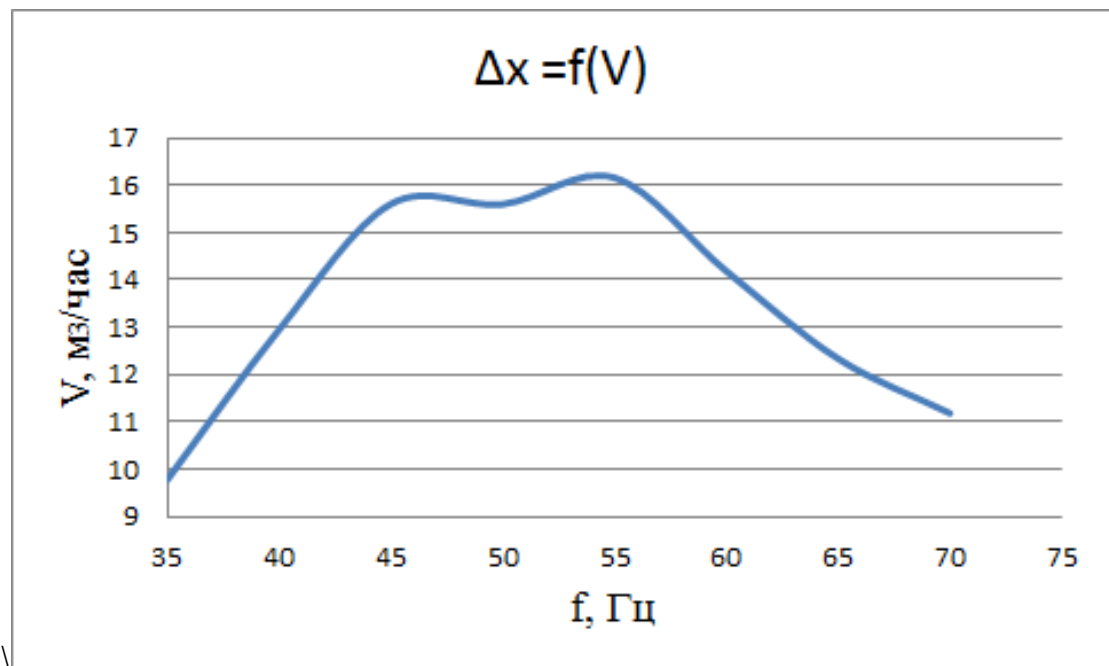


Рисунок 4.8 - График зависимости производительности единичного модуля активатора от частоты питающего напряжения при  $R_m=400$  кг/с.

Как видно из рисунков 4.7 и 4.8 размах амплитуды и ускорение колебаний активатора в первом случае будет больше, это обусловлено более низким механическим сопротивлением. В обоих случаях амплитуда находится в допустимых пределах начального зазора. Изменения тока в основном контуре практически не значительны. Ток в короткозамкнутом витке при механическом сопротивлении равном 400 кг/с будет больше за счет увеличения потерь при нагреве элементов, но на параметры работы устройства это никак не повлияет.

Производительность установки перекачиваемой нефти со средним значением вязкости будет выше, чем при более вязкой нефти. Следовательно, работа устройства будет более эффективна при механическом сопротивлении равном 179 кг/с.

Таким образом, для обеспечения максимальной производительности активации установки обработки нефти в промышленном нефтепроводе необходимо:

1. Для перекачки нефти со средним значением вязкости ориентироваться на следующие параметры: резонансная частота в диапазоне 40-45 Гц; напряжение питания 365 В; начальный зазор 0,00667 м; при величине тока до 3,657 А.

2. Для перекачки нефти с высоким значением вязкости ориентироваться на: резонансная частота в диапазоне 50-55 Гц; напряжение питания 438 В; начальный зазор 0,006 м; при величине тока до 3,732 А.

## ГЛАВА 5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

### 5.1 Разработка 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.

Габариты основных элементов единичного модуля были определены ранее в разделе 2 (рисунок 5.1, рисунок 5.2). В каждом блоке используется 3 единичных модуля МВО.

