

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Электропривод установки активации жидких сред»

УДК 62-83:622.692.23

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Можаров Андрей Ильич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер Валерий Аркадьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	–		

По разделу на иностранном языке:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия.
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки.
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности.
ПК(У)-2	Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности.
ПК(У)-3	Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
ПК(У)-4	Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения.
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Клемашева Елена Игоревна
Раздел на иностранном языке	Воробьева Виктория Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение; анализ источников информации, технологии и оборудование ВСМА	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер Валерий Аркадьевич	к.т.н.		28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Можаров Андрей Ильич		28.02.2022

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

Группа	ФИО
5AM07	Можарову Андрею Ильичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.02 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>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Иерархическая структура работ
5. График проведения НТИ
6. Проектная организационная структура

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Можаров Андрей Ильич		01.03.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
5АМ07		Можаров Андрей Ильич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<i>Электропривод установки активации жидких сред</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p><i>Объект исследования</i> — электропривод установки активации жидких сред. <i>Область применения</i> — математическое моделирование технологии ВСМА применяется в научных институтах и позволяет увеличить эффективность установок, которые в дальнейшем можно использовать в нефтяной промышленности. <i>Рабочая зона:</i> офис. <i>Размеры помещения</i> — 20 кв. м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</i> — 1 шт. персональный компьютер; 1 шт. компьютерный стол; 1 шт. офисное кресло. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне</i> — математическое моделирование элементов и устройств электромагнитного электропривода установки активации жидких сред.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Основные вредные и опасные факторы на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения – повышенный уровень шума, – недостаточная освещенность рабочей зоны, – повышенный уровень электромагнитных излучений. <p>Средства индивидуальной и коллективной защиты</p> <ul style="list-style-type: none"> – газоанализатор, для фиксации повышения концентрации вредных веществ в воздухе, – шумомер, для измерения уровня шума, – люксметр, для измерения уровня освещенности помещения

	<ul style="list-style-type: none"> – измеритель уровня электромагнитного фона. <p>Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки воздуха
3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения:</u>	<p><i>Воздействие на селитебную зону</i> — вредного воздействия не выявлено.</p> <p><i>Воздействие на атмосферу</i> — загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом.</p> <p><i>Воздействие на гидросферу</i> — загрязнение водоёмов бытовыми сточными водами.</p> <p><i>Воздействие на литосферу</i> — выделение токсичных веществ при утилизации ПК и бытовых отходов.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения:</u>	<p>Возможные ЧС — короткое замыкание электропроводки, возгорание оборудования.</p> <p>Наиболее типичная ЧС — пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Можаров Андрей Ильич		21.03.2022

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.12.2021 г.	Обзор технической литературы, содержащий описание оборудования;	5
15.02.2022 г.	Конструирование узла виброобработки	10
10.03.2022 г.	Разработка конструкции модели виброактиватора	10
12.04.2022 г.	Разработка математической модели виброактиватора	10
21.04.2022 г.	Расчёт режимов работы виброактиватора	10
02.05.2022 г.	Выбор элементов силовой схемы подключения виброактиватора	20
15.05.2022 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.05.2022 г.	Социальная ответственность	10
25.05.2022 г.	Раздел на английском языке	5
31.05.2022 г.	Оформление результатов работы и выводов по работе. Формирование файла дипломной работы	10
10.06.2022 г.	Итог	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер Валерий Аркадьевич	к. т. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	д. т. н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 130 страниц, 37 таблиц, 31 рисунок, 27 источников.

Ключевые слова: электромагнитный активатор, виброактиватор, разжижение нефтепродуктов, нефть.

В работе составлена математическая модель, которая позволяет исследовать режимы работы виброактиватора, произвести выбор преобразователя частоты и других элементов схемы подключения.

С помощью математической модели с помощью MathCad 15 проведено исследование режимов работы виброактиватора, получены основные параметры для обработки высоковязких жидких сред.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом процессоре MS Word 2010.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	9
ВВЕДЕНИЕ	13
1. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ	15
1.1. Состав и основные характеристики нефти	15
1.2. Отложения парафинов	17
1.3. Имеющиеся технологии подогрева нефти	18
1.4. Технология и оборудование ВСМА	21
1.5. Влияние технологии ВСМА на текучие свойства (вязкость) нефти	24
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ЖИДКИХ СРЕД	28
2.1. Единичный рабочий модуль виброобработки	28
2.2. Расчет производительности активации (обработки) МВО	30
2.3. Конструирование и расчет параметров электромагнита	33
2.4. Расчет обмоточных данных модуля ВСМА	40
2.5. Конструирование пружинного подвеса модуля ВСМА	44
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА	47
3.1. Электрическая схема замещения контуров установки	47
3.2. Активное сопротивление обмотки модуля ВСМА	49
3.3. Расчётное начальное значение индуктивности обмотки МВО	49
3.4. Расчётное начальное значение взаимоиндуктивности основных обмоток	49
3.5. Расчётное активное сопротивление короткозамкнутого витка, образованного стенкой корпуса МВО	50
3.6. Расчётное начальное значение взаимоиндуктивности обмоток основного контура и к.з.к.	51
3.7. Механический контур модуля ВСМА	51
3.8. Уравнения для электрических контуров	52
3.9. Система дифференциальных уравнений модуля виброобработки	54
3.10. Алгоритм расчета системы дифференциальных уравнений	57
4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ	59
4.1. Анализ работы электроустановки активации жидкой нефти	59
4.2. Анализ работы электроустановки активации нефти средней вязкости	62
4.3. Анализ работы электроустановки активации загустевшей нефти	66
5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ	70

