

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
Электропривод установки вибромагнитной обработки нефти магистрального нефтепровода

УДК 622.692.4:62-83-523

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Филимонова Лилия Валерьевна		

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.н.т., 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	Филимонова Лилия Валерьевна

Тема работы:

**Электропривод установки вибромагнитной обработки нефти магистрального
нефтепровода**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является электропривод установки вибромагнитной обработки нефти магистрального нефтепровода. В качестве исходных данных представлены:

- производительность установки 150 м³/час;
- параметры магнитопровода;
- собственная частота колебаний активатора

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования,

- постановка задачи исследования;
- составление математической модели модуля активации;
- исследование режимов работы активатора;
- разработка конструкции единичного модуля и установки;
- выбор основных элементов электропривода;
- разработка раздела «Финансовый менеджмент»;
- разработка раздела «Социальная ответственность»;

проектирования, проектирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	- заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Общий вид блока вибюрообработки 1. Общий вид установки УАНМН -150
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Потехина Нина Васильевна
«Социальная ответственность»	Панин Владимир Филиппович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

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	Филимонова Л.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Филимоновой Лилии Валерьевне

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	«Электроэнергетика и электротехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Заработные платы рассчитывались на основе окладов ТПУ: -руководитель – 26300 руб. -проектировщик – 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премимальный коэффициент 30% Коэффициент доплат и надбавок 20% Коэффициент дополнительной заработной платы 13% Коэффициент учитывающий накладные расходы 16% Районный коэффициент 30%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений*
2. *Календарный план-график проведения НИ*
3. *Бюджет затрат НИ*
4. *Оценка ресурсоэффективности НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Филимонова Лилия Валерьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Филимоновой Лилии Валерьевне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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.
Перечень графического и инструктивного материалов:	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

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

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	Филимонова Лилия Валерьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 21 рисунок, 21 таблицу, 2 приложения, 36 источников.

Ключевые слова: БЛОК ВИБРООБРАБОТКИ, МАГИСТРАЛЬНЫЙ НЕФТЕПРОВОД, ВЯЗКОСТЬ, АКТИВАЦИЯ, ВИБРОАКТИВАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ.

В работе составлена математическая модель модуля активации, которая позволила исследовать режимы работы виброактиватора, разработаны конструкции единичного модуля и установки в целом для активации нефти в магистральном нефтепроводе (УАН), произведен выбор основных элементов электропривода УАН.

С помощью математической модели в Mathcad 15 проведено расчётное исследование режимов работы виброактиватора, определены технические характеристики единичного модуля и установки в целом, обеспечивающие максимальную производительность активации.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и представлена на диске CD-RW (в конверте на обороте обложки).

Оглавление

Введение	12
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	14
1.1 Анализ имеющихся оборудования и технологий для снижения вязкости нефти в магистральных трубопроводах	14
1.2 Технология и оборудования ВСМА	21
ГЛАВА 2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТУИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ.....	26
2.1 Модуль виброобработки	26
2.2 Производительность активации (обработки) МВО	31
2.3 Определение массы активатора.....	32
2.4 Расчет жесткости пружинного подвеса.....	34
2.5 Расчет механического сопротивления колебаний активатора в вязкой среде.....	34
2.6 Определение обмоточных данных катушек электромагнитного привода.....	35
2.7 Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита.....	37
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ВИБРОАКТИВАТОРА.....	39
3.1 Уравнение электрических контуров	39
3.2 Уравнение механического контура	44
3.3 Система уравнений модуля устройства	45
3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений	47
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТ ВИБРОАКТИВАТОРА.....	49
4.1 Анализ режимов работы при обработке нефти со средним показателем вязкости	53

4.2 Анализ режимов работы при обработке нефти с высоким показателем вязкости	53
ГЛАВА 5 . ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВКИ.....	58
5.1 Общие положения	58
5.2 Разработка конструкции блока виброактиватора	58
5.3 Конструкция установки активации нефти в магистральном нефтепроводе УАНМН-150.....	61
5.3 Разработка схемы подключения установки	62
5.4 Выбор элементов электропривода установки	64
5.4.1 Выбор преобразователя частоты	65
5.4.2 Выбор диода	67
5.4.3 Выбор регулятора напряжения.....	67
5.5 Выбор аппаратуры управления и защиты	67
5.5.1 Аппаратура управления	67
5.5.2 Аппаратура защиты.....	68
5.5.3 Выбор автоматического выключателя.....	68
5.5.4 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети.....	68
ГЛАВА 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ...	70
6.1 Анализ конкурентных технических решений	70
6.1 Структура работы в рамках научного исследования	72
6.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	74
6.4 Бюджет научно-исследовательской работы (НИР).....	76
6.5 Определение ресурсной эффективности исследования	81
ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	84
7.1 Анализ вредных факторов.....	84
7.1.1 Шум.....	86

7.1.2 Вибрация.....	87
7.1.3 Недостаток естественного света	88
7.1.4 Микроклимат.....	90
7.2 Анализ опасных факторов.....	92
7.2.1 Электропоражение.....	93
7.2.2 Загорание (пожар)	93
7.3 Защита окружающей среды.....	94
7.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий	97
7.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	97
7.4.2 Электропоражение как источник ЧС.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
Список источников.....	102
Приложение А.....	105
Приложение Б.....	106

Ведение

Актуальность темы

Транспортировка нефти от нефтяных скважин до нефтеперерабатывающих заводов в основном производится по магистральным нефтепроводам и железнодорожными цистернами. Причем по нефтепроводам транспортируется нефти в 2,5 раза больше, чем по железной дороге.

В настоящее время сложилась ситуация, что производительность нефтескважин превышает пропускную способность магистральных нефтепроводов. В связи с этим продается нефти меньше, чем могут производить существующие нефтяные скважины. Решить данную проблему можно путем перекачки большего количества нефти по тем же магистралям и при той же мощности насосного оборудования благодаря снижению вязкости нефти [1].

Вязкость добываемой нефти в местах с низкой температурой окружающей среды, достигает таких значений, что стоимость добываемой нефти значительно ниже чем энергозатраты на перекачку нефти, а в некоторых случаях перекачка нефти становится практически невозможной. При снижении вязкости перекачиваемой нефти уменьшается гидравлическое сопротивление трубопровода, вследствие чего уменьшаются энергозатраты на перекачку. Для увеличения эффективности процесса транспортировки вязкие и высоковязкие нефти подвергают предварительной обработке [2].

Все известные способы обработки высоковязкой нефти в магистральных нефтепроводах (МН) можно разделить на несколько групп:

1. Термический нагрев.
2. Создание эмульсии нефти в воде при помощи веществ-эмульгаторов.
3. Воздействие на жидкость различными видами электромагнитного излучения и их комбинациями.

Существующие технологии и оборудование, применяемые для обработки вязких нефтепродуктов, громоздки, сложны и энергозатратны. Поэтому разработка новых технологий и оборудования, обеспечивающих снижение затрат, является актуальной.

Объект исследования – электропривод установки вибромагнитной обработки нефти магистрального нефтепровода.

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

1. Производительность установки $150 \text{ м}^3/\text{час}$;
2. Габариты образца должны обеспечить свободное конструктивное размещение в конструкции существующих магистральных трубопроводах.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработать конструкцию установки для установки в магистральном нефтепроводе диаметром 720 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 магистральных трубопроводах

Приступая к разработке, целесообразно провести аналитический обзор, в каком состоянии находится современная транспортировка высоковязких нефтепродуктов по магистральным трубопроводам (МТ) и технологии для снижения вязкости нефтепродуктов. На рисунке 1.1.1 приведен состав сооружений магистрального трубопровода:

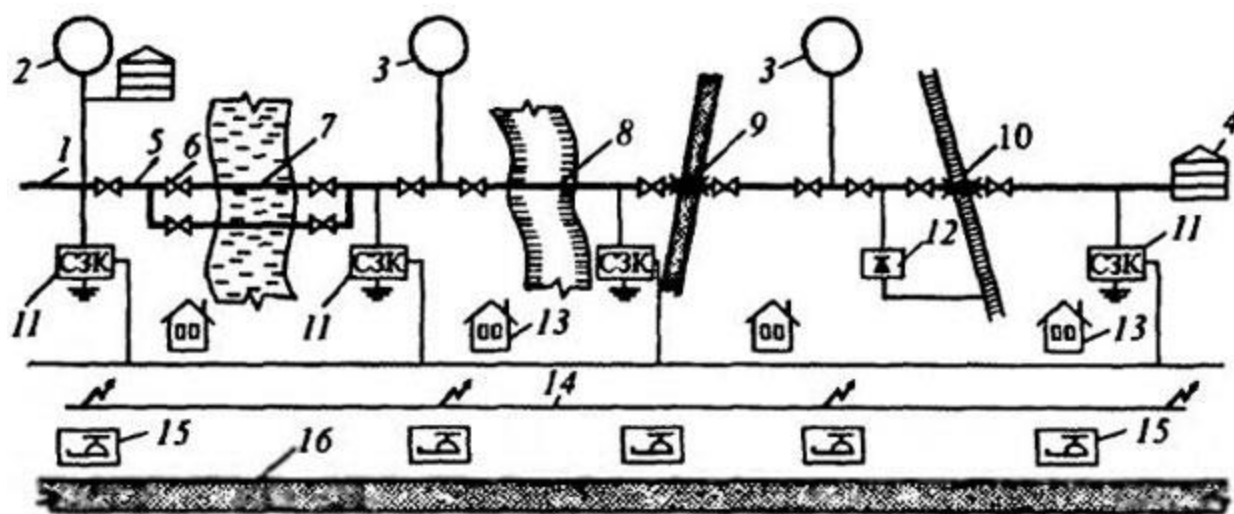


Рисунок 1.1.1 - Общая схема магистрального трубопровода

1. Подводящий трубопровод
2. Головная НПС
3. Промежуточная НПС
4. Конечный пункт
5. Линейная часть
6. Линейная задвижка
7. Дюкер
8. Надземный переход
9. Переход под автодорогой
10. Переход под железной дорогой
11. Станция катодной защиты

12. Дренажная установка электромеханической защиты
13. Дом обходчика
14. Линии связи
15. Вертолетная площадка
16. Дорога

Трубопровод представляет собой сваренные в непрерывную нитку трубы. Верхнюю образующую (МТ) заглубляют на глубину 0,8 м. в грунт, если иная глубина не предопределяется другими условиями для заложения. В районах с вечномерзлыми грунтами или через болота трубы МН укладываются в искусственные насыпи или на опоры. Толщина стенок труб определяется проектным давлением, которое может достигать 10 Мпа. Для (МТ) применяют сварные или цельнотянутые трубы с диаметром 300-1220 мм. Кроме магистральных трубопроводов существуют промышленные, технологические и распределительные трубопроводы [3].

Активное развитие трубопроводного транспорта в России началось в конце 1950-х годов. Нефть, газ, и продукты их переработки перевозятся между континентами в огромных танкерах, а на земле транспортируются по трубопроводам. Эти трубопроводы бывают просто огромными (в России диаметр трубы может достигать до 1422 мм) и достигают более 1000 км в длину [4].

Магистральные трубопроводы России, в настоящее время, эксплуатируются ОАО «АК Транснефть», которое является транспортной компанией и объединяет 11 российских предприятий трубопроводного транспорта нефти, владеющих нефтяными магистралями, эксплуатирующих и обслуживающих их.

Основным достоинством трубопроводов является их безопасность. Трубопроводы в 40 раз безопаснее, чем железнодорожные цистерны, и в 100 раз безопаснее, чем автоцистерны, применяющиеся для транспортировки энергоносителей.

В России и за рубежом используют нефтерастворимые присадки при перекачке нефти, для улучшения ее реологических параметров. Применение **депрессорных насадок** является перспективным способом подготовки высоковязкой парафинистой нефти к транспорту по магистральным трубопроводам [5].

Предварительно, перед применением присадок, нефть нагревают до полного расплавления парафина. При движении нефти с депрессорными присадками по нефтепроводу, она не будет нуждаться в дополнительном подогреве на промежуточных станциях. Механизм действия депрессоров на высокопарафинистые нефти имеет двоякий характер: во-первых, частицы присадки выступают как центры, вокруг которых происходит кристаллизация парафина, образуя при этом не связанные между собой агрегаты; во-вторых, частицы присадки при взаимодействии с парафином образуют смешанные кристаллы, которые приводят к принципиальному изменению строения кристаллов и предотвращают образование сплошной структурной сетки. В результате, при вводе в нефть незначительного количества (до 0.2 % по объему) химически активных веществ происходит улучшение реологических свойств.

Тем не менее имеется ряд недостатков при использовании данного метода: во-первых, на данный момент времени нет универсальной присадки, подходящей для всех высокопарафинистых или хотя бы большой группы нефти; во-вторых, депрессорные присадки, несмотря на то, что они необходимы в сравнительно малых количествах, обладают высокой стоимостью; в-третьих, на данный момент времени известны лишь присадки для уменьшения вязкости и температуры застывания высокопарафинистой нефти [6].

Насколько эффективно будет действовать присадка зависит от концентрации парафинов, а также от естественных поверхностно-активных веществ (ПАВ) (смола, асфальтенов) и обусловлено физико-химическими свойствами парафинистых нефтей. Это относится также к смесям

парафинистых и маловязких нефтей. В качестве превентивных мер, применяют депрессорную присадку Difron 3004, которая обеспечивает снижение температуры застывания сырых нефтей и мазутов. Добавление депрессорной присадки в поток нефти ведет к: увеличению пропускной способности нефтепроводов, меньшим затратам на подогрев нефти и на очистительные работы по удалению отложений парафина, снижению давления перекачки, что в целом уменьшает себестоимость нефтепродуктов [6].

Следующим видом обработки высоковязкой нефти является **процесс термообработки**, который заключается в нагреве нефти до температуры, при которой все содержащиеся в ней твердые парафиновые углеводороды растворяются, и охлаждении с заданной скоростью при движении или покое.

Существует оптимальная температура подогрева, которая всегда выше температуры плавления парафинов, при которой эффект термообработки парафинистых нефтей наибольший. При увеличении температуры нагрева температура застывания сначала увеличивается, затем уменьшается, становясь минимальной при определенной температуре термообработки. На свойства термообработанных нефтей большое влияние оказывают условия охлаждения нефти [7].

Форма, размер и количество кристаллов парафинов зависят от: скорости возникновения и скорости роста кристаллов. Система с большим количеством мелких кристаллов образуется если скорость роста кристаллов выше скорость возникновения кристаллов, в другом случае в системе образуются крупные кристаллы. Прочность мелкокристаллической структуры, будет значительно выше, чем у системы с крупными кристаллами [7].

При оптимальном темпе охлаждения ($10\text{—}20\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$) возникает благоприятное соотношение скорости возникновения центров кристаллизации и скорости роста образовавшихся кристаллов парафина. Некоторая часть парафина идет на образование крупных кристаллов, которые

образуют рыхлые скопления, в следствии чего улучшаются свойства текучести нефти.

Для обогрева нефтепроводов, емкостей и оборудования используются системы электрического обогрева, позволяющие обеспечивать постоянство температуры внутренней среды и транспортируемого или хранящегося вещества (нефть, нефтепродукты). В качестве обогрева магистральных нефтепроводов, например, широко применяются трубы ППУ изоляции с проложенным в теплоизоляционном слое пенополиуретана электрическим кабелем (рисунок 1.1.2). За счет этого трубы в ППУ изоляции, эффективно сохраняющие тепло по причине низких тепловых потерь, обеспечиваемых ППУ изоляцией, дополнительно обеспечиваются электрической системой подогрева, значительно повышающей надежность при эксплуатации магистрального нефтепровода [8].



Рисунок 1.1.2- Общая схема магистрального трубопровода

Следующим методом для снижения вязкости нефти является **высокочастотное электромагнитное воздействие**. Главной особенностью данного метода в отличии от других тепловых методов, является возникновение в толще залежи объемных источников тепла.

Уменьшение вязкости нефти происходит за счет диэлектрических потерь в среде, вследствие чего энергия электромагнитных волн преобразуется в тепловую энергию, и, в результате происходит повышение

температуры. Под действием внешней нагрузки, широкий класс жидкостей обнаруживают свойство менять свою вязкость, обнаруживая при этом вязкоупругие свойства, которые называются неньютоновские жидкости. Вязкость среды в этих жидкостях уменьшается за счет увеличения прикладываемых напряжений - среда скользит вдоль твердой поверхности. Этот эффект оказывается полезным для снижения вязкости нефти при ее перекачке по трубопроводу [9].

В условиях севера нефть, при низких температурах окружающей среды, быстро застывает и приобретает желеобразную структуру. При этом она ведет себя как упругое тело, то есть ее деформация будет пропорциональна приложенному напряжению. Перекачивающий насос создает перепад давления, который расходуется на статическую деформацию застывшей нефти. В таких условиях стандартную перекачку невозможно использовать, так как насосы не имеют возможности справиться с загустевшей нефтью, так как увеличиваются вязкие потери при движении желеобразной формы нефти по трубе.