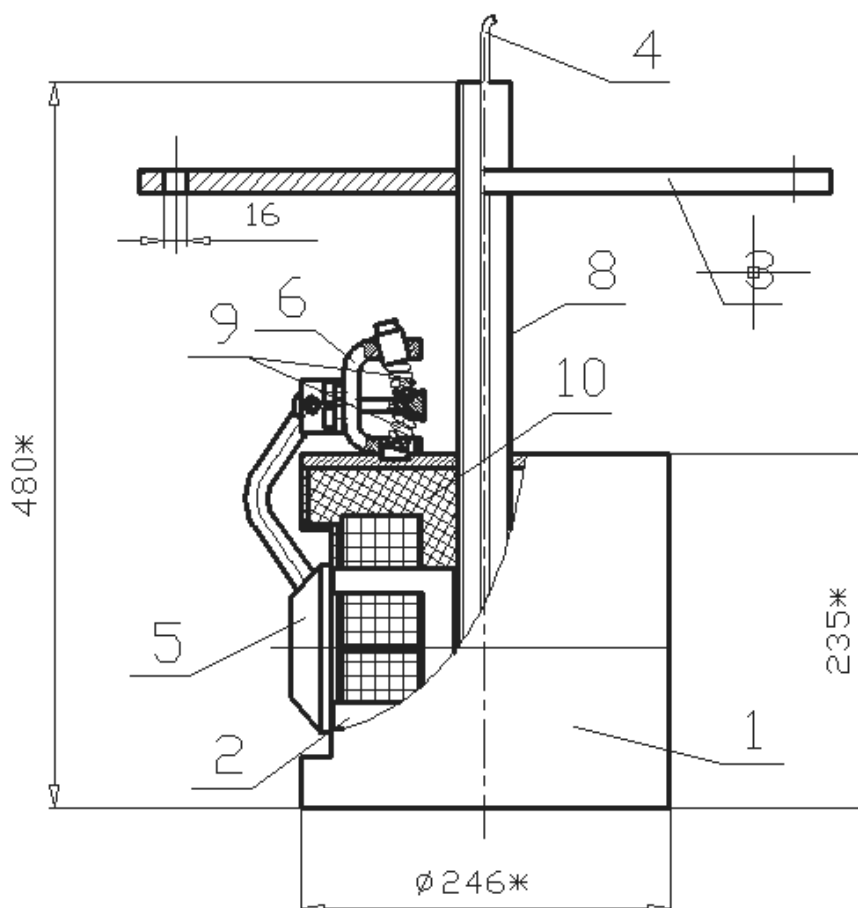


Рисунок 5.1 - Конструкция блока виброструйной обработки



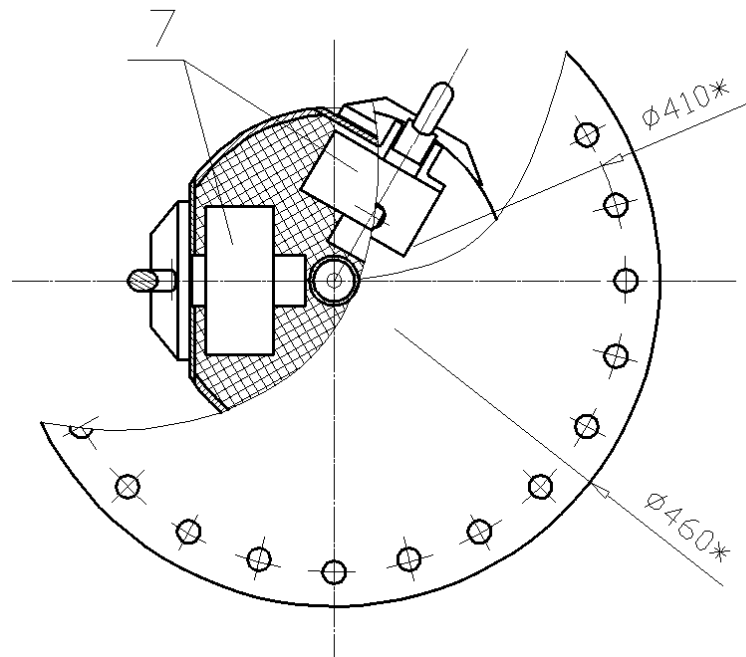


Рисунок 5.2 - Вид сверху блока виброструйной обработки

На представленном рисунке:

- 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.

Размеры одного БВО и вышеуказанные данные позволяют выполнить конструкцию устройства виброактиватора. Сборочный чертеж БВО представлен в приложение А.

## 5.2 Конструкция установки активации нефти в промышленном нефтепроводе УАНПН-25

Основным объектом, определяющим габаритные размеры области применения устройства является труба нефтепровода. Обработка нефтепродуктов предполагает, что устройство должно размещаться в потоке нефтепродукта. Следовательно, разрабатываемое устройство и его элементы должны размещаться внутри потока нефтепродукта и при этом не создавать дополнительные препятствия течению. Данное требование можно выполнить, применив для размещения блоков виброструйной обработки в трубу большего диаметра, чем труба нефтепровода. Для нашего случая с нефтепроводом 245 мм выбираем трубу установки диаметром 426 мм.

Таким образом, габаритные размеры единичного блока виброобработки БВО позволяют разместить их в количестве трех штук в трубе диаметром 426 мм при общей длине установки 1950 мм. Общий вид установки и схема подключения установки к нефтепроводу представлены на рисунке 5.3.

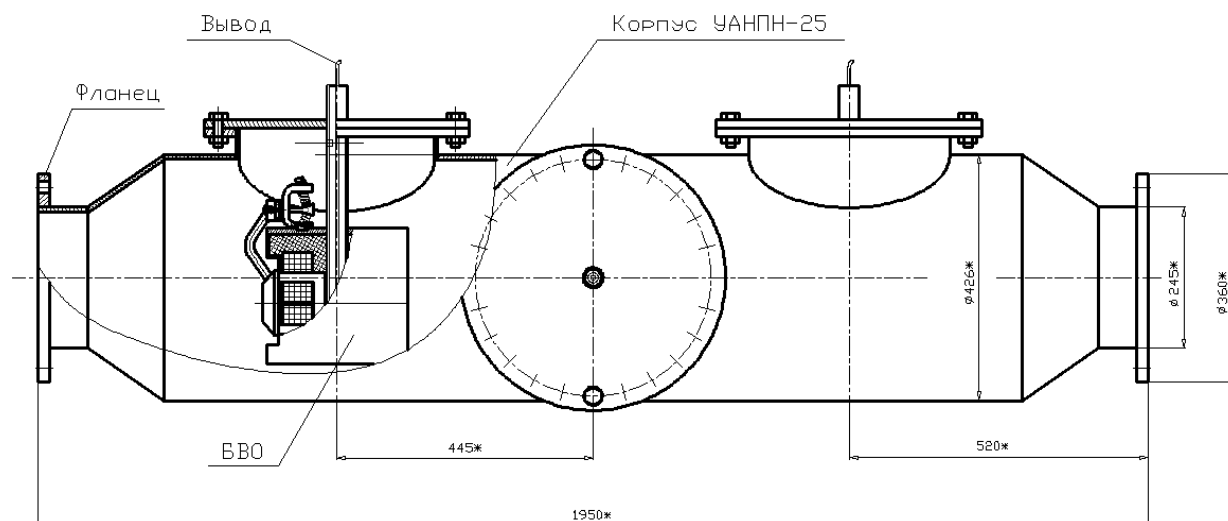


Рисунок 5.3 - Общий вид установки УАНПН-25

Основным объектом, определяющим габаритные размеры области применения устройства, в нашем случае является труба нефтепровода (рисунок 5.4).

Конструкция установки содержит:

- 1 – фланец;
- 2 – корпус УАНПН-25;
- 3 – вывод;
- 4 – БВО.