5.1.	Выбор преобразовательного устройства для системы.....	71
5.2.	Выбор аппаратуры управления и защиты	72
5.2.1.	Аппаратура управления.....	72
5.2.2.	Аппаратура защиты.....	72
5.3.	Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети	73
5.4.	Выбор диода	74
6.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	75
6.1.	Предпроектный анализ.....	75
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	75
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	76
6.1.3	SWOT-анализ.....	77
6.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	80
6.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	81
6.2	Инициация проекта.....	82
6.3.	Управления научно-техническим проектом	83
6.3.1.	Иерархическая структура работ проекта	84
6.3.2.	План проект	84
6.4.	Бюджет научного исследования	86
6.4.1.	Основная заработная плата	86
6.4.2.	Отчисления во внебюджетные фонды	87
6.4.3	Накладные расходы.....	88
6.4.4	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	88
6.5.	Организационная структура проекта	89
6.5.1.	План управления коммуникациями проекта	89
6.5.2	Реестр рисков проекта	90
6.6.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	90
6.6.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	90
6.6.2.	Оценка сравнительной эффективности исследования	95
7.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	98
7.1.	Введение	98
7.2.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
7.3.	Производственная безопасность	100

7.3.1.	Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте.....	100
7.3.2.	Превышение уровня шума	101
7.3.4.	Недостаточная освещенность рабочей зоны	102
7.3.5.	Выделения вредных веществ	105
7.3.6.	Электромагнитное излучение	106
7.4.	Экологическая безопасность при эксплуатации.....	107
7.5.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		112

ВВЕДЕНИЕ

Одним из условий к жидким средам служит их подвижность при низких температурах. Снижение подвижности нефти представляется последствием способности твердых углеводородов кристаллизоваться при снижении температуры из растворов нефтяных фракций.

Подвижность нефти при низких температурах обладает высокой значительностью в процессах перекачки, хранения и транспортировки ее в зимних условиях. В результате хранения и транспортировки жидких сред в емкостях, особенно при низких температурах, происходит образование высоковязких нефтепродуктов.

Анализ имеющихся технологий и устройств для удаления и предотвращения образования высоковязких жидких сред под влиянием низких температур имеет значительную актуальность и представляет широкий практический интерес для разработки актуальных способов и усовершенствованию имеющихся систем, позволяющих эффективно разжижать высоковязкие жидкие среды.

Объект исследования – электромагнитный электропривод установки активации высоковязких жидких сред.

Предмет исследования – разработка конструкции виброактиватора, математическая модель для анализа режимов работы виброактиватора при изменении механического сопротивления, учитывающего форму активатора, определение резонансной частоты, определяющей максимальную производительность активации.

Цель настоящей работы – разработка конструкции и модели устройства виброструйного магнитного воздействия для разжижения нефти в стальных резервуарах в условиях низких температур.

Задачи исследования:

1. Разработка конструкции виброактиватора с производительностью разжижения не менее 5 м³/час;
2. Разработка математической модели виброактиватора;

3. Провести анализ режимов его работы для летнего, осенне-весеннего и зимнего периодов года;

3. Разработка схемы подключения виброактиватора с использованием преобразователя частоты для создания резонансного режима;

Методы исследования – в диссертационной работе применены: численные методы решения дифференциальных уравнений математической модели в программной среде MathCAD 15. Проверка результатов теоретических исследований осуществлялась экспериментальными методами.

Научная новизна:

1. Выявлено влияние формы и размеров активатора модуля виброобработки на производительность разжижение нефтепродукта.

2. Разработана конструкция виброактиватора, обеспечивающая заданную производительность, за счет создания локальной зоны высокоинтенсивной активации.

Практическая ценность

1. Разработана математическая модель, позволяющая анализировать режимы работы виброактиватора на стадии проектирования.

2. Разработана конструкция устройства, обеспечивающая заданную производительность.

На защиту выносятся следующие положения

1. Методика определение производительности активации высоковязких нефтепродуктов.

2. Результаты анализа режимов работы виброактиватора, полученные на основе расчётов математической модели и позволяющие выбирать эксплуатационные параметры установки.

Общие требования к системе разжижения высоковязких жидких сред в стальных резервуарах:

1. Производительность разжижения должна быть не менее 5 м³/час.

2. Источник электроэнергии: 220/380 В, 50 Гц.

1. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1.1. Состав и основные характеристики нефти

Нефть — это природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, которая состоит в основном из сложной смеси углеводородов разной молекулярной массы и некоторых других химических соединений. Примерный химический состав нефти показан на рисунке 1.1 [1].