Данный способ, по сравнению с остальными применяемыми тепловыми методами, намного экономичнее и существенно менее трудоемок. Это объясняется тем, что акустические колебания с небольшой мощностью при воздействии на одну точку способны значительно уменьшить вязкость нефти желеобразной формы, прилегающей к стенкам нефтепровода, за счет высокой скорости распространения колебаний. В результате при снижении вязкого сопротивления движения нефти, уменьшается пусковое давление, в следствии чего увеличивается скорость прокачки нефтепродуктов [9].

На рисунке 1.1.3 представлено устройство для снижения вязкости нефти воздействием микроволновой энергии и ультразвукового излучения:

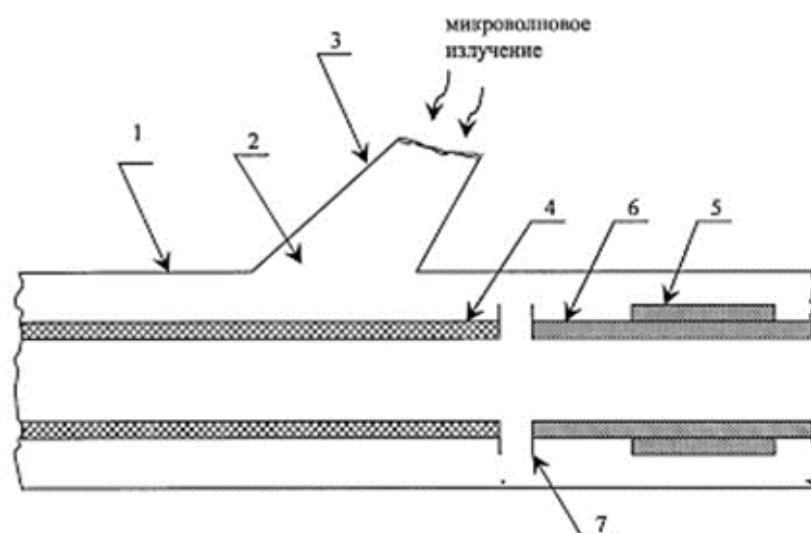


Рисунок 1.1.3 - Устройство для снижения вязкости нефти и нефтепродуктов при помощи комплексного воздействия микроволновой энергии и ультразвукового излучения

Установка состоит из секции микроволновой обработки, содержащей круглый волновод 1, в который поступает через окна связи 2 микроволновая энергия от магнетронных генераторов, каждый из которых подключен к рупорным излучателям 3, установленным на круглом волноводе с коаксиально расположенной внутри него трубой 4 из радиопрозрачного материала, и модуля ультразвуковой обработки, содержащего цилиндрические магнитострикционные излучатели 5 с запрессованными внутрь каждого излучателя металлическими стаканами, которые сваркой соединены в трубу 6. Трубы 4 и 6 стыкуются через фланец 7 [10].

Задачей предлагаемого изобретения является расширение возможностей полевой обработки нефти путем комплексного воздействия микроволновой энергии и ультразвукового излучения.

Техническим результатом изобретения является возможность снижения вязкости нефти и нефтепродуктов с высоким содержанием смол, асфальтенов и парафинов, путем комплексного воздействия микроволновой энергии и ультразвукового излучения.

Рассмотренные технические решения по снижению вязкости нефтепродуктов при транспортировании магистральными нефтепроводами в своём большинстве являются энергозатратными. Поэтому поиск новых подходов к решению данной проблемы является актуальным.

1.2 Технология и оборудования ВСМА

При передаче в систему энергии посредством электронного, кавитационного, механического, химического, теплового, электромагнитного, акустического и радиационного воздействия происходит изменение физико-химических и реологических свойств нефтяных дисперсных систем (НДС).

В данный момент времени уже глубоко изучена зависимость реологических свойств высоковязких нефтей от влияния вибрационных воздействий и высоких сдвиговых скоростей. Научно-исследовательские работы в области механики полимеров при решении таких актуальных вопросов трубопроводного транспорта, как снижение вязкости нефти, откачка высоковязких нефтей из нефтехранилищ, пуск нефтепроводов после длительных остановок и уменьшение асфальтосмолопарафиновых отложений трубопроводов, показали, что, изменяя интенсивность внешних механических воздействий, можно в довольно широком диапазоне управлять реологическими свойствами структурированных систем [11].

Для изменения реологических свойств НДС применяют метод виброструйной магнитной активации (ВСМА). Данный метод требует тонкого подбора режимов работы вибраторов и химических реагентов, но, он менее энергозатратен. Использование технологии и оборудование ВСМА обеспечивает наличие в среде замкнутых потоков жидкости, которые, в свою очередь создают условия для многократного попадания отдельных порций жидкости, в зону активации, изменяя химические свойства высоковязких нефтепродуктов.

Технология ВСМА - это способ многокомпонентного физико-химического воздействия, применяемый для изменения реологических свойств и получения требуемых параметров сложных жидких систем [12].

Многокомпонентное физическое воздействие ВСМА характеризуется предельными значениями параметров:

1. Скорость затопленных струй до 10 м/с
2. Сдвиговая скорость до $15 \cdot 10^{-3}$ с
3. Ускорение рабочего органа до 100 д
4. Перепад давления в зоне активации до 3 атм
5. Магнитная индукция в зоне активации до 0,9 Тл
6. Частота основного воздействия 50 Гц
7. Частота модуляции основного воздействия от 0,1 до 10 Гц

Сырая нефть, представляющая собой многокомпонентную жидкую смесь, мазут и другие нефтепродукты, состоящие из длинных молекул, являются типичными представителями неньютоновских жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами [11]. Течение таких жидкостей существенным образом отличается от чистых, ньютоновских, что иллюстрируется рис.1.2.1. Нелинейность зависимости напряжений сдвига τ и скорости сдвига γ для неньютоновских жидкостей 2 вызывает более высокие абсолютные значения показателей вязкости по сравнению с ньютоновскими 1, что в большей степени проявляется в области малых скоростей. Эффективная вязкость таких жидкостей при малых скоростях во многом определяется величиной τ_0 - предельным значением динамического напряжения сдвига. Кроме этого, многие неньютоновские жидкости, в том числе сырая нефть, промывочные и цементные растворы, в определенных условиях способны образовывать структуру и терять, в следствие этого, свою текучесть. Переход таких жидкостей из нетекучего в текучее состояние происходит при достижении определенных значений усилия. Одной из существенных причин такого поведения неньютоновских жидкостей является присутствие в их составе структурообразующих компонент,

находящихся во взвешенном состоянии. Для сырой нефти в соответствующих условиях это кристаллы парафинов и смолы, для промывочных и цементных растворов - дисперсные частички глины или цемента и т.п. [11].

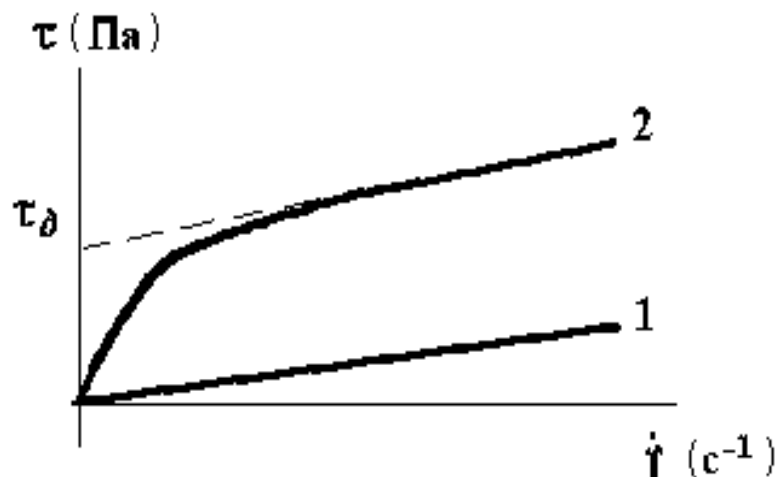


Рисунок 1.2.1 – Зависимости напряжений сдвига τ и скорости сдвига $\dot{\gamma}$ для неньютоновских жидкостей

В нетекучем состоянии силы взаимодействия между этими частицами настолько велики, что образуется достаточно прочная и жесткая механическая структура. Свойства таких жидкостей в текучем состоянии во многом определяются размерами локальных структурированных образований. Чем выше сдвиговые скорости течения жидкости, тем, очевидно, вследствие уменьшения сил взаимодействия и разрушения структурированных образований, эти размеры меньше, а свойства ближе к псевдоньютоновским [11].

Существующие способы снижения или получения требуемых значений эффективной вязкости и статического напряжения сдвига указанных жидкостей (термические, химические и механические) как раз и направлены на регулирование или сил взаимодействия, или размеров локальных структурированных образований, а в некоторых случаях на их полное устранение. Применение этих способов позволяет частично решить технические проблемы при транспортировке нефти трубопроводами,

осуществлять эффективный забор нефтяных шламов и отстоя, повысить качество промывочных и цементных растворов. Однако, при всем при этом, эти известные способы неоправданно энергоемки, дорогостоящи и имеют, как правило, ограниченные диапазоны действия [14].

Течение высокопарафинистых нефтей, удовлетворительно описывается уравнением Шведова-Бингама с использованием двух параметров: пластической вязкости μ_p и динамического напряжения сдвига τ_d . Динамическое напряжение сдвига характеризует прочность структуры нефти в условиях непрерывной деформации.

$$\mu_e = \mu_p + \frac{\tau_d}{\gamma}, \quad (1.2.1)$$

где: μ_p - пластическая вязкость, Па•с;

τ_d - динамическое напряжения сдвига, Па;

γ - скорость сдвига, 1/с;

μ_e - эффективная вязкость, Па•с.

Разнообразные воздействия физическими полями существенно изменяют величину динамического напряжения сдвига и в меньшей степени пластическую вязкость [11].

Следует отметить, что на сегодняшний день запасы нефти нефтедобывающей отрасли пополняются за счет вовлечением в оборот высоковязких нефтепродуктов. Свойства высоковязких нефтепродуктов характеризуются содержанием в своём составе парафина с высокой температурой застывания (кристаллизации) и образованием асфальтосмолопарафиновых отложений. Вследствие этого возникают существенные проблемы при её добыче, хранении и транспортировке. Технология и оборудование ВСМА улучшают реологические свойства высоковязкого нефтепродукта, воздействуя на надмолекулярные структуры нефти и поддержания этого уровня в течение длительного времени [12].

Снижение вязкости при применении технологии ВСМА достигает от единиц до нескольких десятков раз.

Таким образом, перечисленные преимущества технологии и оборудования ВСМА являются перспективными для решения задачи разработки установок обработки высоковязких нефтепродуктов, предназначенных для работы в составе магистральных нефтепроводов.

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТУИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

2.1 Модуль виброобработки

Как показывает опыт разработок устройств ВСМА применение модульного подхода наиболее целесообразно при разработке конструкции устройства для снижения вязкости нефти в магистральных нефтепроводах. Он позволяет наиболее оптимально решить поставленные в работе задачи: при заданных габаритах обеспечить требуемую производительность, а также обеспечить надежность и высокую работоспособность.

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью виброактиватора для снижения вязкости нефти, осуществляющего непосредственное виброструйное магнитное воздействие на нефть в магистральном нефтепроводе. Принципиальное конструктивное решение общего вида МВО приведено на рисунке 2.1.1.

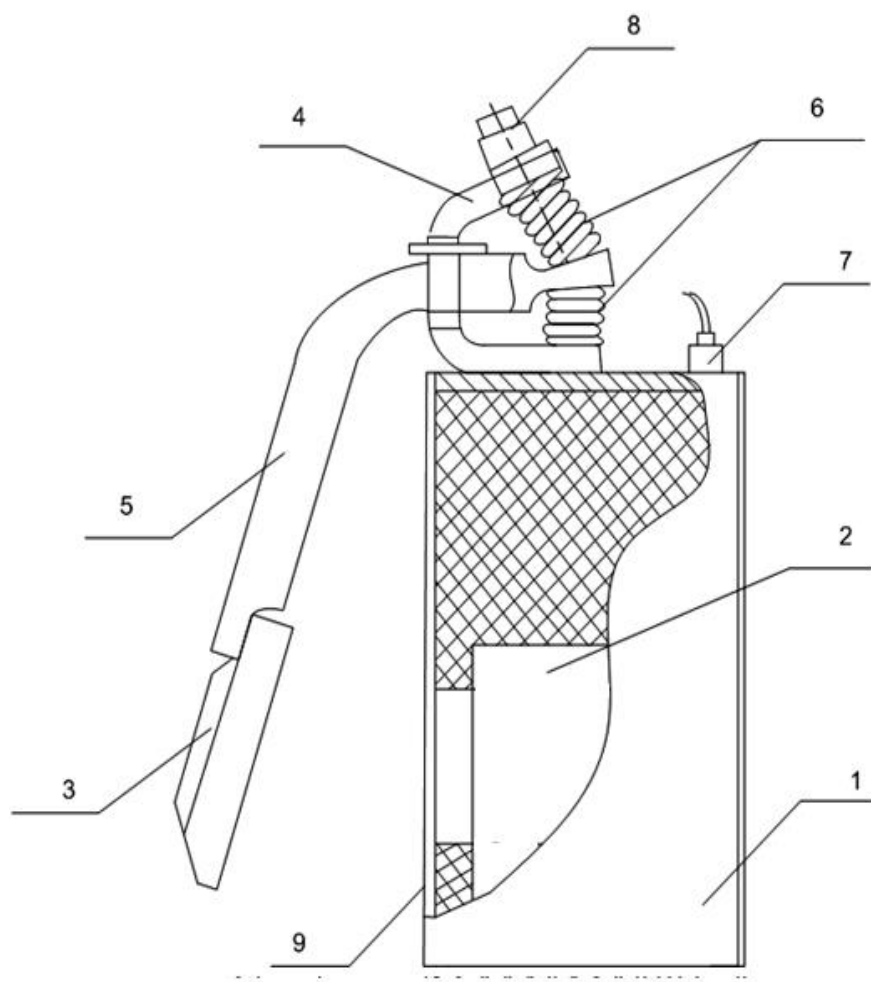


Рисунок 2.1.1 - Эскиз конструкции МВО

Модуль виброобработки состоит из:

- 1 – корпус;
- 2 – электромагнит;
- 3 – активатор;
- 4 – кронштейн;
- 5 – рычаг;
- 6 – упругость (пружина);
- 7 – устройство ввода;
- 8 – регулировочный винт;
- 9 – стенка корпуса БВО.

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в пространстве, изолированном от воздействия среды обработки и поэтому он

должен быть герметичным. Для обеспечения лучшего теплоотвода с обмоток и магнит провода пространство корпуса МВО, не занятое электромагнитом, заливается изоляционным компаундом.

Электромагнит 2 предназначен для создания возмущающей силы колебательной системы. Активатор 3, являющийся якорем электромагнита, совершает колебания, так как электромагнит жестко связан с корпусом МВО. Сердечник электромагнита выполнен из листов стали П-образной формы, сформированных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки. Активатор 3 выполнен из цельной заготовки. Активатор может быть круглой или квадратной формы. На активаторе выполнено трапецеидальное отверстие необходимое для формирования затопленных струй. Активатор 3 закреплён на длинном плече рычага 5. Крепление подвижных элементов МВО к корпусу производится при помощи кронштейна 4.

Возвращающую силу колебательной системы МВО формируют упругости 6, представляющие из себя цилиндрические пружины.

Регулировочный винт 8 предназначен для регулировки начального зазора между активатором и стенкой корпуса 9 МВО.

Модуль виброобработки работает в резонансном колебательном режиме, который при минимальных энергозатратах оказывает максимальное комплексное виброструйное магнитное воздействие на вязкий нефтепродукт, находящийся в магистральном нефтепроводе. Объясняется это тем, что в резонансе амплитуда колебаний активатора является максимальной, сопровождаемой максимальной кинетической энергией. Для обеспечения резонансного режима необходимо произвести соответствующий подбор массы колеблющихся элементов и жёсткости. Исходными данными для определения значения жёсткости пружин является масса активатора и собственная частота колебательной системы, значение которой задаётся в задании на выполнение ВКР.

Режим работы модуля обработки на воздухе соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери на вязкое трение среды практически отсутствуют. В таком случае, при известной массе активатора и частоте колебаний, можно расчётным путём определить жёсткость пружин. Практикой разработки устройств ВСМА установлено, что частота собственных колебаний ЭМП должна находиться в пределах, от 60 до 70 Гц. По условиям задания на выполнение ВКР собственная частота колебательной системы установлена 70 Гц. Масса активатора определяется из его геометрических размеров. Размер активатора выбирается исходя из размеров магнитопровода, в общем виде приведенным на рисунке 2.1.2. Размеры магнитопровода, определенные заданием на ВКР, представлены в таблице 2.1.1.