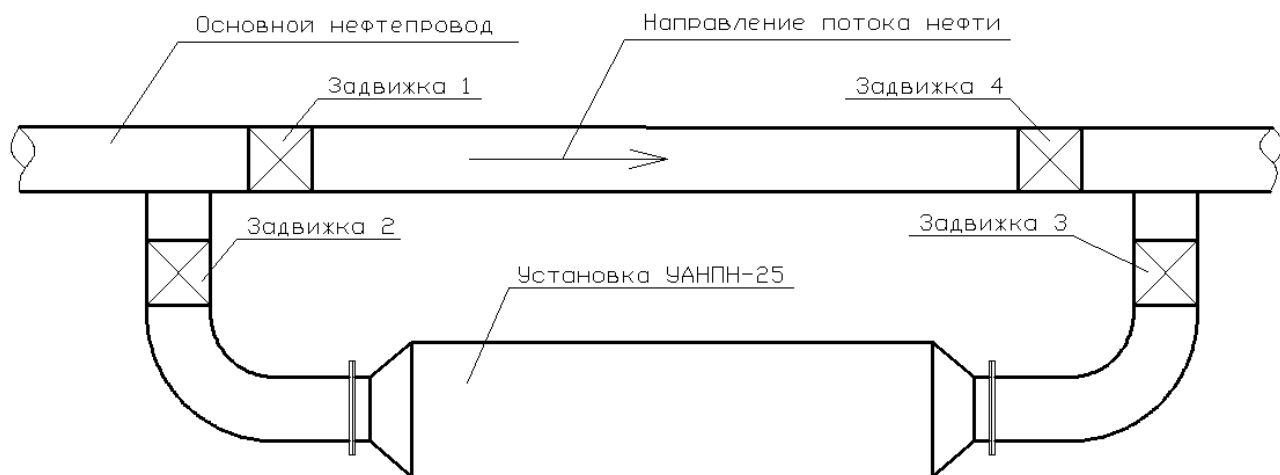


Рисунок 5.4 - Схема подключения установки УАНПН-25 к нефтепроводу

Байпасная схема включения установки к нефтепроводу обеспечивает возможность перекрывать основной трубопровод с помощью задвижек 1 и 4. В таком случае, при открытии задвижек 2 и 3, поток нефти пойдет для дальнейшей обработки через установку УАНПН – 25. При возникновении необходимости в проведении ремонтных работ на установке, задвижки 2 и 3 закрываются, установка демонтируется, и проводятся необходимые ремонтные работы или установка заменяется на аналогичную. При этом задвижки 1 и 4 должны быть открыты и тогда необработанная нефть будет идти по основному нефтепроводу без остановки.

### 5.3 Разработка схемы подключения установки

Виброактиватор подключают в промышленную энергосистему, как на однофазную сеть, так и на трехфазную. Важно деталью при разработке схемы питания блока виброобработки является рабочая нейтраль, которая необходима для работы установки в трехфазном режиме, а также необходимо наличие диода, препятствующего прохождению тока и позволяющего создавать колебания активатора на частоте 40 Гц с максимальной амплитудой с достаточно удалённой зоной действия.

Трехфазная схема питания обеспечивает одинаковую нагрузку во всех трех фазах, устраняя перекос фазы. Снижение токовых номиналов вводной защиты аппаратуры и сечения вводного кабеля.

Таким образом, учитывая три блока виброобработки подключаем схемы электропитания с использованием трёхфазной системы, что даёт равномерную нагрузку на промышленную сеть.

Максимальный ток единичного МВО:

$$I_{ед.МВО} = I_{max} \cdot k_z = 3,387 \cdot 1,1 = 3,7 \text{ А}, \quad (5.3.1)$$

где:

$I_{max}$ - максимальный ток, протекающий в катушке;

$k_z$ - коэффициент запаса примем равным 1,1.

С учетом того, что виброактиватор содержит 3 блока по 3 МВО, то:

$$I_{фmax} = I_{ед.МВО} \cdot N = 3,7 \cdot 3 = 11,1 \text{ А}, \quad (5.3.2)$$

где:

$N$  – количество МВО запитанных от одной фазы.

Трехфазная схема питания УАНПН-25 иллюстрируются на рисунке 5.5.

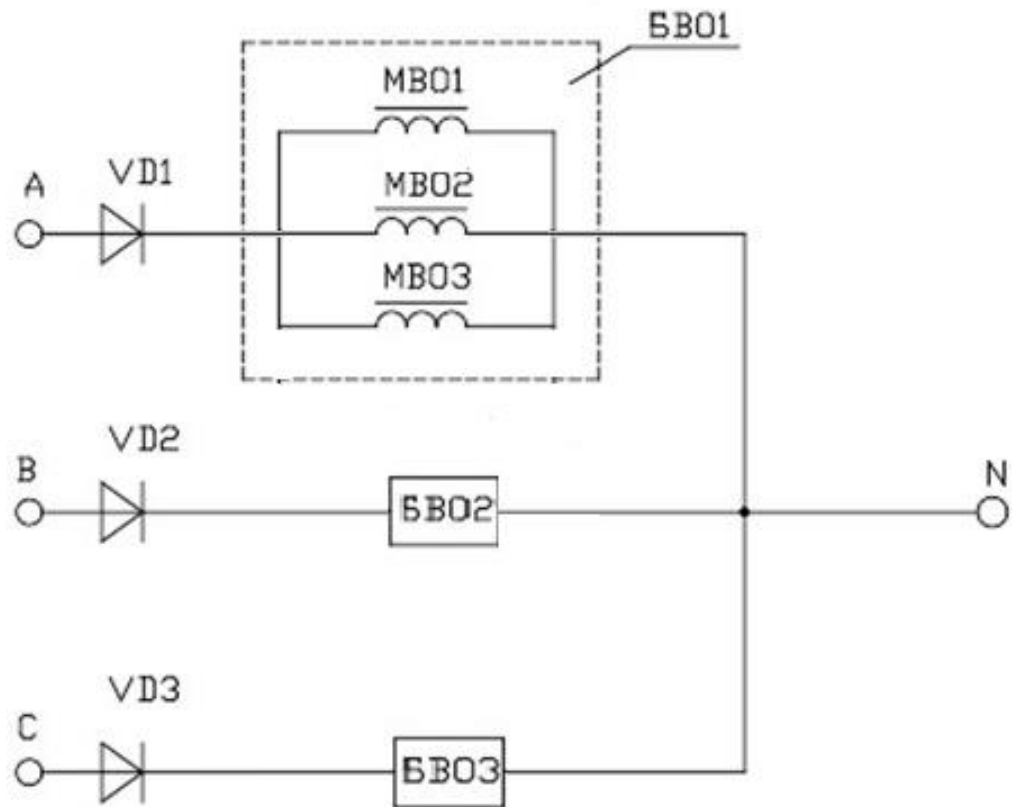


Рисунок 5.5 – Трехфазная схема подключения УАНПН-25

где:

$VD_1$ - $VD_3$  – диоды;

$БВО_1$ - $БВО_6$  – блоки виброобработки;

$МВО_1$ - $МВО_N$  – модули виброобработки.