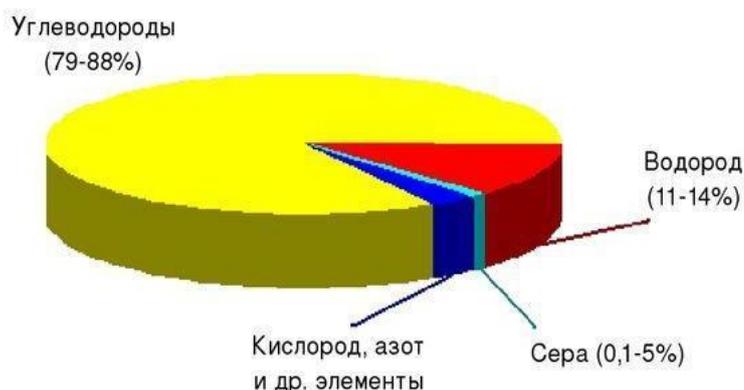


Рисунок 1.1 – Химический состав нефти [1]

В состав нефти входит около 1000 веществ. Самую большую часть из них (80-90%) составляют углеводороды, это органические вещества, которые состоят из атомов углерода и водорода. Нефть содержит около 500 углеводородных соединений - парафиновых (алканов), которые составляют половину всех углеводородов нефти, ароматических (бензол и его производные) и нафтеновых (циклоалканов).

Помимо этого, имеются в нефти высокомолекулярные соединения в виде смол и асфальтовых веществ.

В общей сумме содержание углерода и водорода в нефти – около 97-98% (по весу), в том числе углерода 83-87% и водорода 11-14%.

В зависимости от количества атомов водорода и углерода в молекуле углеводороды могут быть жидкостями, газами или твердыми веществами. Углеводороды, у которых число атомов углерода равно 1-4, в нормальных условиях являются газами. Углеводороды, которые содержат от 5 до 15 атомов углерода, – жидкости, а углеводороды, которые содержат в молекуле больше

15 атомов углерода, – твердые вещества. Газообразные парафиновые углеводороды в нефти присутствуют в растворенном состоянии и при выходе нефтепродукта на поверхность выделяются из нее в виде попутных газов. Жидкие парафиновые углеводороды составляют самую большую долю жидкой части нефти. Твердые парафиновые углеводороды, которые растворены в нефти, могут выделяться из нее.

Кроме углеводородной части, в нефти присутствует малая не углеводородная часть – соединения серы, азота и кислорода. Сера в нефти бывает достаточно много – до 5%, это вызывает коррозию металлов [1].

Нефть и нефтепродукты – это не индивидуальные вещества. Они представляют собой сложную смесь органических соединений. Поэтому нефтепродукты не имеют определенной температуры перехода из одного агрегатного состояния в другое. Влияние температуры на агрегатное состояние нефтепродуктов имеет одно из важных значений при их эксплуатации и транспортировке.

Низкотемпературные свойства нефтепродуктов характеризуются температурой застывания. Карбюраторные, реактивные и дизельные топлива характеризуются температурой помутнения. Реактивные и карбюраторные топлива, которые содержат ароматические углеводороды, характеризуются температурой начала кристаллизации. Эти характеристики не являются физическими константами, но достаточно точно определяют температурный диапазон практического применения соответствующих нефтепродуктов.

Температура застывания характеризует потерю текучести нефтепродукта, которая возможна в зоне низких температур. Чем больше содержание парафинов (твердых углеводородов), тем выше температура застывания нефтепродукта. Потеря текучести может быть связана с увеличением вязкости продукта с понижением температуры. Температура помутнения показывает склонность топлива поглощать при низких температурах влагу из воздуха (особенно это опасно для авиационных топлив,

потому что образующиеся кристаллики льда могут засорять топливоподающую аппаратуру, что может привести к трагедии).

1.2. Отложения парафинов

Твердые метановые углеводороды, парафины, присутствуют практически во всей нефти, и их содержание может быть от следов до 20-28% [3].

Состояние парафинов в нефти зависит от температуры и давления. Они хорошо растворяются в нефти при повышенной (40 °С и более) температуре. Так как пластовая температура в нефтяной залежи в большинстве случаев выше 40 °С, то можно сказать, что парафины в пластовых условиях образуют гомогенный раствор. При извлечении нефти, то есть при снижении температуры, давления и разгазирования ее способность растворять парафины уменьшается. Это приводит к тому, что происходит пресыщение нефти парафином и переход части его в кристаллическое состояние. Но этот переход может произойти только на какой-то поверхности. Центрами кристаллизации являются выступы, шероховатости поверхности труб и механические взвеси в потоке [3].

Механизм отложения парафинов происходит следующим образом. В результате охлаждения нефти под влиянием более холодной окружающей среды в тонком пристенном слое возникает радиальный температурный градиент. Существование такого градиента приводит к тому, что образуется градиент концентрации растворенного парафина к стенке трубы под действием молекулярной диффузии. Когда происходит достижение частицами парафина стенки трубы или границы твердых отложений происходит их кристаллизация и выделение из раствора.

В том случае, когда температура в пристенном слое ниже уровня, при котором парафин начинает выпадать из нефти, то в потоке нефти также будут содержаться кристаллы парафина, жидкая фаза будет находиться в состоянии термодинамического равновесия с твердой фазой. Когда уменьшается

температура, масса кристаллов парафина, взвешенных в нефти, увеличивается, а количество растворенного парафина – уменьшается.

Кристаллы парафина и их скопления, которые возникли на внутренней поверхности труб, и образуют парафиновые отложения. Кристаллы парафина, образовавшиеся в объеме нефти, в формировании отложений не участвуют.

Последствия выпадения парафина могут быть различными:

- увеличение гидравлических сопротивлений и снижение пропускной способности трубопровода;
- изменение реологических свойств нефти, вплоть до образования структуры во всем объеме и потери текучести;
- стабилизация водонефтяной эмульсии. После этого на стадии подготовки нефти для разрушения этой эмульсии потребуются повышенная температура и деэмульгаторы.