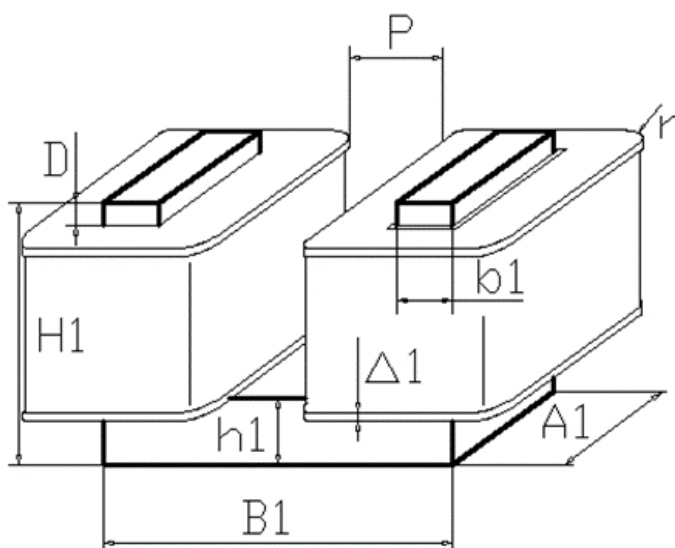


Рисунок 2.1.2 - Общий вид конструкции магнитопровода

Таблица 2.1.1 – размеры магнитопровода

Расстояние между обмотками	$P = 2 \text{ мм}$
Зазор между обмоткой и стенкой корпуса	$D = 6 \text{ мм}$
Высота спинки	$h1 = 30 \text{ мм}$
Высота стержня	$H1 = 70 \text{ мм}$

Ширина	$b_1 = 25 \text{ мм}$
Длина полюса	$A_1 = 50 \text{ мм}$
Длина спинки	$B_1 = 195 \text{ мм}$
Толщина стенки каркаса обмотки	$\Delta_1 = 2 \text{ мм}$

Чертёж активатора приведен на рисунке 2.1.3, размеры активатора представлены в таблице 2.1.2.

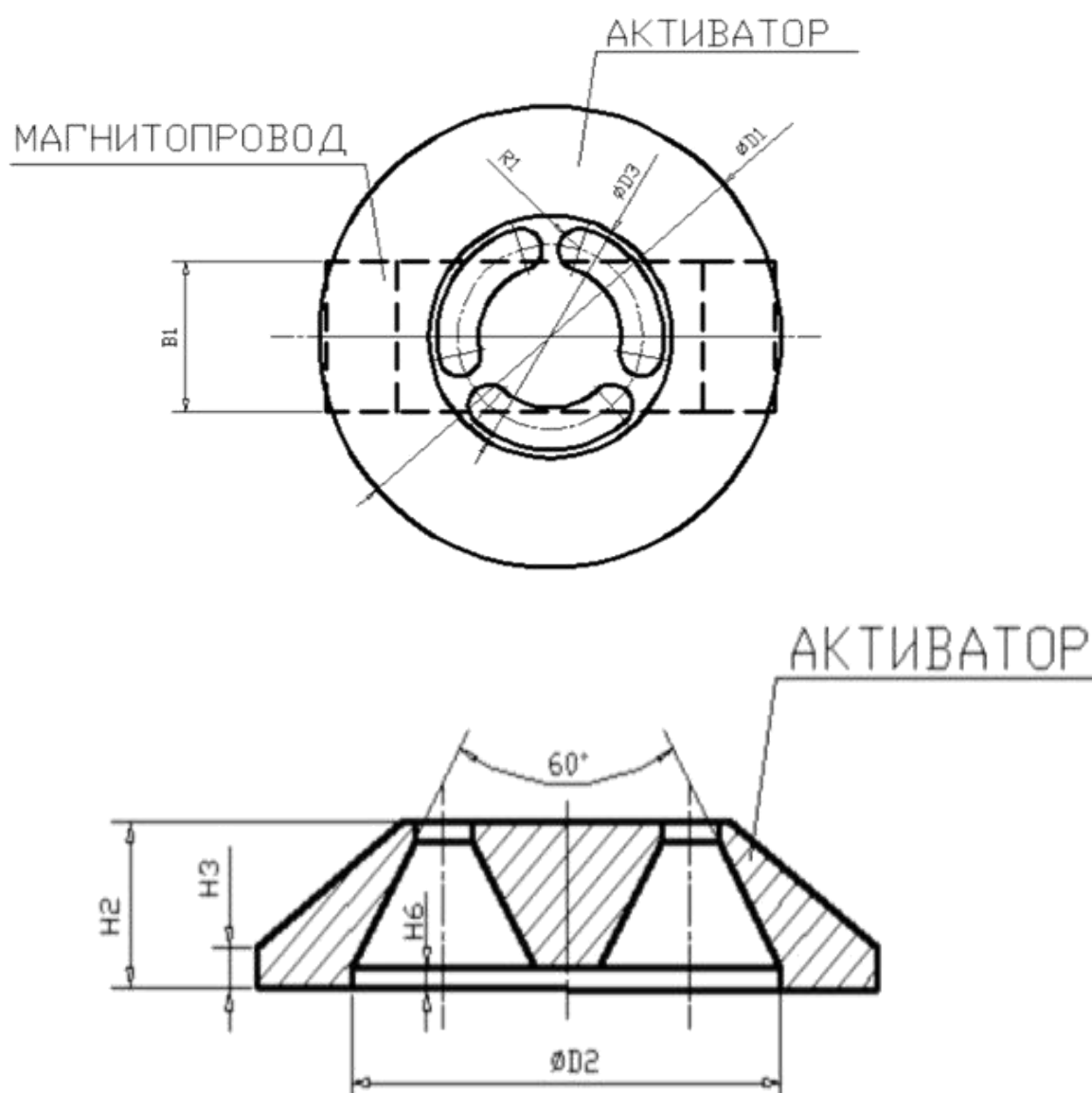


Рисунок 2.1.3 Общий вид конструкции активатора

Таблица 2.1.2 – размеры активатора (мм).

H1	H2	H3	H4	B1	D1	D2	R1	R2
70	30	8	4	195	214,5	145	107	72,5

2.2 Производительность активации (обработки) МВО

Для определения количества МВО, обеспечивающего заданную производительность всей установки, необходимо определить производительность одного модуля. Объем жидкости, находящийся под активатором, при каждом движении активатора по направлению к стенке электромагнитного преобразователя (ЭМП), проходит через специальные отверстия в активаторе, образуя затопленные струи. Затопленные струи образуются за счёт различия в значениях гидравлического сопротивления, обусловленного трапецеидальной формой щели в активаторе при движении активатора в прямом и обратном направлениях.

Расчетный расход обрабатываемой жидкости единичного МВО с размерностью (м³/час) при колебаниях активатора можно определить, как:

$$Q_{об} = 2 \cdot S_{акт.} \cdot \delta_0 \cdot f \cdot 3600, \quad (2.2.1)$$

где: $S_{акт.}$ – площадь сечения активатора,

$$S_{акт} = \pi R_{осн}^2 = 3,14 \cdot 0,107^2 = 0,036 \text{ м}^2; \quad (2.2.2)$$

δ_0 - расчётный начальный зазор (выбирается в пределах от 4 до 8 мм);

f - частота колебаний активатора (принимается равной частоте напряжения электрической сети 50 Гц).

При выбранном расчётном начальном зазоре δ_0 , равном 4 мм, расчётная производительность будет равна:

$$Q_{об} = 2 \cdot 0,036 \cdot 0,004 \cdot 50 \cdot 3600 = 52 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.2.3)$$

Экспериментальными исследованиями устройств ВСМА установлено, однократное прохождение обрабатываемой жидкости через зону активации не обеспечивает соответствующий уровень изменения (приобретения)

требуемых свойств жидкости. Для различных технологических процессов и жидкостей с определёнными исходными свойствами должны быть установлены минимальные значения количества циклов прохождения через зону активации. Для проектируемого устройства ВСМА количество таких циклов должно быть не менее 25. Тогда расчётная производительность активации одного МВО по расчётным данным равна:

$$Q = \frac{Q_{об}}{25} = 2,08 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.2.4)$$

По приведённым данным производится расчёт количества единичных модулей K , необходимых для обеспечения производительности всей установки.

$$K = \frac{Q_{\Sigma}}{Q} = \frac{150}{2,08} = 72.115, \quad (2.2.5)$$

где: Q_{Σ} – производительность устройства, установленная в задании.

Таким образом расчёты показывают, что для обеспечения заданной в работе производительности устройства для установки по обработке нефти в магистральном нефтепроводе расходом 150 м³/час необходимо использовать не менее 72 МВО, для обеспечения работы активатора от трехфазной сети.

2.3 Определение массы активатора

Расчёт массы активатора производится по геометрическим размерам. Упрощенная схема активатора, которую можно разбить на отдельные геометрические фигуры (цилиндры, усечённые конусы), приведена на рисунке 2.2. Учитывая, что активатор выполнен из магнитопроводящей стали, плотность материала активатора равна 7 800 кг/м³. Объём активатора, занимаемый стальной частью, можно представить, как совокупность частей, имеющих цилиндрические и конусные формы.

Объём основной цилиндрической части

$$V_1 = \pi H R_{осн.акт}^2 \quad (2.3.1)$$

$$V_1 = 3,14 \cdot 8 \cdot 107^2 = 308944 \text{ мм}^3$$

где: $R_{осн.акт}$ - радиус основания активатора, который определяется как:

$$R_{\text{осн.акт}} = \frac{D1}{2} = \frac{1,1 \cdot B1}{2} = \frac{1,1 \cdot 195}{2} = 107 \text{ мм} \quad (2.3.2)$$

$H=8$ - высота основной цилиндрической части активатора, мм.

Объёмы конусных частей, образующих внешнюю форму активатора и форму трапецеидальной щели, можно вычислить по формуле

$$V_{2,3,4} = \frac{1}{3} \pi H (R_{\text{осн.1}}^2 + R_{\text{осн.1}} \cdot R_{\text{осн.2}} + R_{\text{осн.2}}^2) \quad (2.3.3)$$

где: $R_{\text{осн.1}} = \frac{D1}{2} = \frac{1,1 \cdot B1}{2}$ - радиус нижнего основания усеченного конуса, мм;

$R_{\text{осн.2}} = \frac{D2}{2} = \frac{B1 - 2 \cdot b1}{2}$ - радиус верхнего основания усеченного конуса, мм.

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 22(107^2 + 107 \cdot 72,5 + 72,5^2) = 585014 \text{ мм}^3 \quad (2.3.4)$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 27(77^2 + 77 \cdot 59 + 59^2) = 384311 \text{ мм}^3 \quad (2.3.5)$$

$$V_4 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 25(41^2 + 41 \cdot 21 + 21^2) = 78035 \text{ мм}^3 \quad (2.3.6)$$

Общий объем материала активатора определяется следующим образом:

$$V = V_1 + V_2 - V_3 + V_4 \quad (2.3.7)$$

где:

V_1 - объём цилиндра основания активатора;

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.

$$V = 308944 + 585014 + 384311 + 78035 = 4,3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

Переводим размерность объема активатора в м^3 :

$$V \cdot 10^{-9} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Масса активатора:

$$M = V \cdot \rho, \quad (2.3.8)$$

где: $\rho = 7800$ - плотность стали, кг/м³.

Расчётное значение массы активатора:

$$M = 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 3,6 \text{ кг},$$

2.4 Расчет жесткости пружинного подвеса

При работе МВО на воздухе можно предположить, что данный режим соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери практически отсутствуют. В этом случае, если известны собственная частота колебаний и масса активатора, то можно расчётным путём определить жёсткость. Расчёт жёсткости пружин производится из условий обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА на собственной частоте колебательного контура.

Жёсткость пружинного подвеса при известных величинах массы и собственной частоты колебательного контура определяется по выражению:

$$q = \omega_0^2 \cdot m = 439,6^2 \cdot 3,6 = 6,9 \cdot 10^5 \text{ Н/м} , \quad (2.4.1)$$

где: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 70 = 439,6 \text{ рад/с}$ – угловая частота собственных колебаний механической части ЭМП;

m – масса подвижных элементов ЭМП (активатора).

Следует иметь ввиду, что частота ω_0 соответствует собственной частоте, при работе МВО на воздухе, где практически отсутствуют потери на трение и присоединённая масса среды.

2.5 Расчет механического сопротивления колебаний активатора в вязкой среде

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:

$$M_{\text{пр}} = \frac{8}{3} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot R_{\text{экв}}^3 = \frac{8}{3} \cdot 870 \cdot 0,107^3 = 2,86 \text{ кг} \quad (2.5.1)$$

где: $\rho_{\text{ср}} = 870$ – плотность среды (нефти), кг/м³;

$R_{\text{экв}} = 0,55 \cdot B1 = 0,107$ - эквивалентный радиус активатора, м.

Из полученных ранее данных массы активатора и присоединённой массы среды можно определить собственную частоту колебаний активатора в среде по следующему выражению:

$$\omega_{\text{с.ж}} = \sqrt{\frac{q_{\text{собст}}}{M_{\text{акт}} + M_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{6,9 \cdot 10^5}{3,6 + 2,86}} = 327,87 \text{ рад/с} \quad (2.5.2)$$

Из опыта экспериментальных исследований установлено, что с учётом потерь на вязкое трение, резонансная частота вынужденных колебаний активатора при работе в вязком нефтепродукте отличается на не менее чем 2 и более рад/сек в меньшую сторону от частоты собственной. Причём меньшие значения относятся к активаторам, имеющим большую массу и, соответственно, габаритные размеры. В практических расчётах для нашего случая принимаем величину $\omega_{\text{р.ж.}}$, отличающуюся от $\omega_{\text{с.ж.}}$ в меньшую сторону на 2,5 рад/с.

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

$$\begin{aligned} R_{m0} &= \sqrt{2 \cdot (M_{\text{акт}} + M_{\text{пр}})^2 \cdot (\omega_{\text{с.ж.}}^2 - \omega_{\text{р.ж.}}^2)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot (3,6 + 2,86)^2 \cdot (327,87^2 - 325,37^2)} = 368,6 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \end{aligned} \quad (2.5.3)$$

2.6 Определение обмоточных данных катушек электромагнитного привода

Обмоточными данными активатора являются: количество витков в обмотке и диаметр обмоточного провода. Основой для расчета обмоточных данных являются размеры магнитопровода. Обмотка размещается в межсердечниковом пространстве магнитопровода. Площадь сечения окна, в котором размещена обмотка составляет:

$$S_{\text{окн}} = (H1 - h1 - D - 2\Delta1) \cdot (B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P) = \quad (2.6.1)$$

$$= (0,07 - 0,03 - 0,006 - 2 \cdot 0,002) \cdot$$

$$\cdot (0,195 - 2 \cdot 0,025 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) = 0,00417 \text{ м}^2$$

Исходя из технологических соображений, для обмоток устройств ВСМА рекомендуется выбирать обмоточный провод диаметром в диапазоне от **0,3** до **1,5 мм**. Выбираем диаметр обмоточного провода равным 1,5 мм.

После выбора диаметра обмоточного провода необходимо посчитать какое количество витков обмотки можно разместить в окне магнитопровода. Расчётное количество витков равно:

$$W = \frac{S_{\text{окн}} \cdot k_{\text{зап}}}{S_{\text{пр}}} = \frac{0,00417 \cdot 0,65}{1,76 \cdot 10^{-6}} = 1534 \quad (2.6.2)$$

где: $S_{\text{пр}} = \frac{d_{\text{пр}}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,14}{4} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ - площадь сечения обмоточного провода в изоляции

$k_{\text{зап}}$ -коэффициент заполнения. Выбирается в пределах от 0,6 до 0,7

Для уменьшения расхода медного провода выбираются две обмотки, тогда количество витков на одной катушке магнитопровода будет составлять:

$$W1 = \frac{W}{2} = \frac{1534}{2} = 767 \quad (2.6.3)$$

В дальнейших расчётах принимаем количество витков в обмотке, равным 770.

2.7 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.

Длина среднего витка катушки равна:

$$L_{\text{ср}} = 2A1 + 2b1 + 4\Delta_{\text{из}} + 2\pi \cdot R_{\text{скр}} = 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,025 + 4 \cdot 0,001 +$$

$$+ 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0355 = 0,381 \text{ м} \quad (2.7.1)$$

Для определения радиуса скругления катушки необходимо определить толщину обмотки **C**:

$$C = \frac{B1-2b1-2\Delta_{из}-P}{2} = \frac{0,195-2\cdot0,025-2\cdot0,002-0,002}{2} = 0,7 \text{ м} \quad (2.7.2)$$

где: N - количество слоёв провода в катушке.

В свою очередь N можно определить следующим образом:

$$N = \frac{C}{d_{пр}} = \frac{0,7}{0,0015} = 46 \quad (2.7.3)$$

Отсюда радиус скругления определяется по следующей формуле:

$$R_{скр} = \frac{(N+1) \cdot d_{пр}}{2} = 0,0355 \text{ м} \quad (2.7.4)$$

Длина провода катушки по полученным данным составляет:

$$L_{кат} = W1 \cdot L_{ср} = 767 \cdot 0,381 = 292,3 \text{ м} \quad (2.7.5)$$

Активное сопротивление катушки:

$$R_{кат} = \rho_{мед} \cdot \frac{L_{кат}}{S_{пр}} = 0,0175 \cdot \frac{292,3}{1,76 \cdot 10^{-6}} = 2,9 \text{ Ом} \quad (2.7.6)$$

где: ρ - удельное сопротивление меди, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$.

Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии:

$$R_{об.гор} = R_{кат}(1 + \tau_M \cdot \Delta T) = 2,9(1 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 55) = 3,5 \text{ Ом} \quad (2.7.7)$$

где: τ_M – температурный коэффициент электрического сопротивления, $\text{Ом} \cdot ^\circ\text{C}$

ΔT -перегрев обмотки в рабочем состоянии, $^\circ\text{C}$

Таким образом, для обеспечения заданной производительности установки обработки нефти магистрального нефтепровода, необходимо использовать 72 МВО, каждый из которых имеет следующие параметры:

1. Масса активатора – 3,6 кг
2. Количество витков в катушке - 770 проводом марки ПЭТВ-1 диаметром 1,5 мм.
3. Активное сопротивление катушек:
 - в холодном состоянии – 2,9 Ом
 - в горячем состоянии – 3,5 Ом
4. Жесткость пруженного подвеса - $6,9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$.
5. Расчётный начальный зазор - 4 мм.

Полученные в данном разделе параметры будут в дальнейшем необходимы для использования при решении системы уравнений в разделе математическое моделирование работы УАН при обработке вязкой нефти в магистральном нефтепроводе.

Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ВИБРООБРАБОТКИ

3.1 Уравнения электрических контуров

Электрическая часть виброактиватора представляет собой главный и два короткозамкнутых (КЗ) контура. КЗ контуры образованы пластинами из нержавеющей стали, разделяющей внутреннюю полость вибратора от внешней среды. Основной электрический контур включает в себя два последовательно включенных электромагнита (индуктивности $L1$ и $L2$, активные сопротивления катушек $R1$ и $R2$, и диод VD). Энергия распространения колебаний в пространстве, как известно, зависит от частоты возмущающей силы. Причём, чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии в среде колебаний. При подаче на электромагнит частоты промышленной сети 50 Гц , возмущающая сила будет изменяться с частотой в два раза выше – 100 Гц . Следует отметить, что в этом случае величина коэффициента жесткости, будет достаточно большой. Технологически изготовить цилиндрическую пружину с высокими значениями коэффициента жёсткости представляется не всегда практически возможным. Использование диода в цепи питания VD позволило обеспечить частоту возмущающей силы 50 Гц при частоте питающего напряжения 50 Гц .

Короткозамкнутые контуры, создаваемые конструктивными элементами установки, на схеме замещения могут быть представлены индуктивностями $L_{кз}$ и активными сопротивлениями $R_{кз}$. Следует отметить, что при наличии двух полюсов электромагнита, схема замещения должна включать в себя два КЗ контура.

Так как КЗ контуры идентичны друг другу, то в схеме замещения электрических контуров, будем учитывать влияние только одного КЗ контура.

Расчетная схема замещения электрической части ЭМП с учётом выше изложенного представлена на рисунке 3.1.

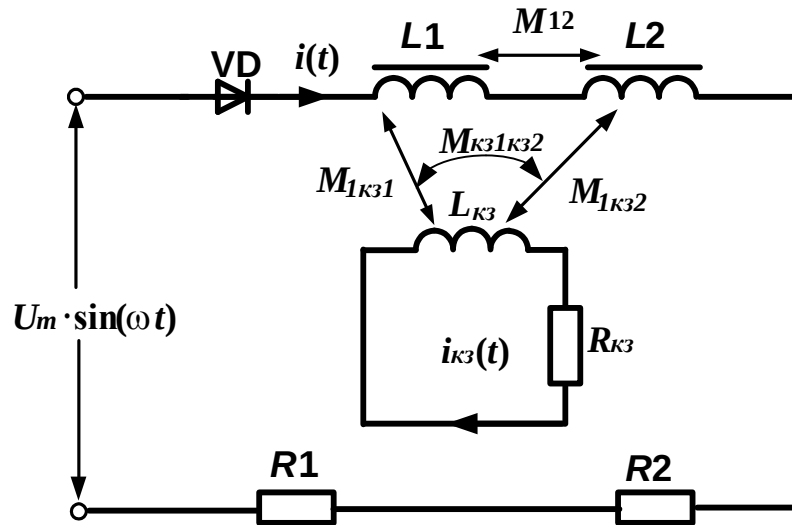


Рисунок 3.1.1 Схема замещения электрических контуров модуля виброактиватора

Рисунок 3.1.1 включает в себя следующие элементы:

- L_1, L_2 – индуктивности катушек;
- R_1, R_2 – активные сопротивления катушек;
- M_{12} – взаимная индуктивность между катушками;
- L_{K3}, R_{K3} – индуктивность и активное сопротивление расчётного короткозамкнутого контура соответственно;
- M_{1K31}, M_{1K32} – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и катушками;
- M_{K31K32} – взаимоиндуктивность между к.з. витками.

Рассчитаем параметры электрического контура для начального зазора.

Активное сопротивления катушек по заданию:

$$R_1 = R_2 = R_{ак} = 2,89 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление КЗ рассчитывается по формуле:

$$R_{K3} = \rho_{K3} \frac{l_{K3}}{S_{K3}} = 0,047 \frac{0,134}{25} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (3.1.1)$$

где : $\rho_{кз}$ - проводимость материала к.з. витка (нержавеющая сталь);

$S_{кз}$ - сечение к.з. витка.

$l_{кз}$ -длина к.з. витка, которая определяется следующим образом:

$$l_{кз} = \pi D_{кз} = 0,134 м \quad (3.1.2)$$

$$\text{где: } D_{кз} = \frac{((A1 + b1) + 0,01)}{2} = 0,043 м \text{ -диаметр к.з витка.} \quad (3.1.3)$$

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

$$L_k = L_1 = L_2 = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W^2}{0,5 \left(\frac{l + (\delta - X_0) \cdot \mu_{ст.10}}{\sigma} \right)} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1534^2}{0,5 \left(\frac{0,38 + 0,001 \cdot 4000}{1,5} \right)} = 0,178 \text{ Гн} \quad (3.1.4)$$

где: W – число витков катушки;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

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

σ - коэффициент рассеивания в зазоре;

l – длина средней линии магнитопровода;

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

S – сечение полюсного наконечника, которое определяется формулой :

$$S = A1 \cdot b1 = 0,05 \cdot 0,025 = 1,25 \cdot 10^{-3} м^2 \quad (3.1.5)$$

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{кз} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S}{l_{кз}} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}}{0,134} = 0,0016 \text{ Гн} \quad (3.1.6)$$

Рассчитываем значения взаимных индуктивностей

$$M_{12} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W^2}{\frac{l + (\delta - X_0) \cdot \mu_{ст.10}}{\sigma}} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1534^2}{\frac{0,38 + 0,001 \cdot 4000}{1,5}} = 0,107 \text{ Гн} \quad (3.1.7)$$

Взаимоиндуктивность между короткозамкнутыми витками:

$$M_{кз} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W}{\frac{(\delta - X_0) \cdot \mu_{ст.10}}{\sigma} + \frac{l}{0,5}} = \frac{4000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{\frac{0,001 \cdot 4000}{1,5} + \frac{0,134}{0,5}} = 7,672 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.1.8)$$

Уравнение для основного контура определяется по формуле:

$$U_m \sin \omega t = i_k \cdot R_k + \frac{d\psi_{\Sigma}}{dt} \quad (3.1.9)$$

где: ψ_{Σ} - суммарное потокосцепление катушек $L1, L2$

i_k - ток, протекающий в основном контуре;

R_k - Активное сопротивление основного контура.

ψ_{Σ} - суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\psi_{\Sigma} = \psi_1 + \psi_2, \quad (3.1.10)$$

ψ_1 - суммарное потокосцепление катушки $L1$, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

ψ_2 - суммарное потокосцепление катушки $L2$, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

ψ_1 суммарное потокосцепление катушки $L1$ определяется как:

$$\psi_1 = \psi_{соб.инд1} + \psi_{в.инд1} + \psi_{в.инд.K1}, \quad (3.1.11)$$

где:

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

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

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

ψ_2 - суммарное потокосцепление катушки $L2$ определяется как:

$$\psi_2 = \psi_{соб.инд2} + \psi_{в.инд2} + \psi_{в.инд.K2}, \quad (3.1.12)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд}2} = i_k \cdot L_2$, - собственная потокосцепление катушки L_2 ;

$\Psi_{\text{в.инд}1} = i_k \cdot M_{12}$, - взаимная потокосцепление катушки L_1, L_2 ;

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{\text{кз}} \cdot M_{1\text{кз}2}$, - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение 3.1.1:

$$U_m \sin \omega t = i_k \cdot R_k + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{d\Psi_2}{dt} \quad (3.1.13)$$

где: потокосцепление Ψ_1, Ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.К1}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_1}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1\text{кз}1}}{dt}, \quad (3.1.14)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.К2}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_2}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1\text{кз}2}}{dt}, \quad (3.1.15)$$

Используя выражения 3.1.10, 3.1.11, 3.1.12, получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) &= i_k \cdot R_k + \\ &+ i_k \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз}1}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз}2}}{dt} \right) + \\ &+ \frac{di_k}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\text{кз}1} + M_{1\text{кз}2}); \end{aligned} \quad (3.1.16)$$

Упростим уравнение (3.1.13), заменив дифференциал произведение на суммы двух дифференциалов:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) &= Um \cdot \sin(\omega t) - i_k \cdot R_k - \\ &- i_k \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\text{кз}1-1} + M_{\text{кз}2-1} + M_{\text{кз}2-2} + M_{\text{кз}1-2}) = \\ &= \frac{di_k}{dt} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз}1}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз}2}}{dt} \right); \end{aligned} \quad (3.1.17)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

$$0 = i_{\text{кз}} \cdot R_{\text{кз}} + \frac{d\Psi_{\text{кз}1}}{dt}; \quad (3.1.18)$$

где: $\Psi_{кз}$ – потокосцепление короткозамкнутого контура, представляющий собой суммарный магнитный поток, сцепляющийся со всеми витками катушки индуктивности и взаимноиндуктивности короткозамкнутого контура, будет равно:

$$\Psi_{кз} = \Psi_{соб.инд.К} + \Psi_{в.инд.К} + \Psi_{в.инд.К1} + \Psi_{в.инд.К2}, \quad (3.1.19)$$

где:

$$\Psi_{соб.инд.К} = i_{кз} \cdot L_{кз}, \text{ - собственное потокосцепление с}$$

короткозамкнутым контуром;

$$\Psi_{в.инд.К} = i_{кз} \cdot M_{кз1кз2}, \text{ - взаимное потокосцепление с короткозамкнутым}$$

контуром;

$$\Psi_{инд.К1} = i_{кз} \cdot M_{1кз1},$$

$$\Psi_{инд.К2} = i_{кз} \cdot M_{1кз2}, \text{ - потокосцепление с к.з. контуром.}$$

Перепишем уравнение 3.1.18:

$$\frac{d\Psi_{кз}}{dt} = \frac{di_{кз}}{dt} (L_{кз} + M_{кз1кз2} + M_{1кз1} + M_{1кз2}) \quad (3.1.20)$$

3.2 Уравнение механического контура

Схема модуля устройства механического контура, учитывающая массу колебательной системы, жёсткость пружины представлена на рисунке 3.2.1.

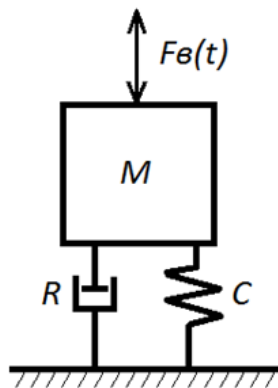


Рис. 3.2.1- Расчётная схема модуля устройства

где: M – масса колеблющихся элементов, C – жёсткость пружинного подвеса, R – сопротивление механических потерь, $F_6(t)$ – возмущающая сила.

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

Таблица 3.2.1

$R_{m0}, \text{кг/с}$	$q, \text{Н/м}$	$M_a, \text{кг}$	$M_{пр}, \text{кг}$
368	$6.9 \cdot 10^5$	3,6	2,86

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;

R – коэффициент демпфирования;

k – коэффициент жесткости;

$$F(t) = \mu_0 \cdot S_{пол} \frac{2J(I)^2}{(X_0 - x)^2} - \text{возмущающая сила.} \quad (3.2.2)$$

3.3 Система уравнений модуля устройства

Система уравнений работы виброактиватора приведенная ниже состоит из уравнений электрических контуров виброактиватора и уравнения механического контура. Данные уравнения должны быть преобразованы в удобный вид для их решения численными методами.

Сгруппируем однородные члены выражения 3.1.9 для составления системы уравнений основного контура, удобного для решения системы численным методом

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

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

$$\frac{i_{\kappa 3}}{dt} = \frac{-i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} - i_{\kappa 3} \left(\frac{L_{\kappa 3}}{dt} + \frac{M_{\kappa 3 1 \kappa 3 2}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 2}}{dt} \right)}{L_{\kappa 3}}, \quad (3.3.2)$$

Запишем уравнение для механического контура:

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

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;

J - намагничивающая сила одного стержня, Н;

$S_{пол}$ -сечение полюсного наконечника, м²;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

X – амплитуда колебаний активатора;

X_0 -зазор между активатором и магнитопроводом, м.

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{\kappa}}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - i_{\kappa} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \\ \frac{di_{\kappa 3}}{dt} = \frac{-i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} - i_{\kappa 3} \left(\frac{dL_{\kappa 3}}{dt} + \frac{dM_{\kappa 3 1\kappa 3 2}}{dt} + \frac{dM_{1\kappa 3 1}}{dt} + \frac{dM_{1\kappa 3 2}}{dt} \right)}{L_{\kappa 3}}, \\ \frac{dy}{dt} = \frac{\mu_0 \cdot S_{\text{нол}} \frac{2J(I)^2}{(X_0 - x)^2}}{m} - \frac{R}{m} y - \frac{kx}{m}, \\ \frac{dx}{dt} = y \end{array} \right.$$

3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений

Система уравнений, состоящая из уравнений основного контура, короткозамкнутого контура, уравнения механического контура и уравнения скорости колебаний, не может быть решена аналитическими методами. Поэтому для расчёта режимов работы виброактиватора выше приведенную систему дифференциальных уравнений рассчитываем численным методом Рунге-Кутты четвертого порядка.

Алгоритм расчета состоит из итерационного процесса определения четырех коэффициентов K, M, S, C:

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

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

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

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

Алгоритм расчетов учитывает соответствующие коэффициентами, изменяющиеся во времени.

Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом

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

Первая строка матрицы задаёт время расчёта с определённым шагом t_i+h . Вторая строка матрицы, отражает расчёт тока I_i в основном контуре. Причём при этом учитывается наличие диода в цепи питания введением соответствующего условия. Третья строка отражает расчёт тока I_{k_i} в короткозамкнутом витке. Четвертая строка отражает расчёт скорости колебания активатора. Пятая строка отражает расчёт амплитуды смещения активатора относительно средней точки. Причём вводится условие, учитывающее ограничение амплитуды колебаний активатора до стенки корпуса.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ ВИБРООБРАБОТКИ НЕФТИ

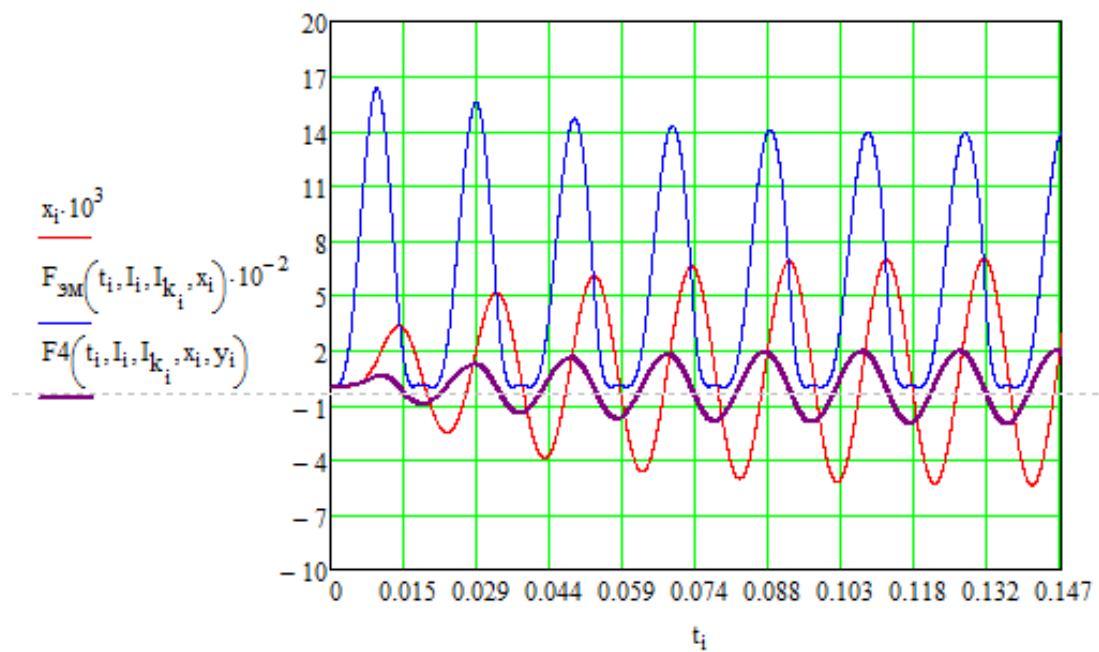
4.1 Анализ режимов работы при обработке нефти со средним показателем вязкости (механическое сопротивление $R_{m0}=370$ кг/с)

Проанализируем работу активатора. Соблюдая условие ограничения допустимого тока в проводнике катушек, который составляет не более 4,6 А, необходимо при уменьшении частоты снижать и величину питающего напряжения, соблюдая, например, постоянство соотношения $U/f=\text{const}$.