## 5.4 Схема подключение установки УАНПН-25

Основными элементами схемы подключение виброактиватора являются сам виброактиватор, блок питания, который включает в себя диод, преобразователь частоты и автоматический выключатель. Общая схема подключение виброактиватора к электрической сети приведена на рисунке 5.6.

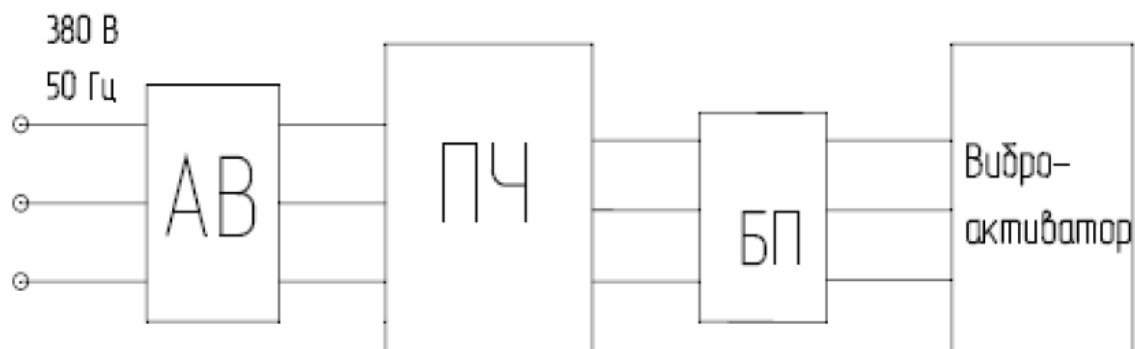


Рисунок 5.6 - Общая схема подключения виброактиватора

## 5.5 Выбор преобразовательного устройства для системы

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется на основании данных, полученных в результате расчёта режимов работы вибрационного активатора на математической модели. Исходными данными для него 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 70 Гц.

Согласно справочным данным выбираем частотный преобразователь марки Веспер EI - 7011 - 010 Н [7]. Этот преобразователь частоты позволит равномерное и экономичное регулирование производительности путем

изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены на рисунке 5.7 и таблице 5.5.1.



Рисунок 5.7 - Внешний вид преобразователя частоты Веспер EI-7011-010Н.

Таблица 5.5.1. Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Выходная мощность максимальная ПЧ (кВт)	10
Ток максимальный нагрузки (А)	18
Напряжение номинальное на входе (В)	380 (+10 % - 15 %)
Диапазон регулирования напряжения (В)	0 - 380
Частота сети питающей (Гц)	50 ± 5%
Диапазон регулирования частоты (Гц)	1 - 400
Вес (кг)	5,0

## 5.6 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 50 Гц выбираем диод марки Д 112-16 [8]. Характеристики диода приведены:

- $I_{пр.мах} = 16 \text{ А}$ ;
- $U_{об.мах} = 1600 \text{ В}$ ;
- Срок службы не менее – 10000 ч.;
- Рабочая температур в пределах от  $-60$  до  $+130 \text{ C}^{\circ}$ .

## 5.7 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель должен быть предусмотрен в схеме подключения вибрационного активатора. Учитывающий параметры работы вибрационного активатора для его подключения к промышленной сети. выбираем автоматический выключатель типа IEK ВА 47 - 29 С 16 [9]. Характеристики данного выключателя приведены таблице 5.1.

Таблица 5.1 - 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



## 5.8 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 взрывозащищённого электрооборудования выберем длину кабеля, равную 20 метров.

Марка кабеля, предназначенная для использования в соответствующих условиях, соответствует КГН  $4 \times 1,5 \text{ мм}^2$ .

Выбираем кабель марки КГН (4x1,5) с  $I_{\text{доп}} = 20 \text{ А}$  [10]. Силовой гибкий кабель с медными многопроволочными жилами в резиновой изоляции, маслостойкой оболочке, которая не подвержена горению.

## ГЛАВА 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела ВКР является определение экономических показателей проекта «Электропривод установки вибромагнитной обработки нефти промыслового трубопровода» с точки зрения ресурсоэффективности. Для этого необходимо дать оценку коммерческому потенциалу, установить трудоемкость проводимых работ, построить календарный график выполнения работ, рассчитать бюджет расходов и определить интегральный показатель эффективности проекта.

### 6.1 Оценка коммерческого потенциала проекта

В данном разделе будут рассмотрены показатели оценки перспективности проекта по технологии QuaD. Суть данной технологии состоит в оценке коммерческого потенциала и качества проекта по определенным критериям. Далее делается заключение о том, целесообразно ли инвестировать денежные ресурсы в данный проект, либо он изначально обречен на провал. Для оценки оформляется таблица критериев оценки 6.1.

Таблица 6.1 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Энергоэффективность	0,08	70	100	0,7	0,056
2. Помехоустойчивость	0,06	80	100	0,8	0,048
3. Надежность	0,08	75	100	0,75	0,06
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

Продолжение таблицы 6.1 –Показатели оценки качества проекта

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
11. Перспективность рынка	0,07	70	100	0,7	0,049
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:

$$P_{cp} = 100 \cdot \sum V_i \cdot \sum B_i = 100 \cdot 0,88 \cdot 0,6565 = 58, \quad (6.1.1)$$

где:

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

$V_i$  – 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 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения проекта расценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, поскольку зависит от множества трудно учитываемых условий. С целью определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  применяется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (6.2.1)$$

где:

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6.2.2)$$

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.

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 6.2.

Таблица 6.2 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ раб	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
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель
11	Социальная ответственность	Проектировщик
12	Финансовый менеджмент	Проектировщик
13	Составление пояснительной записки	Проектировщик

Пример расчета:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (6.2.3)$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч}, \quad (6.2.4)$$

- Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_p = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ дн.}$$

- Инженер – подбор, изучение материалов и нормативных документов:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_p = \frac{3,8}{1} = 3,8 \text{ дн.}$$

### 6.3 Разработка плана и графика выполнения проекта

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика выполнения проекта в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.3.1)$$

где:

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6.3.2)$$

где:

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

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

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

В соответствии с производственным календарем на 2017 год, суммарное количество выходных и праздничных дней в 2017 году составляет при работе по шестидневной рабочей неделе – 66 дней; при работе по пятидневной рабочей неделе – 118 дней.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждому виду работ  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Допускается, что руководитель работает по шестидневной рабочей неделе, а проектировщик – по пятидневной.