1.3. Имеющиеся технологии подогрева нефти

Электрообогрев внутренними тэнами, блоками ТЭН (ТЭНБ). Блоки ТЭН – трубчатые электронагреватели – это несколько нагревателей типа ТЭН, смонтированных на одном фланце. Конструкция и исполнение тэнов может разительно отличаться в зависимости от мощности, вида резервуара и расположения самих тэнов [5].



Рисунок 1.2 - Блок трубчатых электронагревателей

Тэны могут устанавливаться как вертикально, так и горизонтально в резервуаре. Обязательным условием является то, что блоки ТЭН должны

полностью погружаться в нефтепродукт. Мощность, как правило, от 4 до 36 кВт, но возможно так же исполнение и до 100 кВт. Средний срок службы – 8 лет. Материал изготовления – обычная сталь или нержавеющая сталь для особо агрессивных сред. Управление температурой нагрева осуществляется удаленно автоматической системой через силовой шкаф. Температура нагрева тэна в зависимости от модели ограничивается температурой вспышки нефтепродукта, или точкой кипения применительно для воды, поэтому тэны так же применяются для разогрева битума, наряду с термомаслянным обогревом [5].

К недостаткам можно отнести большое потребление электричества вследствие конструктивных особенностей.

Следующим видом электрообогрева является обогрев с помощью электрокабеля. Данный вид имеет самое широкое назначение:

- обогрев;
- предотвращение от замерзания;
- компенсация теплопотерь;
- начальный разогрев.

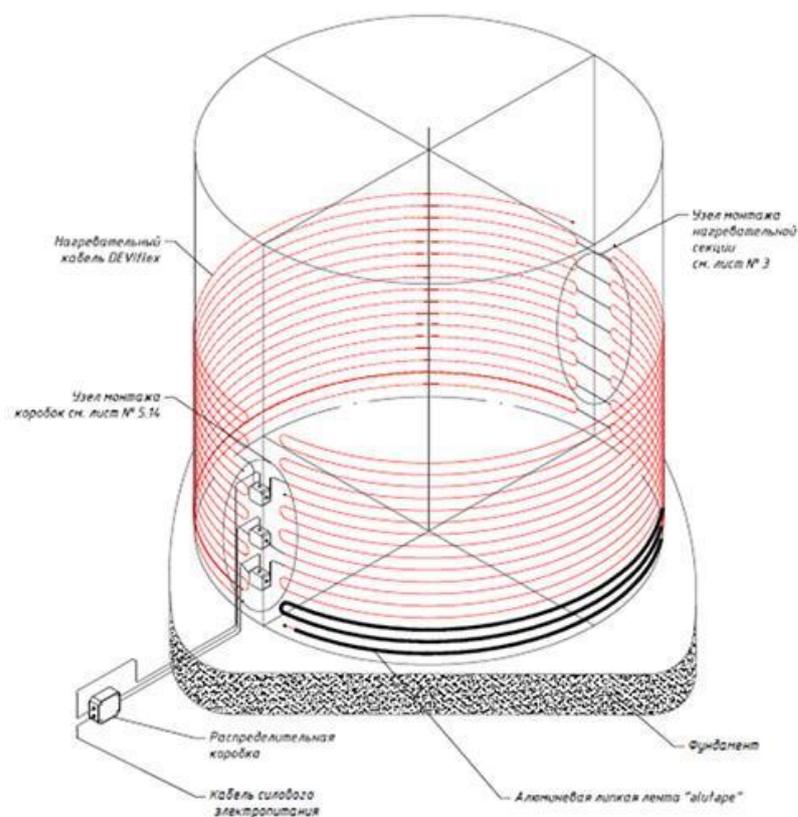
Кабель бывает двух видов: саморегулирующийся и постоянного нагрева [5].

Саморегулирующийся кабель работает по следующей схеме: чем ниже температура, тем больше тепла выделяется на кабеле. Саморегуляция работает за счет полупроводниковой составляющей нагревательного элемента: с понижением температуры падает сопротивление и, соответственно, увеличивается ток [5].



Рисунок 1.3 - Диаграмма зависимости температуры и тока в саморегулирующемся кабеле

Благодаря хорошему контакту непосредственно со стенкой резервуара, электрокабели имеют высокий КПД и небольшую потребляемую мощность. Они полностью автономны, а при применении систем управления можно не только задать периодичность обогрева, но также температуру в каждый отдельно взятый момент времени. Наибольшая температура нагрева или обогрева при использовании электрокабелей может достигать 200 °С в зависимости от модели, в некоторых случаях до 400 °С. На данный момент – это наиболее перспективный способ нагрева и обогрева емкостей и резервуаров [5].