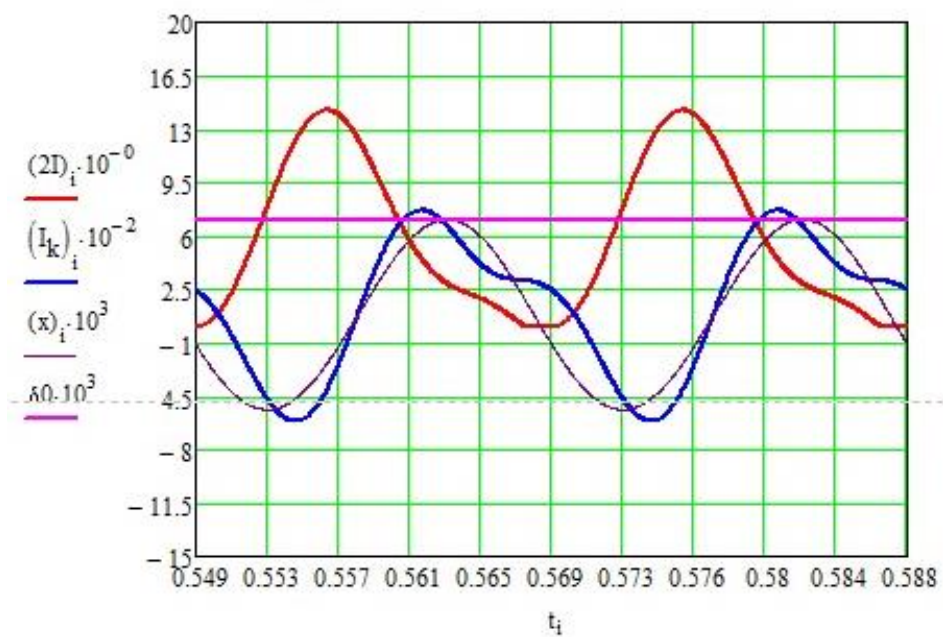
Произведем расчет частотных характеристик на математической модели при обработке нефти, обладающей средним значением вязкости. Расчёт будем производить с постоянным начальным зазором $X_0=0,00705$ м и собственной частотой системы $f_0=70$ Гц, при механическом сопротивлении $R_{m0}=370$ кг/с.

Учитывая тот факт, что принцип работы установки резонансный, необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения от 30 до 70 Гц с шагом 5 Гц для определения зоны резонансной частоты колебаний активатора, обеспечивающей максимальную амплитуду колебаний.

На рисунке 4.1.1(а) и 4.1.1(б) 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.



a)



б)

Рисунок 4.1.1 – Графики изменения основных параметров работы модуля для нефти при $R_{мех} = 370 \text{ кЗ/с}$, $U = 365 \text{ В}$, $f = 41 \text{ Гц}$.

X_i – амплитуда колебаний активатора;

$F_{эм}$ – электромагнитная сила;

X_0 – начальный зазор;

I – ток в основной цепи;

I_k - ток в короткозамкнутых контуре.

F_4 – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.1.1 следует, что при частоте питающего напряжения 41 Гц и напряжении 365 В амплитуда колебаний активатора практически равна начальному зазору 0,00705 м, производительность активации при этом $Q=2,62 \text{ м}^3/\text{час}$.

На рисунке 4.1.1 (а) в режиме пуска происходит плавное изменение параметров, и, через четыре периода МВО работает в установившемся режиме. Из рисунка 4.1.1 (б) видно, что ток в короткозамкнутом витке имеет сложную форму, так как все процессы работы связаны с основным контуром активатора.

Полученные данные расчетов частотных характеристик работы модуля обработки нефти при изменении частоты питающего напряжения сведены в таблице 4.1.1

Таблица 4.1.1 Данные расчетов частотных характеристик для нефти

f, Гц	31	36	41	46	51	56	61	66	71
U, В	275,9	320,4	364,9	409,4	453,9	498	542,9	587,4	631,9
Δx , мм	2, 242	2,879	6,741	6,567	6,327	4,194	2,793	2,165	1,857
I_d , А	3,343	3,211	2,165	2,82	3,823	4,506	4,486	4,4	4,341
I_{kd} , А	220,5	206,868	262,92	346,53	458,805	521,95	504,737	489,708	481,398
V, м ³ /час	0,07	0,179	2,62	2,72	2,7	0,86	0,278	0,14	0,095

На основе полученных данных, на математической модели построим графики частотных характеристик работы МВО для нефти.

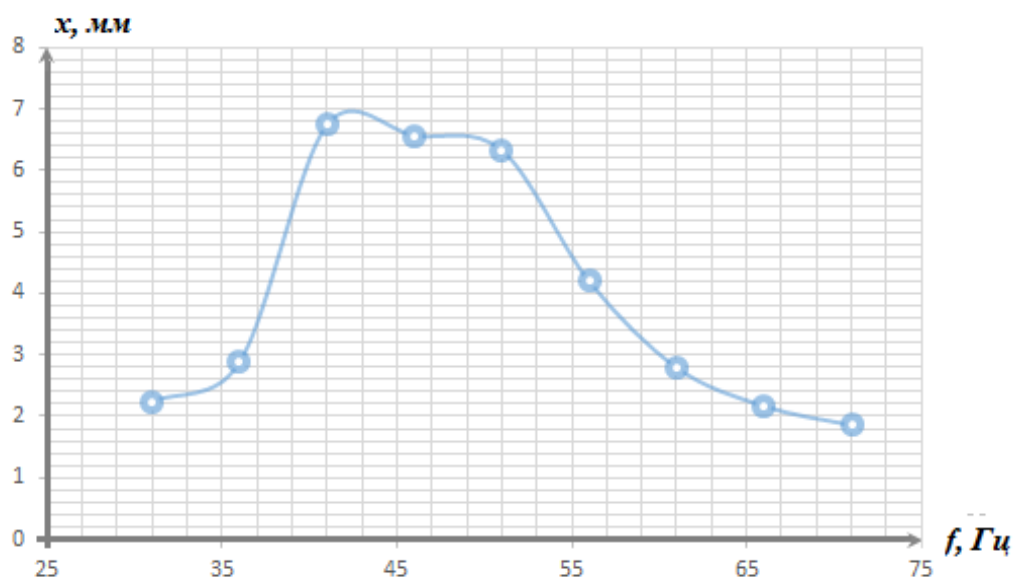


Рисунок 4.1.2 – Изменение амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения

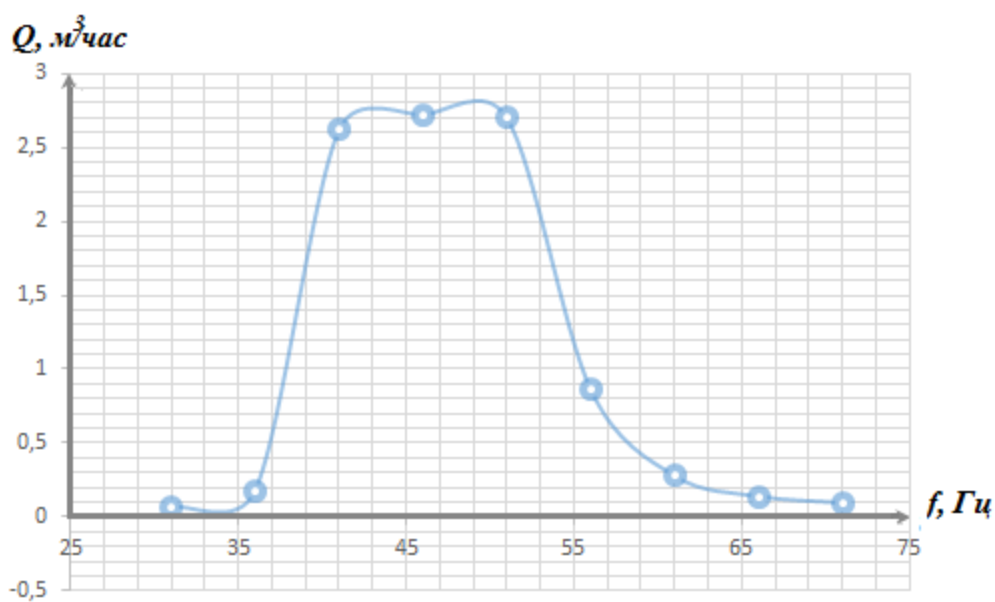


Рисунок 4.1.3 –Изменение производительности активации от частоты питающего напряжения

Как видно из рисунка 4.1.2 и 4.1.3 при механическом сопротивлении, равном 370 кг/с., что соответствует перекачиваемой нефти со средним значением вязкости, при частоте 41 Гц наблюдается максимальное значение амплитуды колебаний активатора, равное 6,741 мм. При этом значение тока в основном контуре равно 2,165 А при напряжении 365 В. Максимальная

производительность активации одного модуля виброобработки наблюдается при частоте 41 Гц и составляет не менее $Q=2,72 \text{ м}^3/\text{час}$.

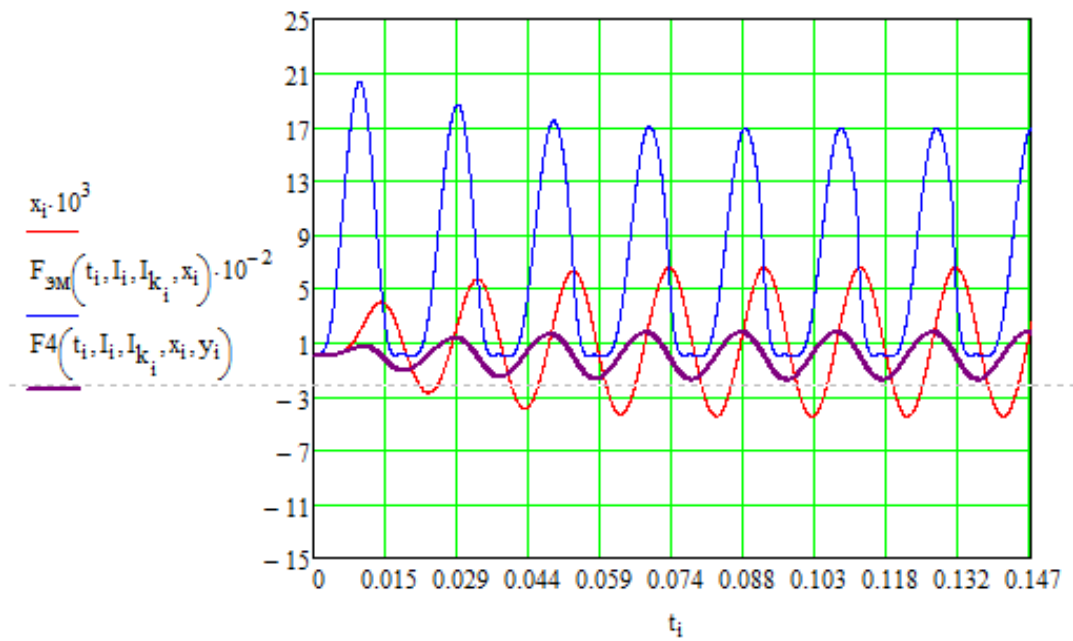
4.2 Анализ режимов работы при обработке нефти с высоким показателем вязкости (механическое сопротивление $R_{m0}=500 \text{ кг/с}$)

Представляет интерес работа установки в случае перекачки по нефтепроводу нефти, обладающей более высоким значением вязкости. Более высокое значение вязкости сопровождается увеличением механического сопротивления, рассматриваемом в уравнении движения активатора. Практически достаточным будет произвести расчёты при значении $R_{m0}=500 \text{ кг/с}$.

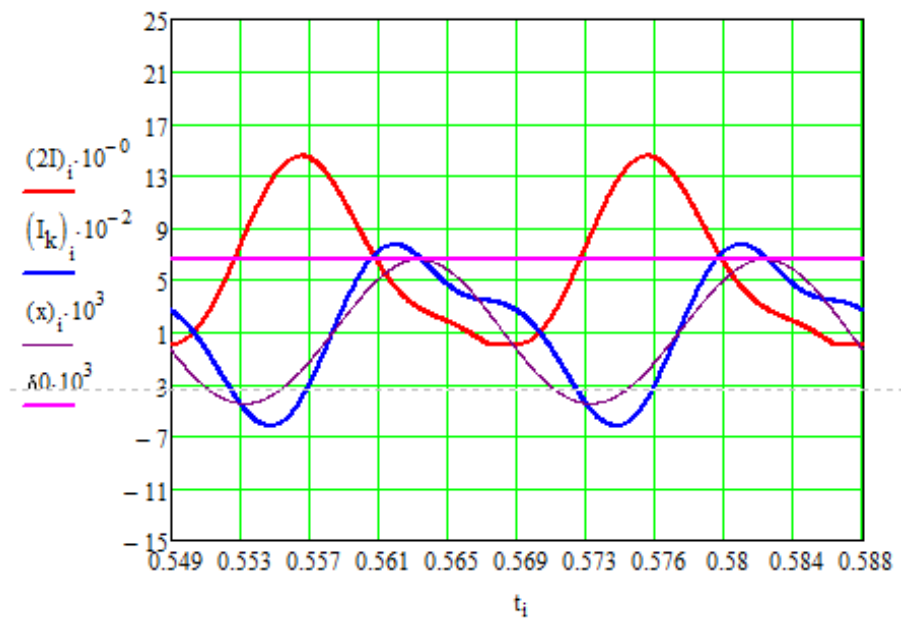
Для получения частотных характеристик выбираем начальный зазор $X_0 = 0,0065 \text{ м}$.

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления $R_{m0}=500 \text{ кг/с}$, и полученные данные заносятся в таблицу 4.2.1.

Типичные графики изменении основных показателей колебательного процесса для выше обозначенных параметров работы модуля приведены на рис 4.2.1.



a)



б)

Рисунок 4.2.1 – Графики основных параметров работы модуля для нефти при $R_{мех} = 500 \text{ кг/с}$, $U = 438 \text{ В}$, $f = 46 \text{ Гц}$.

X_i – амплитуда колебаний активатора;

$F_{эм}$ – электромагнитная сила;

X_0 – начальный зазор;

I – ток в основной цепи;

I_k - ток в короткозамкнутых контуре.

F_4 – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.2.1 следует, что при частоте питающего напряжения 46 Гц и напряжении 438 В амплитуда колебаний активатора практически равна начальному зазору 0,0065 м., при которой производительность активации является максимальной $Q=2,33\text{ м}^3/\text{ч}$.

Как видно из рисунков 4.1.1 и 4.2.1 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 500 кг/с будет больше за счет увеличения потерь при нагреве элементов, но на параметры работы устройства это никак не повлияет.