Пример расчета:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (6.3.3)$$

$$T_{к} = T_{р} \cdot k_{кал}, \quad (6.3.4)$$

- Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22,$$

$$T_{к} = 2,8 \cdot 1,22 = 3,42 \approx 3 \text{ дн.}$$

- Инженер – подбор и изучение материалов и нормативных документов:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48,$$

$$T_{к} = 3,8 \cdot 1,48 = 5,6 \approx 6 \text{ дн.}$$

Полученные результаты сведены в таблицу 6.3, на основании которой построен календарный план-график, представленный на рисунке 6.1.

Таблица 6.3 – 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		$t_{ожг}$ , чел-дни					
		Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик
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
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	



Продолжение таблицы 6.3 – Временные показатели выполнения проекта

№ раб.	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
		$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни					
		Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик	Руковод.	Проектировщик
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.

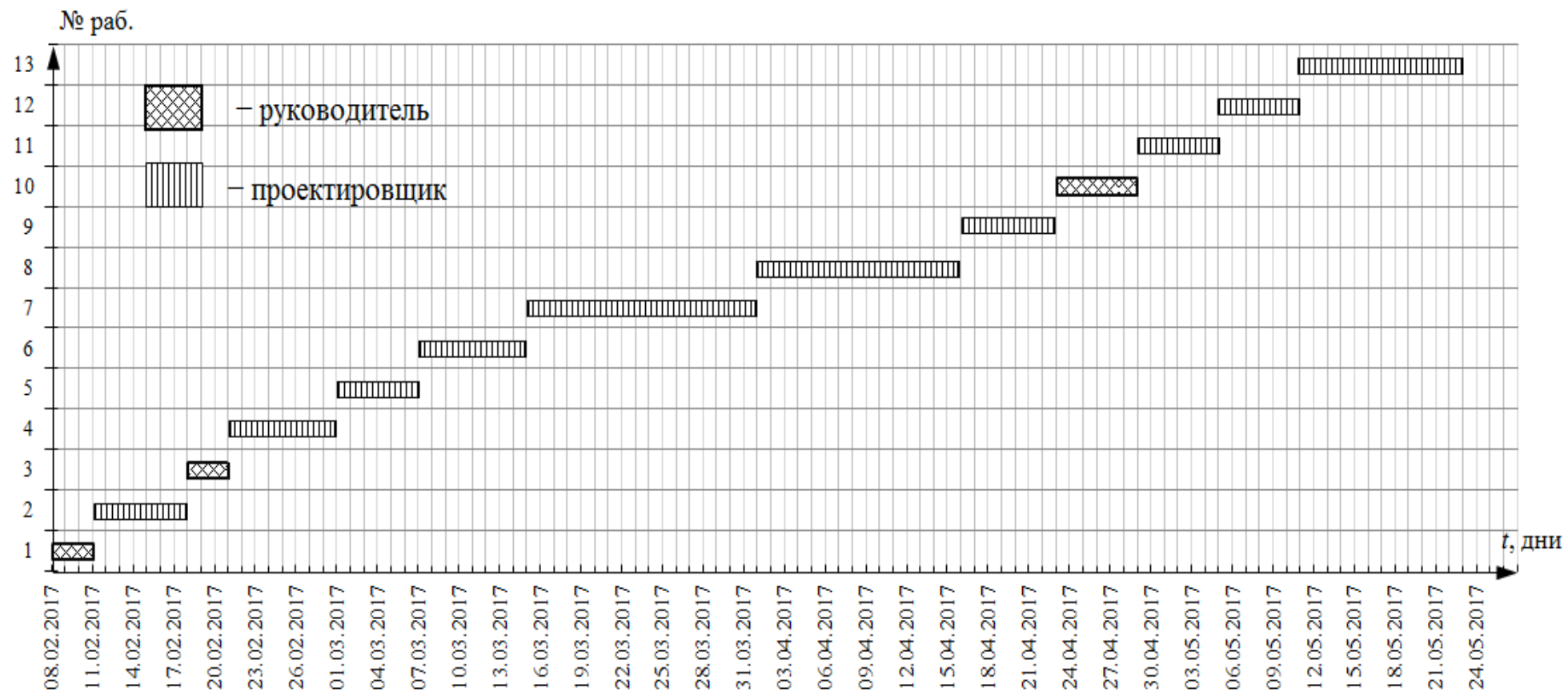


Рисунок 6.1 – Календарный план-график выполнения проектирования

## 6.4 Формирование бюджета затрат на проектирование

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

1. основная заработная плата исполнителей;
2. дополнительная заработная плата исполнителей;
3. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
4. амортизационные отчисления;
5. накладные расходы.

## 6.5 Основная заработная плата исполнителей

Величина основной зарплаты исполнителей определяется на основании трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов, тарифных ставок. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.5.1)$$

где:

$Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.5.2)$$

где:

$Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 6.3);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150,00 \cdot 11,2}{223} = 1664,93 \text{ руб.}, \quad (6.5.3)$$

где:

$Z_{\text{м}}$  – заработная плата работника в месяц, руб.:

$$\begin{aligned} Z_{\text{м}} &= Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = \\ &= 17000,00 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150,00 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (6.5.5)$$

где:

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

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней –  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 6.5.1). Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.5.2.

Таблица 6.5.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: выходные дни и праздничные дни	66	118
Потери рабочего времени: отпуск	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

На основании данных таблицы 5 выполняем расчет основной заработной платы руководителя и инженера, учитывая коэффициенты. Полученные данные приводим в таблицу 6.

Таблица 6.5.2 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26 300,00	0,3	0,2	1,3	51285	2125	10	21250
Инженер	17 000,00	0,3	0,2	1,3	33150	1664,9	56	93236
Итого:								114486

### 6.6 Дополнительная заработная плата исполнителей

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей рассчитываются, чтобы учесть величину доплат, предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда; 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.).

Произведем расчет дополнительной заработной платы:

$$Z_{доп\ рук} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6.6.1)$$

- Для руководителя

$$Z_{доп\ рук} = 0,15 \cdot 21249,6 = 3187,44 \text{ руб.}$$

- Для инженера

$$Z_{доп\ пр} = 0,15 \cdot 93236,08 = 13985,41 \text{ руб.},$$

где:

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

Дополнительная заработная плата всех исполнителей:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{доп рук}} + Z_{\text{доп пр}} = 3187,44 + 13985,41 = 17172,85 \text{ руб.} \quad (6.6.2)$$

### 6.7 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражены обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) согласно установленным законодательством Российской Федерации нормам.