Узел монтажа нагревательной секции на резервуаре

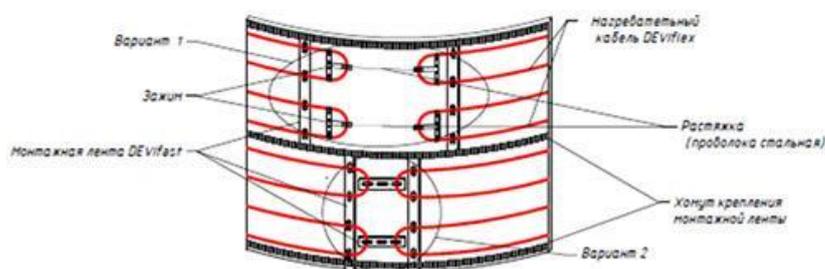


Рисунок 1.4 -Технология обогрева нефтепродукта с помощью электрокабелей

Однако, несмотря на все плюсы данный способ имеет ряд недостатков: повышенная опасность при эксплуатации, ограничение рабочей температуры до 232 °С, относительно высокая стоимость не дает широко распространиться данному виду обогрева на рынке [5].

1.4. Технология и оборудование ВСМА

Технология и оборудование виброструйной магнитной активации (ВСМА) в жидких средах основаны на принципе применения резонансно-колебательных электромеханических преобразователей (РКЭМП). Основой

для конструкций различных устройств ВСМА является единичный модуль, представляющий собой электромеханическое устройство с широким диапазоном регулирования частоты и величины питающего напряжения.

Уникальное сочетание факторов активации в одном устройстве и высокие удельные характеристики достигаются оригинальными конструкциями отдельных узлов модулях [4].

Применение 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.

Рациональная организация процессов добычи нефти, транспортировка и переработка ее по наиболее эффективным схемам с максимальным использованием соединений требуют знаний физических и физико-химических свойств нефти [4].

Высоковязкие нефти при температурах ниже температуры кристаллизации парафина обладают такими структурно-механическими свойствами, в соответствии с которыми эти нефти занимают промежуточное положение между жидкостями и твёрдыми телами [4].

В последнее время всё шире находит применение такой вид комплексного физического воздействия как технология виброструйной магнитной активации (ВСМА). Применение таких видов физических воздействий создают условия для достижения предельного уровня разрушения структуры молекулярных кристаллов парафиновых углеводородов и поддержания этого уровня в течение времени, необходимого для осуществления массообменных процессов [4].

Виброструйная магнитная активация с определенной энергией в следствие разрушению кристаллизационных структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти [4].

Наиболее разработанным направлением эффективного использования технологии ВСМА является применение для обработки высоковязких

нефтепродуктов для транспортировки и обработки значительного снижения вязкости. Полученный эффект снижения вязкости нефти при обработке ее устройствами ВСМА наблюдается в широком температурном диапазоне [5].

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

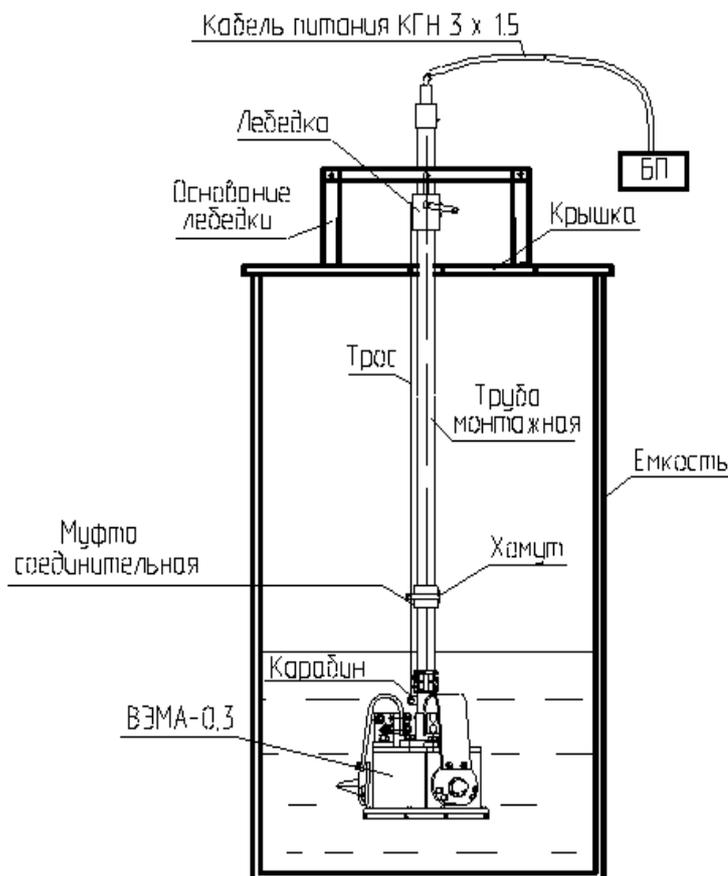


Рисунок 1.5 – Установка обработки нефтепродуктов с использованием вибратора ВЭМА-0,3

Многокомпонентное физическое воздействие ВСМА характеризуется предельными значениями параметров:

1. Скорость затопленных струй до 10 м/с;
2. Сдвиговая скорость до $(15-10)^3$ с;
3. Ускорение рабочего органа до 100 g;
4. Перепад давления в зоне активации до 3 атм;
5. Магнитная индукция в зоне активации до 1,9 Тл;

6. Частота основного воздействия 50 Гц;
7. Частота модуляции основного воздействия от 0,1 до 10 Гц.

1.5. Влияние технологии ВСМА на текучие свойства (вязкость) нефти

На сегодняшний день запасы нефтяной базы нефтедобывающей отрасли пополняются за счет вовлечением в оборот высоковязких нефтепродуктов. Свойства высоковязких нефтепродуктов, характеризуются содержанием парафина в своем составе, высокой температурой застывание и образованием асфальтосмолопарафиновых отложений, создают ряд проблем при их добыче хранении и транспортировки. Технология ВСМА улучшает реологические свойства высоковязкого нефтепродукта, воздействуя на надмолекулярные структуры нефти и поддержания этого уровня в течение длительного времени [5].