Таблица 4.2.1 Данные расчетов частотных характеристик для нефти

f, Гц	31	36	41	46	51	56	61	66	71
U, В	295,12	342,72	390,32	437,92	485,52	533,12	580,72	628,32	675,92
Δx , мм	3,018	5,879	5,903	6,003	5,68	4,205	3,069	2,483	2,178
I_d , А	3,163	2,34	2,267	2,965	3,913	4,479	4,531	4,462	4,397
I_{kd} , А	196,941	283,94	304,767	381,813	467,534	520,654	517,12	504,797	495,52
V, м ³ /час	0,209	1,83	2,18	2,33	2,18	1,02	0,434	0,248	0,18

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

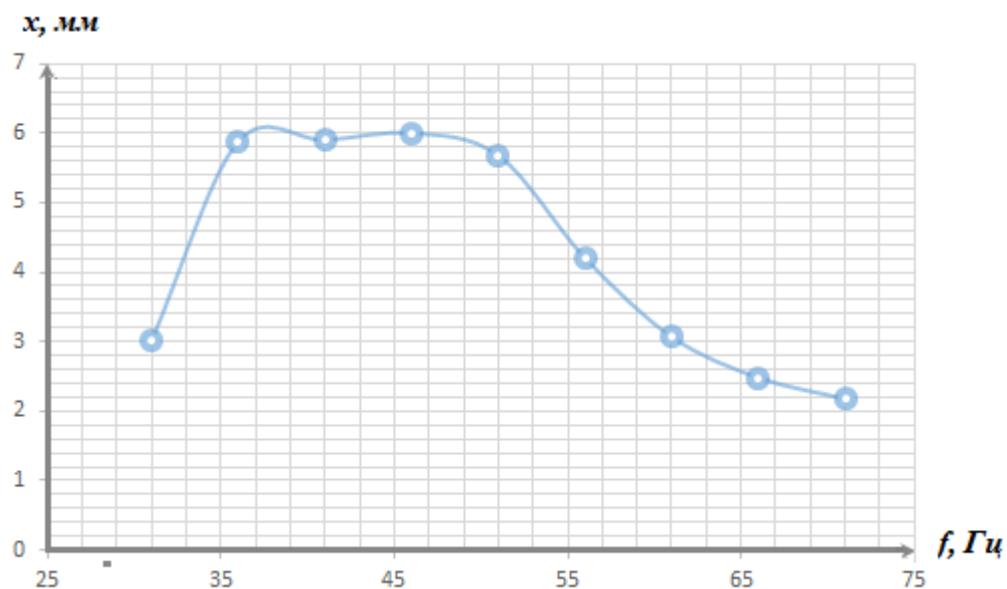


Рисунок 4.2.2 – Изменение амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения

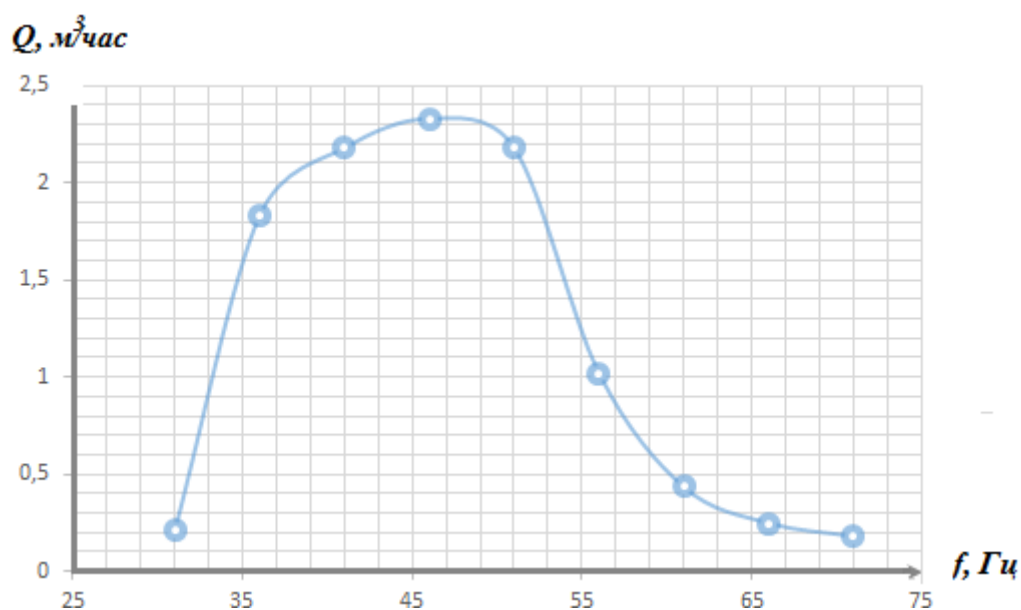


Рисунок 4.2.3 – Изменение производительности активации от частоты питающего напряжения

Как видно из рисунка 4.2.2 и 4.2.3 при механическом сопротивлении, равном 500 кг/с, при частоте 46 Гц наблюдается максимальное значение амплитуды колебаний активатора, равное 6,003 мм. При этом значение тока в основном контуре равно 2,965 А при напряжении 438 В. Максимальная производительность активации наблюдается также при частоте 46 Гц и составляет не менее $Q=2,331 \text{ м}^3/\text{час}$.

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 370 кг/с.

Исходя из полученных данных анализа режимов работы МВО, были определены общие рекомендации для всей установки. Если применить трехфазную схему, то при количестве модулей равном 72, и общем токе $I_{\text{общ}} = 72 \cdot Id = 331 \text{ А}$, ток одной фазы будет $I_{\phi} = \frac{I_{\text{общ}}}{3} = 110 \text{ А}$. Тогда в фазе должно быть по 24 модулей виборобработки. При изменении механического сопротивления R_{m0} от 370 до 500 кг/с резонансная частота установки должна быть в диапазоне от 31 до 71 Гц, что можно обеспечить подачей напряжения, соответствующей частоты. Напряжение, которое необходимо подавать на установку при изменении вязкости перекачиваемой нефти колеблется от 275 В до 680 В.

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

1. для перекачки нефти со средним значением вязкости ориентироваться на следующие параметры: резонансная частота в диапазоне 40-48 Гц; напряжение питания 365 В; начальный зазор 0,00705 м; при величине тока до 2,165 А.

2. для перекачки нефти с высоким значением вязкости ориентироваться на: резонансная частота в диапазоне 45-48 Гц; напряжение питания 438 В; начальный зазор 0,0065 м; при величине тока до 2,965 А.

Глава 5. ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВКИ

5.1 Общие положения

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.

Следуя логике принятия технических решений, закономерным при разработке устройства для снижения вязкости нефти в магистральном нефтепроводе, состоящего из не менее чем 6 БВО, является выбор конструкции, элементы которой должны быть размещены внутри потока нефти в магистральном нефтепроводе.

5.2 Разработка конструкции блока виброактиватора

Прорисовка возможных вариантов размещения блоков обработки в выбранной трубе позволяет предложить конструкцию блока виброструйной обработки (БВО) нефти, приведенной на рисунке 5.2.1. В каждом блоке используется 12 единичных модулей МВО.

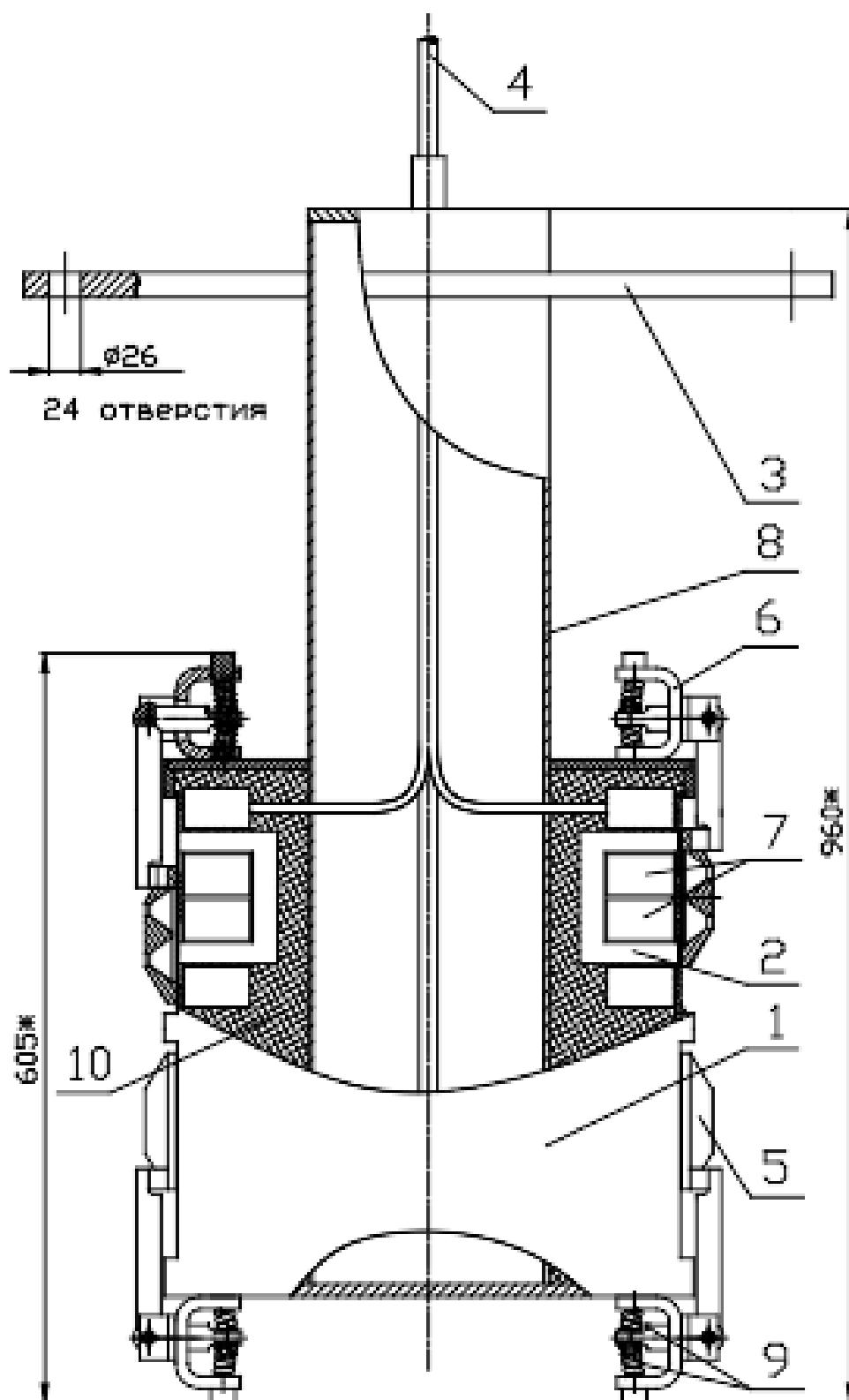


Рисунок 5.2.1 а) - Конструкция БВО

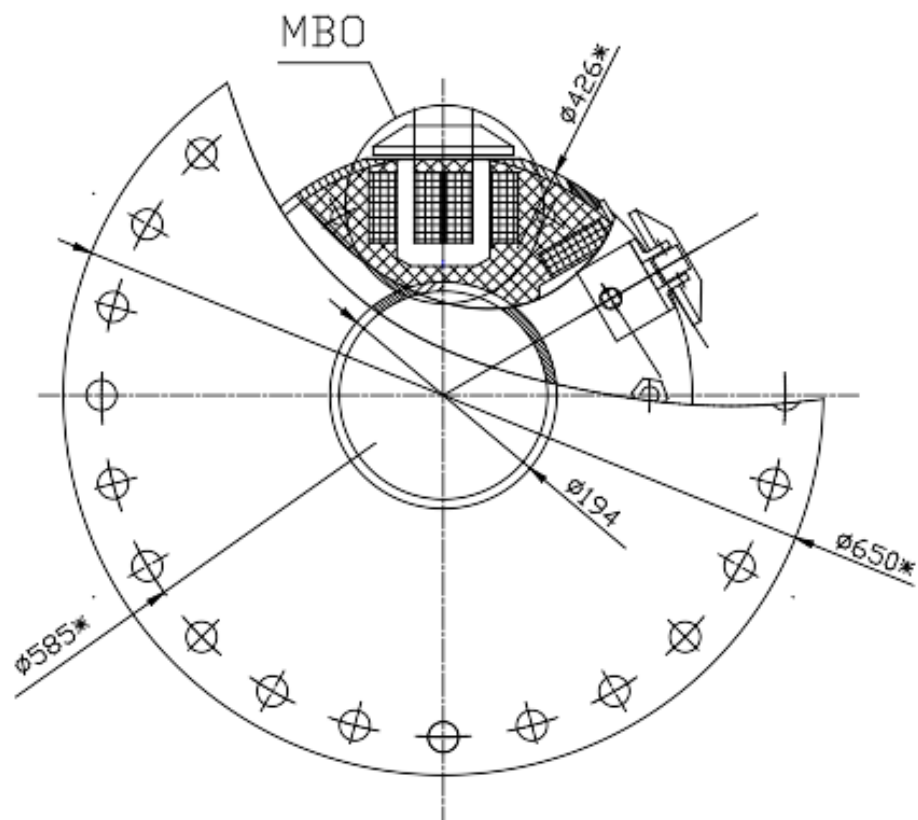


Рисунок 5.2.1 б) – Вид сверху БВО

На представленном рисунке:

- 1 – корпус БВО;
- 2 – магнитопровод МВО;
- 3 – фланец БВО;
- 4 – вывод МВО;
- 5 – активатор МВО;
- 6 – пружинный узел МВО;
- 7 – катушки МВО;
- 8 – патрубков МВО;
- 9 – пружины БВО;
- 10 – компаунд МВО.

Размеры одного БВО и вышеуказанные обстоятельства позволяют выполнить конструкцию устройства виброактиватора только в одном

варианте – варианте многослойной, когда в одном слое размещаются не более 12 МВО. Сборочный чертеж БВО представлен в приложение Б.

5.3 Конструкция установки активации нефти в магистральном нефтепроводе УАНМН-150

Габариты основных элементов единичного модуля были определены ранее в разделе 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 трубу большего диаметра, чем труба нефтепровода. Для нашего случая с нефтепроводом 720 мм выбираем трубу установки диаметром 1020 мм.

Таким образом, габаритные размеры единичного блока виброобработки БВО позволяют разместить их в количестве шести в трубе диаметром 1020 мм при общей длине установки 5040 мм. Общий вид установки и схема подключения установки к нефтепроводу представлены на рисунке 5.2.1.

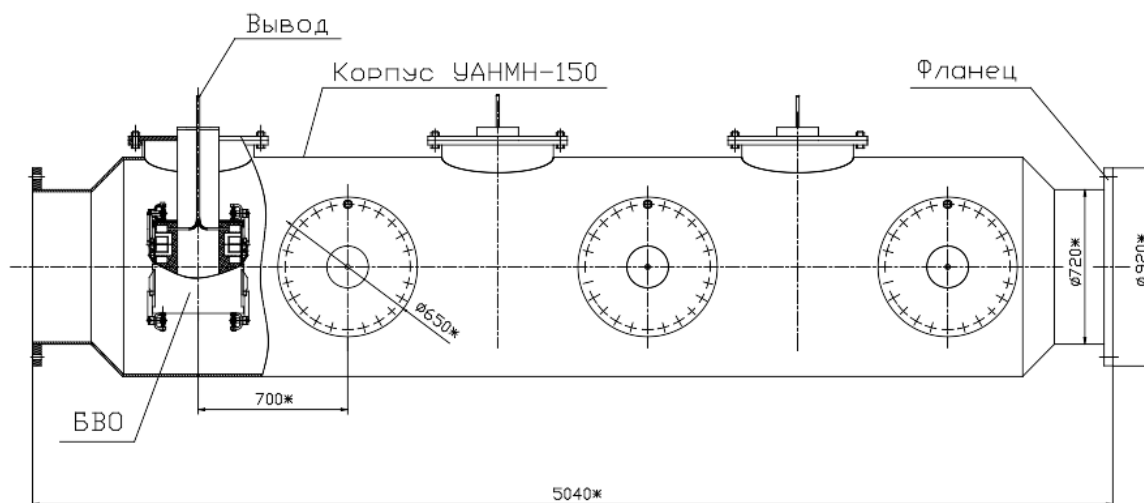


Рисунок 5.2.1 а)– Общий вид установки

Конструкция установки содержит:

- 1 – фланец;
- 2 – корпус УАНМН-150;
- 3 – коробка выводов;
- 4 – блоки виброобработки.

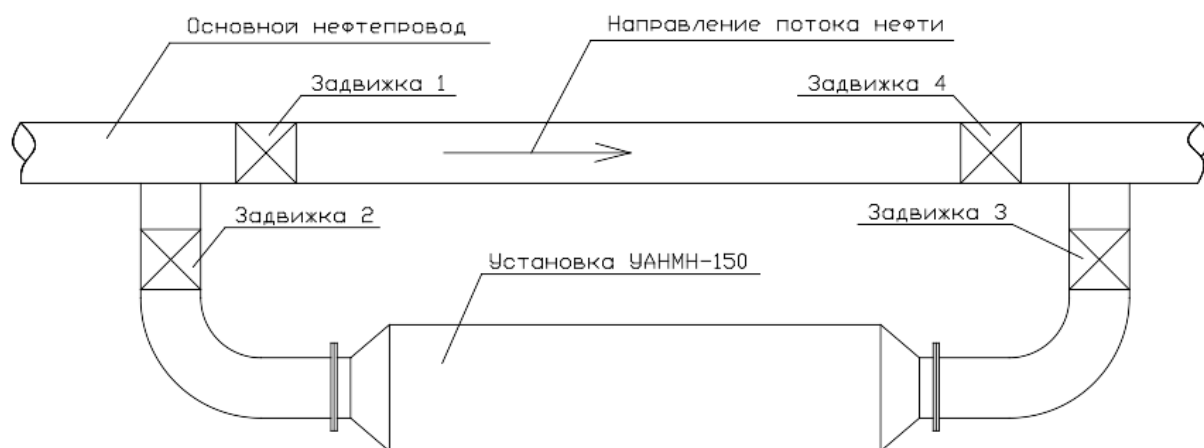


Рисунок 5.2.1 б)– Схема подключения установки к нефтепроводу

Байпасная схема включения установки к нефтепроводу дает возможность перекрыть 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 УАНМН – 150. При возникновении необходимости в проведении регламентных работ на установке, задвижки 2 и 3 закрываются, установка демонтируется и проводятся необходимые регламентные работы или ремонт. При этом задвижки 1 и 4 должны быть открыты и тогда нефть пойдет по основному нефтепроводу без обработки, но без остановки нефтепровода.