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.7.1)$$

- Для руководителя

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (21249,6 + 3187,44) = 6622,44 \text{ руб.},$$

- Для инженера

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (93236,08 + 13985,41) = 29057,02 \text{ руб.},$$

где:

$k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды  
(пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).  
Размер страховых взносов принят в размере 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	21249,6	3187,44
Инженер	93236,08	13985,41
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	6622,44	
Инженер	29057,02	
Итого	35679,46	

### 6.8 Амортизационные отчисления

Данные отчисления производятся для возмещения износа оборудования, приобретенного университетом для пользования студентами. В данную статью включаются все затраты, не связанные с приобретением специального оборудования необходимого для проведения работ по конкретной теме, причем учитывается только оборудование или программное обеспечение стоимостью от 40 тысяч рублей.

Стоимость учитываемого в данной статье оборудования приведена в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Стоимость оборудования

Наименование	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
Компьютер	1	42 310,6	42 310,6
Итого:			42 310,6

В связи с длительностью использования, в затраты включается данная амортизация за период проектирования:

$$A = \frac{C \cdot N_{\text{дн.исп.}}}{\Gamma_{\text{ср.служ.}} \cdot 365} = \frac{42310,6 \cdot 105}{5 \cdot 365} = 2434 \text{ руб.} \quad (6.8.1)$$

## 6.9 Накладные расходы

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

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{амор}}) \cdot 0,16 = \\ &= (114485,68 + 17172,85 + 35679,49 + 2432) \cdot 0,16 = 27163,2 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (6.9.1)$$

где:

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

Величину коэффициента накладных расходов можно принять в размере 16%.

## 6.10 Формирование бюджета затрат на проектирование

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

Определение бюджета затрат на проектирование приведено в таблице 6.10.



Таблица 6.10 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	Сумма, руб.	Процент от общей суммы затрат, %
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей	114485,68	57,26
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	17172,85	8,59
3. Отчисления во внебюджетные фонды	35679,49	17,85
4. Амортизационные отчисления	2432	1,22
5. Накладные расходы	27163,2	13,59
<b>Бюджет затрат</b>	<b>199933,22</b>	<b>100</b>

### 6.11 Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность проектирования определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (6.11.1)$$

где:

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,2	4
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,25	5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4
5. Энергоэкономичность	0,10	3
<b>Итого:</b>	<b>1,00</b>	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 4,4. \quad (6.11.1)$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно высокий результат (4,4 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

В текущем разделе были выполнены:

1. Оценка коммерческого потенциала проекта показала, что проект является перспективным.

2. Результат планирования работ показал, что в реализации проекта задействованы два исполнителя – руководитель и проектировщик. Общая продолжительность проекта составила 105 календарных дней.

3. Общая сумма проекта составила 199933,22 руб. Наиболее затратной статьей оказалась оплата труда исполнителей, которая составила 65,85% от общей суммы затрат.

4. Определение ресурсной эффективности. В ходе раздела рассчитан интегральный критерий ресурсоэффективности, который составил 4,4. По данному значению можно судить о проекте, как о ресурсоэффективном.

Выполнение данного проекта и его реализацию можно считать значимыми и эффективными. Необходимо вводить новые установки для вибромагнитной обработки вязкой нефти, для большей пропускной способности промысловых нефтепроводов. В ходе выполнения данного проекта произведен оптимальный выбор электрооборудования для установки вибромагнитной активации нефти, это позволит заказчику закупить оборудование, необходимое для исправной, надежной, экономичной работы установки.

## **ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Данный раздел посвящен обеспечению необходимых условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также экологической безопасности и безопасности в чрезвычайной ситуации.

В этой заключительной квалификационной работе установлен электрический привод вибрационно-магнитной обработки для снижения вязкости нефти промышленного нефтепровода.

Рассмотрение этих вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000: 2011 для деятельности организаций в области социальной ответственности для тех разделов его модулей, для которых эти проектные решения должны быть приняты.

### **7.1 Анализ вредных факторов**

Технологический процесс рассматриваемой среды основан на работе с электроприводом, который является источником повышенного уровня шума, который является одним из вредных факторов производственной среды [11]. Для уменьшения шума применяются следующие меры: замена подшипников лучшими по качеству, промывка подшипников, регулярная смазка, аккуратная и тщательная сборка двигателя, обкатка в течение нескольких часов, замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. При обеспечении всего комплекса мероприятий по устранению шума возможно создание малошумных электродвигателей с уровнем шума, не превышающим 50— 60 дБ. Однако такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации. От воздействия вибрации может наступить изгиб или излом вала, бочка ротора - оторваться от вала, появиться трещина в станине статора или в торцовой крышке, повредиться опорная рама и фундамент, а также, повышается и ускоряется износ изоляции обмоток электродвигателя. Для того чтобы избежать влияние вибрации на человека проводят мероприятия на основании [26], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов, а также при необходимости замена неисправных частей электродвигателя.

Среди технических требований к рабочему месту особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма, а также к травмам, при работе с движущимися частями установки [12]. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда. В частности, вредным фактором является пониженная подвижность воздуха [17], связанной с плохой вентилируемостью помещений. Следствием наличия теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха в производственных помещениях и сооружениях [17], которая пагубно влияет на состояние человека. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Ниже представлены результаты анализа ряда вредных факторов проектируемой производственной среды.

### 7.1.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды, который ухудшает условия труда, оказывая на организм вредное воздействие. 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[14].

Работающее технологическое оборудование (моторы, двигатели, вентиляторы и т.) является источником повышенного шума и вибрации.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются [19]:

- снижение (ослабление) шума в самих источниках - в электрических машинах, станках, механизмах и других устройствах;
- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;

Для профилактики воздействия шумов необходимо проводить постоянные медосмотры и освидетельствования.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 7.1.1

Таблица 7.1.1 - Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	25	50	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

### 7.1.2 Вибрация

Под вибрацией понимают возвратно-поступательное движение твердого тела. Это явление широко распространено при работе различных механизмов и машин.

Основные параметры вибрации: частота (Гц), амплитуда колебания (м), период колебания (с), виброскорость (м/с), виброускорение (м/с<sup>2</sup>).