Виброструйная магнитная активация, воздействующая с определенной энергией в следствие разрушению кристаллизационных структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти [4].

При работе имеющихся образцов устройств ВСМА при обработке высоковязких нефтепродуктов иногда возникает проблема обеспечения начального этапа – создания определённого количества жидкой фракции, которая инициализирует дальнейшее разжижение. Это условие может быть реализовано путем создания локальных зон повышенной интенсивности виброструйного магнитного воздействия, обеспечивающих быстрое разжижение.

В организации ЗАО «Томская нефть» производилась обработка нефти при температуре нефти минус 35 °С на лабораторном вибраторе ВЛ-1 до приобретения ею текучих свойств. Затем контролировалось время сохранения обработанной нефти текучих свойств при температуре окружающего воздуха, равной 0 °С. Исходная нефть при указанных температурах представляет собой загустевшее образование. После обработки нефти на ВЛ-1 в течение 4 минут

нефть стала жидкой с вязкостью до 100 мПа×с. Приобретенные в результате обработки свойства текучести обработанная нефть сохранила в течение 8 часов [14].

В последние годы проводились работы по исследованию влияния технологии ВСМА, на реологические свойства различной нефти. Ниже приведены на рисунке 1.6 и 1.7 данные по влиянию технологии ВСМА на динамическую вязкость и температуры застывания парафинистой нефти некоторых месторождений Западной Сибири [14].

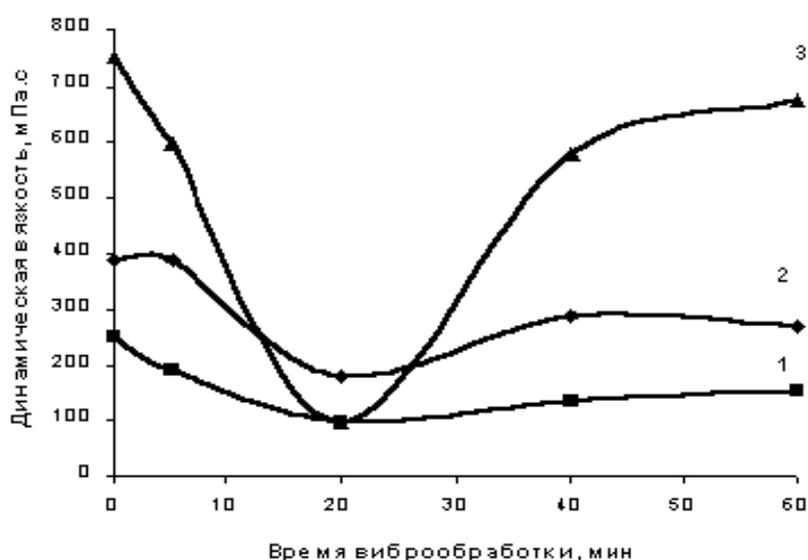


Рисунок 1.6 – Влияние времени виброобработки на динамическую вязкость парафинистой нефти:

1. Останкинского;
2. Южно-Табаганского;
3. Урманского месторождений.

Как видно из рисунка 1.6 влияние времени виброобработки, на динамическую вязкость, на месторождениях Останкинского, Южно-Табаганского и Урманского месторождений требуется 20 минут виброобработки, для снижения динамической вязкости парафинистой нефти.

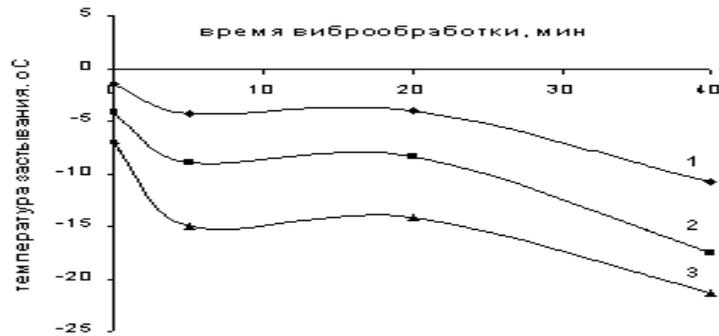


Рисунок 1.7 – Влияние времени обработки на температуру застывания парафинистых нефти

1. Южно-Табаганского;
2. Останинского;
3. Урманского месторождений.

Применение оборудования ВСМА позитивно сказывается на изменении динамической вязкости для указанных нефти. Примечательным является тот факт, что имеется определённый оптимум по длительности обработки. Для исследованных нефти оптимальным является обработка в течение 20 минут, которая сопровождается уменьшением вязкости по отношению к исходной в несколько раз.

Кроме этого отмечается факт существенного уменьшения температуры застывания при обработке нефти оборудованием ВСМА. Температура застывания после обработки вязких нефти оборудованием ВМА уменьшается на 10-15 °С.