5.4 Разработка схемы подключения установки

Промышленная энергосистема позволяет осуществить подключение виброактиватора как на однофазную сеть, так и на трехфазную. Важным моментом при разработке схемы питания БВО является рабочая нейтраль,

необходимая для того чтобы установка работала в трехфазном режиме, и, наличие диода, который препятствует прохождению тока и позволяет создать колебания активатора на частоте 41 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 шесть БВО подключаем схемы электропитания с использованием трёхфазной системы, что даёт равномерную нагрузку на промышленную сеть. Трехфазная схема питания УАНМН-150 иллюстрируются на рисунке 5.3.1

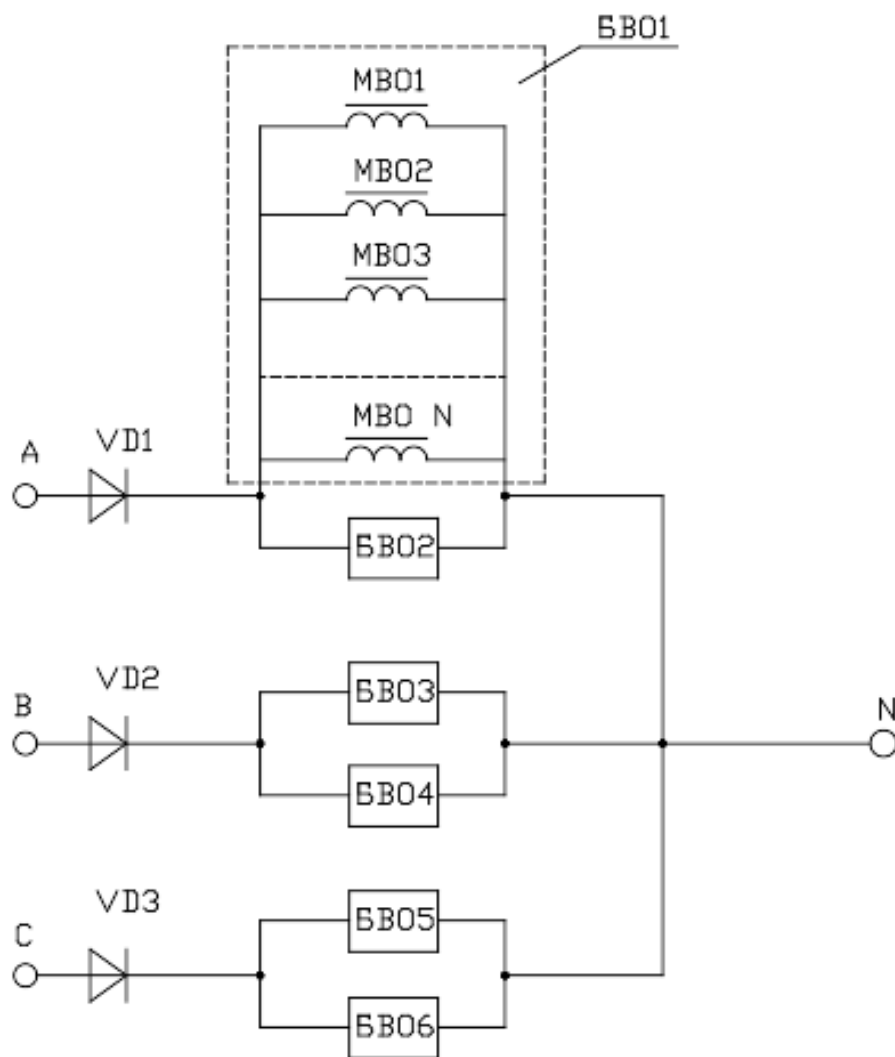


Рисунок 5.3.1 – Трехфазная схема подключения УАНМН-150

- **VD1-VD3** – диоды;

Полный ток БВО будет равным:

$$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot n = 324 A \quad (5.4.1)$$

Фазные токи БВО будет равны фазным током $I_{\phi 1}, I_{\phi 2}$ и $I_{\phi 3}$.

Полный ток фазы, **A**

$$I_{\phi A} = I_{\text{max}} \cdot n = 108 A, \quad (5.4.2)$$

Полный ток фазы, **B**

$$I_{\phi B} = I_{\text{max}} \cdot n = 108 A, \quad (5.4.3)$$

Полный ток фазы, **C**

$$I_{\phi C} = I_{\text{max}} \cdot n = 108 A, \quad (5.4.4)$$

5.5 Выбор элементов электропривода установки

Основными элементами схемы подключение УАН являются БВО, преобразователь частоты, тиристорный регулятор напряжения и блок питания, который включает в себя автоматический выключатель и диод. Общая схема подключения виброактиватора к электрической сети приведена на рисунке 5.5.1

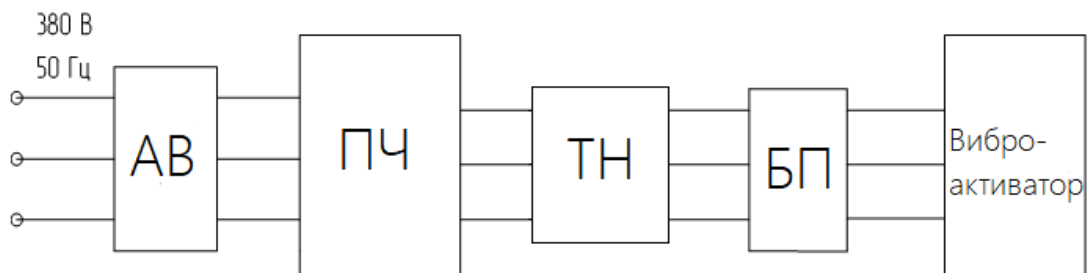


Рисунок 5.5.1 - Функциональная схема регулируемого электропривода.

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется по данным, полученным в результате расчёта режимов работы виброактиватора на математической модели. Исходными данными

для этого являются величина тока, напряжение, подаваемое на обмотки виброактиватора и частота напряжения.

Таблица 5.5.1 - Данные для выбора преобразователя частоты

Диапазон регулирования частот, Гц	от 31 до 71
Номинальное напряжение сети, В	380
Ток фазы, А	$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot k_z = 4,5 \cdot 1,2 \cdot 24 = 129,6 \text{ А}$ I_{max}-максимальный ток, протекающий в катушке; k_z- коэффициент запаса примем равным 1,2

5.5.1 Выбор преобразователя частоты

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется по данным, полученным в результате расчёта режимов работы виброактиватора на математической модели. Исходными данными для этого являются величина тока, напряжение, подаваемое на обмотки виброактиватора и частота напряжения (таблица 5.5.1.1)

По справочным данным выбираем частотный преобразователь производителя АВВ марки ACS580-01-145А-4 [15]. Данный преобразователь позволяет равномерно и экономичное регулирования производительности путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены в рисунке 5.5.1.1 и таблице 5.5.1.1



Рисунок 5.5.1.1 – Внешний вид преобразователя частоты ACS580-01-145A

Таблица 5.5.1 - Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность ПЧ, кВт	75
Номинальный ток нагрузки, А	145
Номинальное напряжение на входе, В	380 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 0 В до 380 В
Частота питающей сети, Гц	50/60 $\pm$ 5%
Диапазон регулирования частоты, Гц	0-500

5.5.2 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 50 Гц выбираем диод марки КД105Г [16]. Характеристики диода приведены ниже:

- $U_{об.мах} = 800 \text{ В.}$
- $I_{пр.мах} = 300 \text{ А.}$
- диапазон рабочих температур $-60...+125 \text{ C}^{\circ}$
- гарантийная наработка не менее – 10000 ч

5.5.3 Выбор регулятора напряжения

Для обеспечения работы активаторы необходимо с помощью регулятора регулировать уровень напряжения. Выбираем тиристорный регулятор напряжения ТРН-3 (таблица 5.5.3.1) [17].

Таблица 5.5.3.1-Технические характеристики регулятора напряжения

Питание от трехфазной сети	380 В; 50 Гц
Режим работы	длительный
Степень защиты корпуса	IP22, IP00
Габаритные размеры	350x750x170
Максимальный ток на фазу	25 А, 40 А, 80 А, 160 А
Диапазон регулирования напряжения, % от $U_{вх}$	от 5% до 98%
Условия эксплуатации	Температура $0^{\circ}\text{C}...+40^{\circ}\text{C}$ Относительная влажность до 80% при 25°C Отсутствие в воздухе агрессивных паров и газов Атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст.

5.6 Выбор аппаратуры управления и защиты

5.6.1 Аппаратура управления

Управление электромагнитным вибратором активатора осуществляется в ручном режиме. Основным объектом управления является преобразователь частоты. Управление осуществляется по двум каналам регулирования U и f .

5.6.2 Аппаратура защиты

Так как преобразователь частоты имеет много различных защитных функций, то из элементов защиты выберем только автоматический выключатель.

5.6.3 Выбор автоматического выключателя

В качестве устройства защиты трехфазной цепи будем использовать автоматический выключатель QF для защиты электрической схемы от токов короткого замыкания. Для отдельного электроприемника:

$$1. I_{н.расц} \geq I_{номЭП} = 132,5 \text{ А} \quad (5.6.3.1)$$

$$2. I_{уст} > 1.2 \cdot I_{пуск} = 1.2 \cdot 145 \cdot 4,6 = 800,4 \text{ А} \quad (5.6.3.2)$$

Используя справочную литературу, выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 [18]. Его параметры приведены в таблице 5.6.3.

Таблица 5.6.3 - Характеристики автоматического выключателя

Количество полюсов	3
Номинальный ток, А	160
Частота тока (Гц)	50/60
Род тока:	АС
Время срабатывания, с	0,004
Уставка расцепителей токов короткого замыкания, А	1600А
Степень защиты (IP):	IP20
Диапазон рабочих температур (°С)	от -60°С до +40°С
Гарантийный срок эксплуатации (лет)	3

5.6.4 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети

В распределительных сетях до 1000 В выбор сечений питающих линий производится по длительно допустимой нагрузке:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{ном}}{k_{прок}} = \frac{132,5}{1} = 132,5 \text{ А}, \quad (5.6.4.1)$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot \frac{I_{\text{н.расц}}}{k_{\text{прок}}} = 1 \cdot \frac{160}{1} = 160 \text{ А.} \quad (5.6.4.2)$$

где: $k_3 = 1$ – коэффициент защиты, для сетей требующей защиты от перегрузки, находящийся в нормальном помещении и имеющих изоляцию из резины или аналогичную по тепловым характеристикам;

$k_{\text{прок}} = 1$ – поправочный коэффициент, зависящий от количества параллельно прокладываемых кабелей.

Выбираем трехжильный кабель марки ВВГ[19] (установочный провод, с медными жилами, поливинилхлоридная изоляция, поливинилхлоридная оболочка. Используется для прокладки в сухих и влажных помещениях). Сечение жилы $S=70 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 170 \text{ А}$

Глава 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является выполнение анализа конкурентоспособности электропривода установки вибромагнитной обработки для снижения вязкости нефти, и планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования.

Данная цель предполагает решение следующих задач:

- определение конкурентных технических решений;
- определение трудоемкости и создание календарного план -графика проводимой работы;
- расчет материальных затрат и заработной платы работников, принимающих участие в данном проекте;
- формирование бюджета затрат;
- определение ресурсоэффективности проекта.

6.1 Анализ конкурентных технических решений

С помощью данного анализа, необходимо оценить и сравнить сильные и слабые стороны двух типов электропривода: нерегулируемый электропривод и регулируемый электропривод с частотным преобразователем, который является объектом исследования. Данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который будет наиболее конкурентоспособным, а также определить в каком направлении необходимо действовать для его дальнейшего улучшения. Для того чтобы упростить сравнение используется оценочная карта, представленная в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных
технических решений

Пункты оценки	Значение критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{р.э.}	Б _{н.э.}	К _{р.э.}	К _{н.э.}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. КПД	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Плавность регулирования	0,1	4	2	0,4	0,2
3. Помехоустойчивость	0,17	2	3	0,34	0,51
4. Энергоэкономичность	0,15	5	1	0,75	0,15
5. Надежность	0,09	4	3	0,36	0,27
6. Уровень шума	0,08	5	3	0,40	0,24
7. Безопасность	0,12	4	4	0,48	0,48
Экономические показатели оценки эффективности					
1. Сервис	0,05	4	3	0,2	0,15
2. Цена	0,09	2	4	0,16	0,36
3. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	2	0,18	0,08
Итого	1	39	29	3,72	2,8

Анализ конкурентных технических решений определяется следующим образом:

$$K_{\phi} = \sum B_i \cdot B_{\phi} \quad (6.1.1)$$

Где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \sum B_i \cdot B_{\phi} = 0,09 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + \dots + 0,04 \cdot 4 = 3.72$$

Результаты показывают, что конкурентоспособность проекта составила 3.72, в то время как у нерегулируемого электропривода 2.8 соответственно. Отсюда следует, что исследуемая научная разработка, в основе которой

лежит регулируемый электропривод для снижения вязкости нефти, является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ по техническим и экономическим показателям ресурсоэффективности, а значит заметно отличающимся высоким уровнем качества, в котором заинтересованы покупатели.

6.2 Структура работы в рамках научного исследования

Рациональное планирование работы и определение сложности проводимых исследований является главным аспектом при проектировании.

Над данным проектом работает команда из двух человек – научный руководитель и инженер-дипломник. Каждый из них выполняет свои обязанности, в соответствии с занимаемой должностью, но некоторую часть работы они выполняют вместе (таблица 6.2.1)

Таблица 6.2.1 – Перечень этапов работы и распределение исполнителей

№ раб	Этапы работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Научный руководитель
2	Подбор и изучение материалов исследования	Инженер-дипломник
3	Выбор направления исследования	Научный руководитель и инженер-дипломник
4	Исследование технологии ВСМА в магистральном нефтепроводе	Инженер-дипломник
5	Расчет математической модели установки	Инженер-дипломник
6	Анализ режимов работы установки на основе полученных расчетов	Инженер-дипломник
7	Оценка результатов	Научный руководитель
8	Обработка документации	Инженер-дипломник
9	Подготовка к защите ВКР	Инженер-дипломник

Стоимость работы в большинстве случаев составляет большую часть стоимости разработки, так что более важным является определение интенсивности работы каждого из участников исследования.

Для определения продолжительности (в среднем) значение интенсивности труда используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (6.2.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

На основе ожидаемого рабочего дня, определяется продолжительность работы в течение рабочих дней, с учетом работы нескольких исполнителей:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (6.2.2)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Пример расчета при этапе «разработка технического задания»:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 2 \text{ чел. - дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{2}{1} = 2 \text{ раб.дн}$$

Расчетная продолжительность каждой работы в рабочих дня приведена в таблице 6.3.1.

6.3 Определение трудоемкости выполнения работ

При выполнении НИР наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. В такой диаграмме работа представлена в виде отрезков, длина которых соответствует продолжительности каждого этапа работы. Использование данной диаграммы позволяет сравнивать плановые сроки выполнения задач с фактическими.

Для того что облегчить построение графика, продолжительность каждого этапа работы необходимо перевести из рабочих дней в календарные с помощью формулы:

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

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, равный:

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

где: $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году;

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,2$$

Пример расчета при этапе «разработка технического задания»:

$$T_{ki} = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ кал.дн.}$$

Временные показатели проведения данного научного исследования представлены в таблице 6.3.1

Таблица 6.3.1 – Временные показатели проведения НИ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длитель- ность работ в рабочих днях T_{pi}	Длитель- ность работ в календарны х днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Разработка технического задания	1		3		2		2		2	
Подбор и изучение материалов исследования		5		7		6		6		7
Выбор направления исследований	3	3	5	5	4	4	2	2	2	2
Исследование технологии ВСМА в магистральном нефтепроводе		7		12		9		9		11
Расчет математической модели установки		14		21		17		17		20
Анализ режимов работы установки на основе полученных результатов		14		21		17		17		20
Оценка результатов	3		7		5		5		6	
Обработка документации		5		10		7		7		8
Подготовка к защите ВКР		1		13		6		6		7

На основании таблицы 6.3.1 строится календарный план-график, представленный в таблице 6.3.2.

Таблица 6.3.2 - Календарный план-график проведения НИ

№ работ	Исполнители	Т _к , ка л. дн	Продолжительность выполнения работ													
			февр.			март			апрель			май			июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	р	2				□										
2	и	7				■										
3	р,и	4					□									
4	и	11						■								
5	и	20							■							
6	и	20								■						
7	р	6										□				
8	и	8											■			
9	и	7												■		

□- научный руководитель ■ - инженер – дипломник

Таким образом, по диаграмме видно, что длительность проведенного исследования, которая составляет 85 календарных дня, из которых в общей сложности руководитель выполняет свою работу за 12 дней, а инженер – за 73 дня. Это объясняется тем, что основной целью руководителя является постановка задач инженеру-дипломнику, а у того тем временем, уходит более длительное время на реализацию этих задач.