В зависимости от характера контакта работника с вибрирующим оборудованием различают локальную и общую вибрацию. Локальная вибрация передается в основном через конечности рук и ног. Общая — через опорно-двигательный аппарат. Существует еще и смешанная вибрация, которая воздействует и на конечности, и на весь корпус человека. Локальная вибрация имеет место в основном при работе с вибрирующим ручным инструментом или настольным оборудованием. Общая вибрация преобладает на транспортных машинах, в производственных цехах тяжелого машиностроения, лифтах и т. д., где вибрируют полы, стены или основания оборудования [24].

Воздействие вибрации на организм человека. Тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами, имеющими собственные частоты, которые для плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности (положение "стоя") составляют 4~6 Гц,

головы относительно плеч (положение "сидя") — 25-30 Гц. Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6—9 Гц. Общая вибрация с частотой менее 0,7 Гц, определяемая как качка, хотя и неприятна, но не приводит к вибрационной болезни. Следствием такой вибрации является морская болезнь, вызванная нарушением нормальной деятельности вестибулярного аппарата по причине резонансных явлений.

При частоте колебаний рабочих мест, близкой к собственным частотам внутренних органов, возможны механические повреждения или даже разрывы. Систематическое воздействие общих вибраций, характеризующихся высоким уровнем виброскорости, приводит к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 7.1.2.1

Таблица 7.1.2.1 - 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	-	-	-

Санитарные нормы устанавливают предельно допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий (табл. 7.1.2.2).



Таблица 7.1.2.2 - Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с <sup>2</sup>
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

\* При таких параметрах вибрации даже сверхпрочные клепочные конструкции до полного своего разрушения выдерживают не более 30 минут

Приведенные нормы одинаковы для горизонтальных и вертикальных вибраций. Непрерывность их воздействия не должна превышать 10-15% рабочего времени. Амплитуда колебаний, скорость и ускорение колебательных движений могут быть увеличены не более чем в три раза.

Методы снижения воздействия вибрации на человека. Для снижения воздействия вибрирующих машин и оборудования на организм человека применяются следующие меры и средства [24]:

- замена инструмента или оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах, где это возможно (например, замена электромеханических кассовых машин на электронные);
- применение виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);
- использование дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления вибротранспортером из соседнего помещения);
- использование автоматики в технологических процессах, где работают вибрирующие машины (например, управление по заданной программе);
- использование ручного инструмента с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

### **7.1.3 Недостаток естественного света**

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Естественное освещение является наилучшим видом освещения на рабочем месте. Отсутствие или недостаток естественного освещения вызывает ухудшение самочувствия, приводит к потере сна и ослаблению здоровья. Дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий. Поэтому цех обеспечивают естественным и искусственным освещением.

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП II-4-79. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Так же необходимо проводить контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения, и использовать светлые отделочные материалы в помещениях. Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В качестве источников искусственного освещения применяются люминесцентные лампы. В производственных общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

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

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от

наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса. В таблице 7.1.3 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 7.1.3 - Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

#### 7.1.4 Микроклимат

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 Сан ПиН 2.2.4.548 – 96 [20] при нормировании 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 7.1.4

Таблица 7.1.4 - Допустимые нормы микроклимата

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96 [20], следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией.

## **7.2 Анализ опасных факторов**

При работе в цехе подготовки и перекачки нефти человек может быть подвергнут действию следующих опасных факторов:

- поражение электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети ~220 В 50 Гц;
- возникновение пожаров в результате короткого замыкания.

Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями [18]. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [21 - 24].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

## 7.2.1 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека. Основными причинами воздействия тока на человека являются:

- Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
- Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
- Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
- Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
- Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;
- Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [15], рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [21] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1 мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Рассматриваемый цех не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электробезопасности: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

### **7.2.2 Загорание (пожар)**

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемый цех относится к классу В (пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов). То есть, технологический процесс в цехе исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Цех имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».



Цех подготовки нефти оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, цеху подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [16] на 800м<sup>2</sup> защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей.

### **7.3 Защита окружающей среды**

Нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия загрязняют все объекты окружающей среды: атмосферный воздух, водные объекты и почву. Основные загрязняющие вещества — это углеводороды, сероводород, оксиды углерода, диоксид серы, и азот. В действительности же, выбросы предприятий нефтехимической отрасли содержат до 250 химических веществ, треть из которых представляет I и II класс опасности.

Загрязнение воздуха происходит на всех этапах переработки нефти и ее компонентов. 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 результате очистки нефтепродуктов получается большое количество отходов - кислых гудронов, щелочных сточных вод. Их обезвреживание и утилизация довольно сложный процесс.

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.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [25]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [13]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой,

заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

Исследования почвы в районах размещения НПЗ показали, что она загрязняется ядовитыми веществами (бензин, керосин, топливные и смазочные масла, жирные кислоты, металлоорганические соединения, воски, твёрдые парафины, соли органических кислот и др.) в радиусе до трех километров и на глубину до 60-80см. В километровой зоне от нефтехимических предприятий концентрации, загрязняющих почву химических веществ существенно выше фоновых и предельно допустимых уровней. Концентрация некоторых веществ может превышать ПДК в сотни раз.

Исходя из этого, в трехкилометровой санитарно-защитной зоне предприятий недопустимо размещение баз отдыха и лечения, а также садов и земель сельскохозяйственного назначения. Эти территории должны быть засажены деревьями и кустарниками для защиты от химических загрязнений.

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и

в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

#### **7.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

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

##### **7.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС**

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

Согласно [16-18], к мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления), применение искробезопасного оборудования, устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup> [17].

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания работающий немедленно сообщает по телефону 01 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.

#### **7.4.2 Электропоражение как источник ЧС**

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

-при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [26] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: УЗО и защитное заземление и зануление [22] п.413.

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.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате работ по моделированию, проектированию и разработке электропривода агрегата для колебательной обработки нефти в промышленном трубопроводе можно сделать следующие выводы:

Моделирование виброактиватора на основе разработанной математической модели позволяет рассчитать основные показатели эффективности на этапе проектирования.

Предложена конструкция одного модуля виброактиватора. Разработана конструктивная схема единичного модуля виброактиватора для переработки нефти в промышленном нефтепроводе и определены рекомендации по первоначальной разработке виброактиватора для переработки вязких нефтей.