Были проведены работы по применению технологии ВСМА по обработке высоковязких нефти на Сотгинской нефтебазе ОАО «Саханефтепродукт». Объем обрабатываемой сырой нефти составил 75 м³, температура нефти минус 20 °С. В исходном состоянии нефть имеет гомогенную не текучую структуру типа солидола. Обработка производилась одним устройством типа ВЭМА-0,3 в течение двух часов. В результате нефть приобрела текучее свойства, сохранявшиеся в течение трех суток при

суточных колебаниях окружающей температуры от -30 до -20 °С [14]. Следовательно, параметры оборудования и технологии ВСМА позволяют найти высокоэффективное техническое решение, обеспечивающее решение проблемы борьбы с образованием донных отложений в резервуарах РВС путём их быстрого разжижения.

На основе этих недостатков предлагается технология виброструйной магнитной активации нефти, которая не имеет указанные выше недостатки и может применяться на резервуарах РВС для предотвращения образования донных отложений.

Таким образом, приведённые достоинства технологии и оборудования ВСМА, являются достаточно перспективными для разработки системы разжижения высоковязких нефтепродуктов и предотвращения образования донных отложений в стальных резервуарах.

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ЖИДКИХ СРЕД

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

2.1. Единичный рабочий модуль виброобработки

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью системы для обработки высоковязких нефтепродуктов и осуществляет непосредственное виброструйное магнитное воздействие на среду. Общие принципы построения МВО иллюстрируются рисунком 2.1.

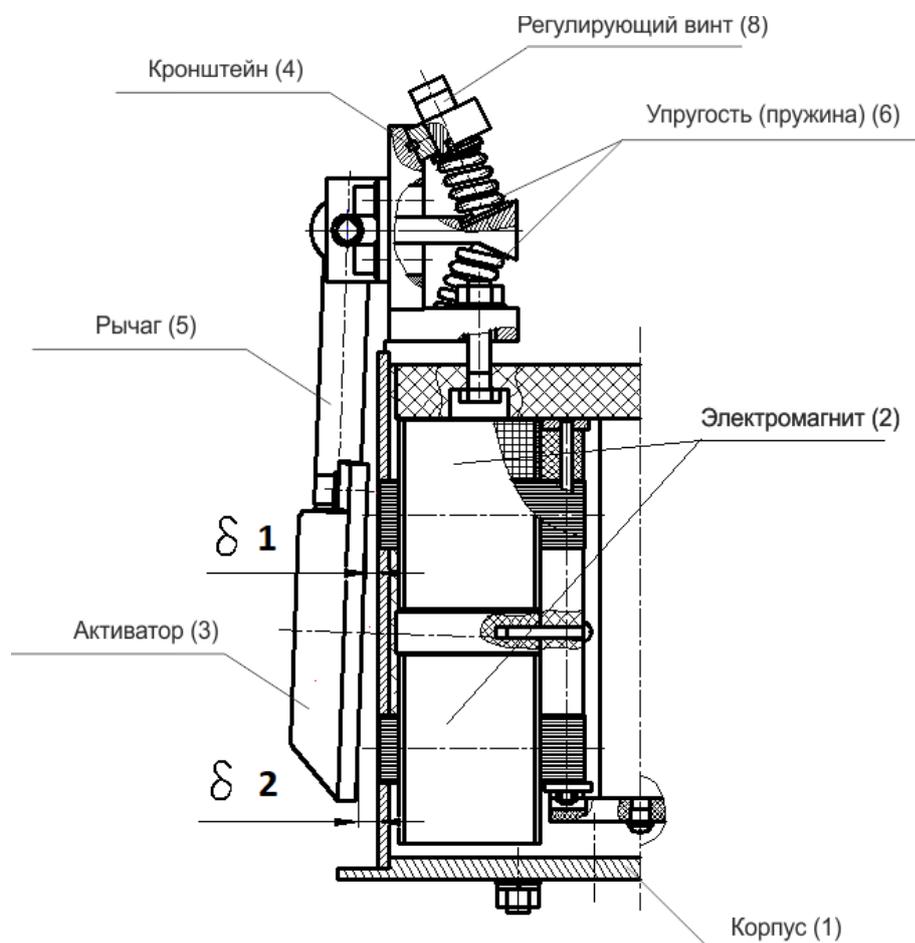


Рисунок 2.1 – Конструкция МВО,

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

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в объёме, изолированном от воздействия среды обработки и поэтому он должен быть герметичным. Пространство корпуса, не занятое электромагнитом, заливается компаундом, для обеспечения лучшего теплоотвода с обмоток и магнитопровода.

Электромагнит 2 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жёстко связан с корпусом, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор 3, являющийся якорем электромагнита. Сердечник электромагнита выполнен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки. Активатор выполнен из цельной заготовки. Активатор может быть выполнен круглой или квадратной формы. В теле активатора выполнено специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор 3 закреплён на длинном плече рычага 5. Крепление подвижных элементов МВО к корпусу производится при помощи кронштейна 4.

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

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

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

элементов и жёсткости. Исходными данными для определения значения жёсткости пружин является масса активатора.

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

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

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

2.2. Расчет производительности активации (обработки) МВО

Объём пространства активации жидкости определяется размерами и амплитудой колебаний активатора. При каждом движении активатора по направлению к стенке ЭМП объём жидкости, находящейся в пространстве активации CDEFGHIK, проходит через специальные отверстия в активаторе, образуя затопленные струи. Затопленные струи образуются за счёт различия значений гидравлического сопротивления при движении активатора в прямом и обратном направлениях, обусловленного трапециидальной формой щели в активаторе.