6.4 Бюджет научно-исследовательской работы (НИР)

Так как данная научно-исследовательская работа была выполнена без специального оборудования и использования определенных материалов, в расчет бюджета НИР необходимо учитывать:

- затраты на амортизацию;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- страховые взносы;
- накладные расходы.

Основная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Стоимость расходов на заработную плату определяется в зависимости от:

1. сложности работы;
2. существующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает в себя: дополнительную заработную плату и основную заработную плату работников, включая премии, доплаты и т.д., непосредственно выполняющих НИР:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп} \quad (6.4.1)$$

где:

$З_{осн}$ - основная зарплата;

$З_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $З_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p = 1927 \cdot 9 = 17343 \text{ руб.}, \quad (6.4.2)$$

где:

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 4);

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

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле.

Для научного руководителя:

$$З_{дн} = \frac{З_M}{26} = \frac{51285}{26} = 1972 \text{ руб.}, \quad (6.4.3)$$

Для инженера-дипломника:

$$З_{дн} = \frac{З_M}{22} = \frac{33150}{22} = 1507 \text{ руб.}, \quad (6.4.4)$$

где:

Z_M – месячная зарплата работника, руб.:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_p \quad (6.4.5)$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (6.4.6)$$

Для инженера-дипломника:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (6.4.7)$$

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

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

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томск).

Таблица 6.4.1 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{окл}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	1972	9	17752
Инженер- дипломник	17000	0.3	0.2	1.3	33150	1507	64	96448
Итого								114200

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле найдем дополнительную заработную плату:

Руководитель проекта:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 17752 = 2307,76 \text{ руб.}, \quad (6.4.8)$$

Инженер-дипломник:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 96448 = 12538,24 \text{ руб.} \quad (6.4.9)$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определим по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (6.4.10)$$

Руководитель проекта:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (17752 + 2307,76) = 6018 \text{ руб.}$$

Инженер-дипломник:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (12538 + 96448) = 32695 \text{ руб.}$$

где: $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Накладные расходы

Затраты организации: печать и копии материалов исследований, оплата электроэнергии,- не попавшие в предыдущие статьи расходов, являются накладными расходами. Их размер определяет с помощью следующей формулы:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} \quad (6.4.11)$$

$$З_{накл} = (114200 + 14846 + 38713 + 2365 + 2750) \cdot 0,16 = 27659,84 \text{ руб.}$$

где: $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расходы на печать и ксерокопирование:

$$П = C_{стр} \cdot K_{стр} \quad (6.4.12)$$

где $C_{стр}$ - стоимость печати / ксерокопирования одной страницы; $K_{стр}$ - количество распечатанных страниц.

Оплата электроэнергии:

$$\mathcal{E} = Ц \cdot N \cdot n \cdot t_{зан.ч} \quad (6.4.13)$$

где: $Ц$ — стоимость 1 кВт/ ч электроэнергии, р.;

N — мощность оборудования, кВт;

n — количество единиц оборудования одного вида, ед.;

$t_{\text{зан.ч.}}$ — время занятости оборудования, ч.

Полученные расходы приведены в таблице 6.4.2.

Таблица 6.4.2 – Материальные затраты

Наименование	Ц, р.	N , Вт	n	$t_{\text{зан.ч.}}$	$C_{\text{стр.руб}}$	$K_{\text{стр.}}$	Затраты, руб
Электроэнергия	5,8	0,4	1	804	-	-	1865
Бумага	-	-	-	-	2	250	500
Итого:							2365

Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (6.4.14)$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где: n – срок полезного использования в годах.

Амортизация будет равна:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p \quad (6.4.15)$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40}{12 \cdot 30} \cdot 75 = 2750 \text{ руб.}$$

где: I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательскую работу

Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую работу по каждому варианту исполнения приведено в таблице 6.4.3.

Таблица 6.4.3 – Бюджет затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	114200	57,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14846	7,5
Отчисления во внебюджетные фонды	38713	19,5
Накладные расходы	27659	14
Амортизация	2750	1,4
Бюджет затрат НТИ	198168	100

Таким образом, в этом разделе работы проведено технико-экономическое исследование:

- составлена структура работы и на ее основе проведены расчеты сложности НИР, а также ее бюджет;
- рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 198168рублей.

6.5 Определение ресурсной эффективности исследования

Ресурсоэффективность – это интегральный критерий ресурсоэффективности и определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (6.5.1)$$

где: I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент проекта;

b_i - бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 6.5.1 - оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,15	4
2. Надежность	0,2	4
3. Удобство в эксплуатации	0,2	5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4
5. Энергоэкономичность	0,25	5
Итого:	1	22

Тогда интегральный показатель ресурсоэффективности для нашего проекта равен:

$$I_{pi} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 4,45$$

В данном пункте мы провели оценку ресурсоэффективности исследуемого проекта, в результате получили оценку (4,45 из 5), что говорит об эффективности его реализации.

Таким образом, регулируемый электроприводов с преобразователем частоты сейчас остается эффективным, и продолжается развиваться в таких направлениях как, улучшение энергетических, технико-экономических и эксплуатационных характеристик. Благодаря ускоренному развитию силовой полупроводниковой преобразовательной техники, открылись новые возможности применения регулируемого электропривода в реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, где ранее использовались

нерегулируемые электроприводы или применение других типов электропривода было нецелесообразно.

В данной работе была поставлена цель, которая предполагала решение определенных задач. В итоге можно сделать следующие выводы:

- 1) С помощью анализа конкурентных технических решений был выбран регулируемый электропривод с частотным преобразователем, при сравнении его с нерегулируемым электроприводом, так как он оказался наиболее предпочтительным вариантом по итогам расчетов.
- 2) Был составлен календарный план – график выполнения работы каждого из участников: научного руководителя и инженера-дипломника. Таким образом, по календарному план-графику видно, что проектирование нужно начать 2 марта и закончить 2 июня 2017 года.
- 3) Рассчитан бюджет НИР, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 198168 рублей. руб.;
- 4) Интегральный показатель ресурсоэффективности, равен 4,45 по 5 – бальной шкале. Такой результат говорит о том, что данный проект будет эффективным.

ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

В настоящей выпускной квалификационной работе ведется исследование установки электропривода вибромагнитной обработки для снижения вязкости нефти магистрального нефтепровода.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

7.1 Анализ вредных факторов

Технологический процесс рассматриваемой среды основан на работе с электроприводом, который является источником повышенного уровня шума, что является одним из вредных факторов производственной среды [27]. 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 торцевой 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 [33], 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 [20]. 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 [28], связанная с плохой вентилируемостью помещения. Следствием наличия теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха в производственных помещениях и сооружениях [28], 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.

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:

- 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 7.1.1.1.

Таблица 7.1.1.1 - Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	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

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

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как они наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. При совпадении частоты вибрации и внутреннего органа произойдет резонанс, в результате чего начнётся процесс разрушения.

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	-	-	-

Для борьбы с вибрацией необходимо применять следующие мероприятия:

- правильное проектирование массивных оснований фундамента от виброактивного оборудования;
- изоляция фундамента виброактивного оборудования от несущих конструкций и инженерных коммуникаций;
- активная и пассивная виброизоляция оборудования и рабочих мест;
- использование покрытий вибрирующих поверхностей материалом с большим внутренним трением (резина, пробка);

- применение звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов, конструкций;
- использование специальных кожухов на приводах шумных машин и механизмов;
- применение виброзадерживающих гибких вставок (гасители).

Неблагоприятное действие может быть уменьшено путем сокращения времени нахождения в условиях воздействия шума, рационального режима труда и отдыха с использованием комнат акустической разгрузки.

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упругодемпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

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 7.1.3.1 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 7.1.3.1 - 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 7.1.4.1.

Таблица 7.1.4.1 - 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. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [29 - 32].

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), 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 [30] 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 электрозащиты: 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 [25] на 800м² 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 помещение 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) [34]: 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 [35]. 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, твердые парафины, соли органических кислот и др.) в радиусе до трех километров и на глубину до 60-80 см. 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 [29], [31], [35], 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 м³ [35].

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 [36] 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 [36] 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 выполнения проведенных работ по моделированию и разработке практических рекомендаций по выбору параметров установки УАН для вибромагнитной обработки нефти в магистральных нефтепроводах можно сделать следующие выводы:

1. Общие рекомендации для определения параметров при конструировании установки позволяют производить расчёты основных показателей работы виброактиватора на стадии проектирования.

2. Была составлена математическая модель, которая позволяет анализировать режимы работы виброактиватора при различных частотах и значениях механического сопротивления. Производительность активации вязких нефтепродуктов при среднем значении вязкости может достигать до 2,72 м³/час в расчёте на один модуль.

3. Определены рекомендации по регулированию начальных конструктивных установок виброактиватора при обработке вязких нефтепродуктов. Начальный зазор при настройке модулей виброактиватора необходимо выбирать не менее 7,5 мм.

5. Разработаны основные приёмы применения виброактиватора в магистральных нефтепроводах для снижения вязкости нефти. Необходимо периодически подстраивать частоту и амплитуду питающего напряжения для обеспечения работы виброактиватора в резонансном режиме. Диапазон регулирования частоты может составлять от 31 до 71 Гц, диапазон регулирования амплитуды напряжения может составлять от 270 до 680 В.

6. Предложена конструкция единичного модуля виброактиватора и трёхфазная электрическая схема подключения виброактиватора, обеспечивающая работу активатора от трехфазной сети, а также регулирование частоты и напряжения в заданном диапазоне.

7. Выбраны основные элементы электропривода. Подключение и регулирование указанных параметров обеспечивается применением преобразователя частоты ACS580-01-145A, диода марки КД105Г, тиристорного регулятора напряжения ТРН-3. В качестве аппаратуры защиты был выбран автоматический выключатель ВА57-35 и трехжильный кабель марки ВВГ 70х170.

8. В качестве экономического обоснования проведенных исследований составлен план работ и на его основе проведены расчеты трудоемкости НИР и ее бюджет, рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 198168 р.; Рассчитано время проведения НИР – 85 календарных дня.

9. Произведен анализ опасных и вредных факторов, анализ воздействия объекта на окружающую среду, а также разработка необходимых мер при возникновении чрезвычайной ситуации.

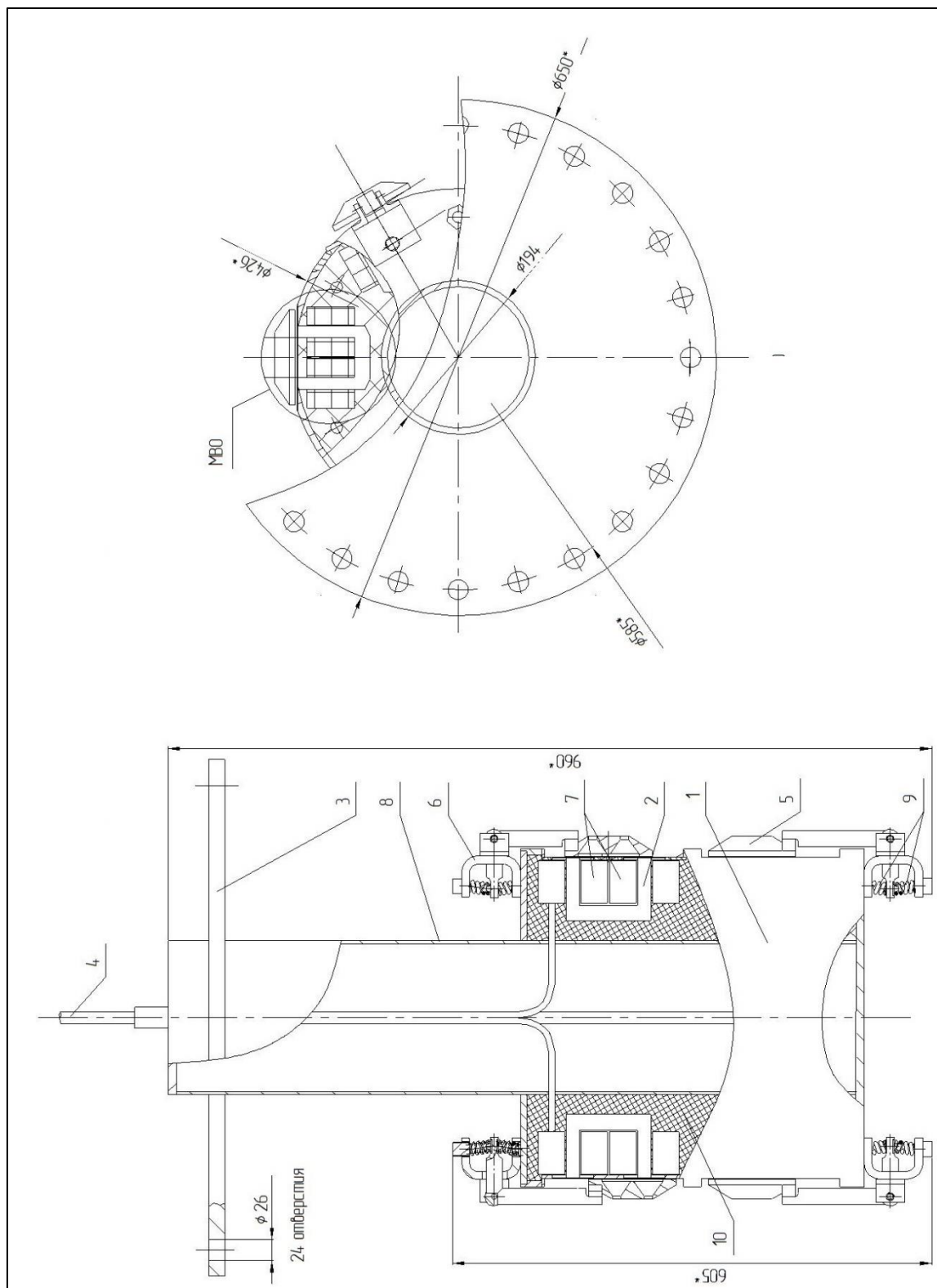
Список источников

1. Транспортировка нефти [Электронный ресурс]:
<http://www.vortexosc.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=172>
(дата обращения: 17.03.2017).
2. Пути и методы снижения вязкости нефти [Электронный ресурс]:
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. История развития магистральных трубопроводов [Электронный ресурс]:
<http://rgk-palur.ru/magistralnye-truboprovody-istoriya-razvitiya-i-vozniknoveniya/>
(дата обращения: 18.03.2017).
5. 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: 19.03.2017).
6. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. Изд., Инфра-Инженерия, 2006г. - 50с.
7. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров, Трубопроводный транспорт нефти и газа. Изд. Москва, т №2, 1988г. – 194с.
8. СИСТЕМА L-CAD ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ [Электронный ресурс]:
http://www.stscom.ru/sts/product/?id_product=290 (дата обращения: 25.03.2017)
9. Неизотермическое вытеснение высоковязкой нефти [Электронный ресурс]:
<http://www.lib.ua-ru.net/diss/cot/371623.html> (дата обращения: 25.03.2017)
10. 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.

11. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.И. Теплов, Особенности электромагнитного расчета вибратора струйного погружного ВСП-0,25. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.
12. С.П. Гузеев, В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Виброструйный перемешиватель и разжижитель жидкостей и суспензий, Патент № 2128547, Бюл. № 10, 1999 г.
13. Вибратор утилизация нефтешламов, подготовка нефти к транспорту ВЭМА-0,3 [Электронный ресурс]: <http://www.ochistka-masel.ru/tovar/vibrator-utilizacija-nefteshlamov-podgotovka-nefti.html> (дата обращения: 18.03.2017)
14. 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.
15. Каталог преобразователей частоты [Электронный ресурс]: http://te96.ru/catalog/chastotnye_preobrazovateli/preobrazovateli_chastoty_obshchepromyshlennye/preobrazovatel_chastoty_fci_g75_p90_4_75kvt_152a/ (дата обращения: 25.03.2017)
16. Каталог диодов [Электронный ресурс]: <http://lessonradio.narod.ru/handbook/Diod.htm> (дата обращения: 25.03.2017)
17. Тиристорные регуляторы напряжения [Электронный ресурс]: <https://ecoteco.ru/id658/> (дата обращения: 25.03.2017)
18. Каталог автоматических выключателей [Электронный ресурс]: <https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/va57-blochnie-avtomaticheskie-viklyuchateli-na-toki-ot-16a-do-630a/va57-35/108586> (дата обращения: 25.03.2017)
19. Энциклопедия электрики [Электронный ресурс]: <http://kabel-vvg.ru/> (дата обращения: 25.03.2017)

20. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
21. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
22. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
23. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
24. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
25. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
26. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
27. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
28. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
29. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
30. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
31. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
32. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
33. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
34. 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»
35. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
36. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

ПРИЛОЖЕНИЕ А **Чертеж блока виброобработки**



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Чертеж общего вида установки УАНМН-150