Разработаны основные методы использования виброактиватора для прокачки высокопарафиновых нефтей: во время работы необходимо периодически регулировать частоту и амплитуду напряжения питания для обеспечения работы виброактиватора в квазирезонансном режиме. Диапазон регулирования частоты может составлять от 35 до 70 Гц, диапазон регулировки амплитуды напряжения может составлять от 110 до 250 В.

Предложена трехфазная электрическая схема для подключения виброактиватора, которая обеспечивает контроль частоты и напряжения в заданном диапазоне. Подключение и регулирование заданных параметров обеспечивается за счет использования электроприводов российского производства: преобразователя частоты Веспер EI-7011-010Н, диодов марки Д112-16, автоматического выключателя марки IEK ВА47-29 С16, кабель марки КГН (4х1,5).

## Список источников

1. Транспортировка нефти [Электронный ресурс]: <http://www.vortexosc.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=172> (дата обращения: 28.03.2017).
2. Пути и методы снижения вязкости нефти [Электронный ресурс]: [http://www.conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s2/s2\\_07.pdf](http://www.conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s2/s2_07.pdf) (дата обращения: 17.03.2017).
3. Принципиальные схемы обустройства нефтегазовых объектов [электронный ресурс]: <http://www.neftyanik-school.ru/studentam/uchebnye-kursy/course/15/20?start=1> (дата обращения: 18.03.2017).
4. Методы перекачки высоковязких и высокозастывающих нефтей [Электронный ресурс]: <http://borpak.ru/stati/metodi-perekachki-visokovyazkix-i-visokozastivayushix-nefteie-i-nefteproduktov/page-4.html> (дата обращения: 19.04.2017).
5. Ильин С.Н., Захаров А.П., Бекишов Н.П., Белоконева Н.В., Сироткин О.Л., Устройство для снижения вязкости нефти и нефтепродуктов при помощи комплексного воздействия микроволновой энергии и ультразвукового излучения, Патент №2382933, Бюл.№9, 2001 г.
6. И.В. Прозорова, Ю.В. Лоскутова, Н.В. Юдина, С.В. Рикконен, В.А. Данекер, изменение реологических свойств нефтей под воздействием виброструйной магнитной активации. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.
7. Каталог преобразователей частоты [Электронный ресурс]: [http://te96.ru/catalog/chastotnye\\_preobrazovateli/preobrazovateli\\_chastoty\\_obshchepmyshlennye/preobrazovatel\\_chastoty\\_fci\\_g75\\_p90\\_4\\_75kvt\\_152a/](http://te96.ru/catalog/chastotnye_preobrazovateli/preobrazovateli_chastoty_obshchepmyshlennye/preobrazovatel_chastoty_fci_g75_p90_4_75kvt_152a/) (дата обращения: 15.05.2017)



8. Каталог диодов [Электронный ресурс]: <http://lessonradio.narod.ru/handbook/Diod.htm> (дата обращения: 15.05.2017)
9. Каталог автоматических выключателей [Электронный ресурс]: <https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/va57-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-16a-do-630a/va57-35/108586> (дата обращения: 15.05.2017)
10. Кабельные изделия. Справочник Автор: Алиев И.И., издание 2-е, 2004
11. Энциклопедия электрики [Электронный ресурс]: <http://kabel-vvg.ru/> (дата обращения: 25.04.2017)
12. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
13. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
14. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
15. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
16. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
17. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
18. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
19. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
20. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
21. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
22. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»

23. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»

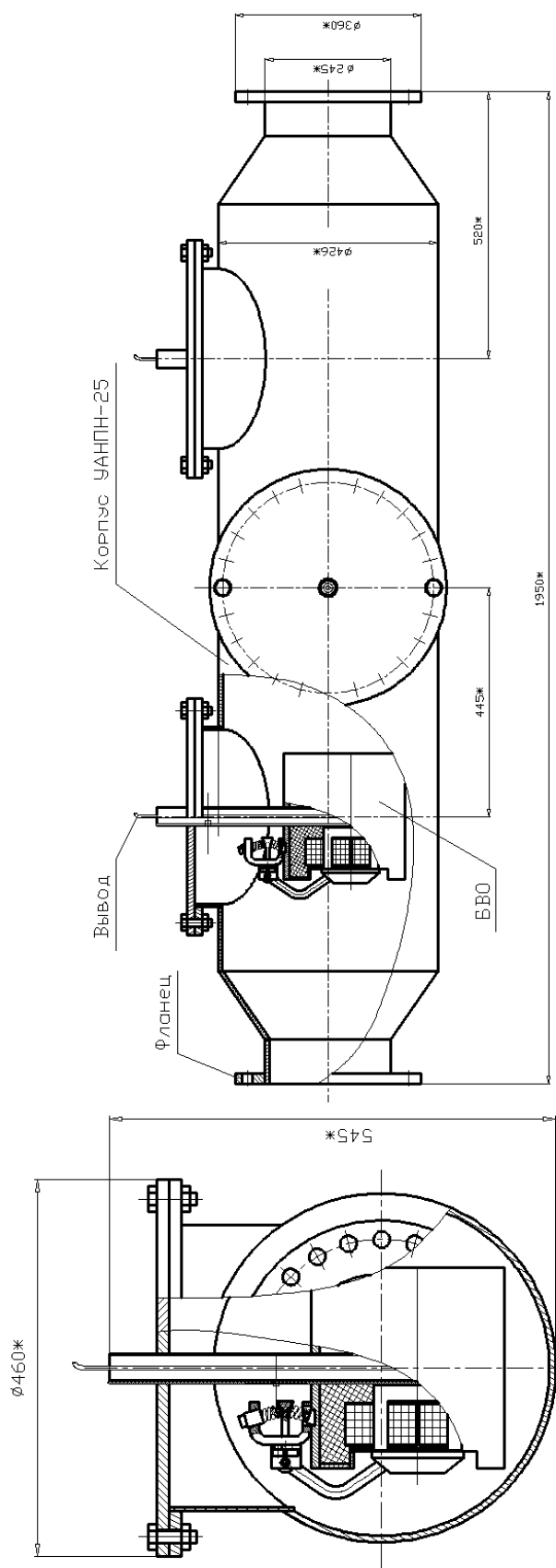
24. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»

25. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»

26. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Чертеж общего вида установки УАНПН-25



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Чертеж блока виброобработки