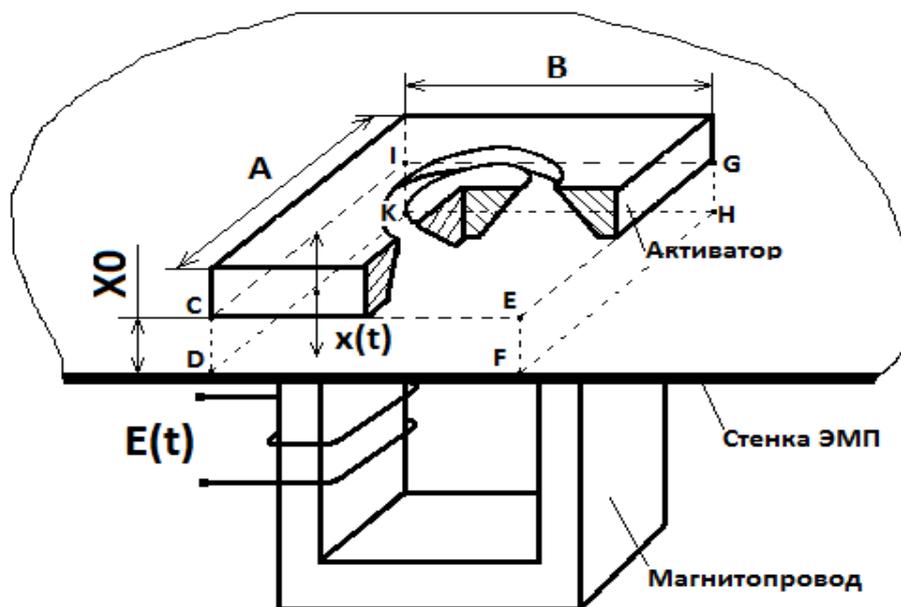


Рисунок 2.2 – Принцип активации жидкости резонансным ЭМП

Активацию нефти будем производить в одном из вертикально стального резервуара, следовательно, анализ показал, что для среднего населенного пункта в регионе с холодным климатом для работы котельной требуется 100 м³ в сутки, для того, чтобы обеспечивать жизнедеятельность населенного пункта. Нужно рассчитать производительность активаторов, которая показывает объем жидкости, обработанный активатором. Исходя из этого, рассчитаем значение заданной производительности активации нефти.

$$Q_{\Sigma} = \frac{100}{24} = 4,16 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \quad (2.1)$$

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

$$Q = 2 \cdot S_{\text{захв}} \cdot X_0 \cdot f \cdot 3600 = 16,4 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.2)$$

где $S_{\text{захв}}$ – площадь захвата, являющаяся частью площади основания активатора; f – частота колебаний активатора, Гц; X_0 – амплитуда колебаний активатора, м.

Амплитуда колебаний выбирается исходя из соображений, полученных опытным путем. Главная мысль полученных результатов заключается в том, что максимальная производительность достигается при максимально возможной амплитуде колебаний, что соответствует величине начального зазора (и является значением зазора), таким образом, принимаем:

$$X_0 = \delta_0 = 0,006 \text{ м} \quad (2.3)$$

Площадь захвата $S_{\text{захв}}$ рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{захв}} = k \cdot S_{\text{осн}} = 0.95 \cdot \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4} = 0,0075 \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

где: $S_{\text{осн}}$ – площадь основания активатора, м^2 , для высоковязких ЖС с плотностью более 2000 кг/м^3 активатор должен выполняться с диаметром $90 \dots 100 \text{ мм}$;

k – коэффициент захвата.

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

Количество попаданий одной порции ЖС в зону активации – Z для нефти принимаем равное 25 .

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

$$Q_p = \frac{Q}{Z} = \frac{16,4}{25} = 0,66 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \quad (2.5)$$

Расчётное количество единичных модулей необходимых для обеспечения производительности установки:

$$N = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_p} = \frac{4,16}{0,66} = 6,2 \quad (2.6)$$

Принимаем количество активатора: $N = 6 \text{ шт}$.

Таким образом, для обеспечения необходимой производительности обработки жидких сред необходимо использовать шесть МВО.

2.3. Конструирование и расчет параметров электромагнита

Электромагнит устройства ВСМА представляет собой конструкцию, состоящую из якоря, сердечника магнитопровода и обмоток. В качестве якоря в устройстве ВСМА выступает активатор, который относится к элементам колебательной системы. Сердечник электромагнита выполнен из пакета П-образной листовой стали толщиной не более 1 мм. Учитывая форму и размеры сердечника, а также принимая во внимание экономию обмоточного провода используем две обмотки на каждом стержне сердечника. [7]

Расчётный наружный диаметр активатора $D_{ан}$ выбирается по рекомендациям. Остальные основные размеры конструкции активатора можно определить исходя из требований пропорциональности, ориентируясь на наружный диаметр активатора.

Исходя из принципа действия, целесообразно выполнять активатор устройства ВСМА в поперечном сечении в виде усеченного конуса. Его основание должно быть обращено к корпусу МВО. В действии активатора предполагается выполнение нескольких функций, одной из которых является формирование затопленной струи, обрабатываемой ЖС. Данная функция реализуется конструкцией, для чего требуется в теле активатора выполнить струеобразующее круговое конусное отверстие. Угол раствора конусного отверстия $\theta_{кв}$ выбирается в диапазоне от 60 до 70 градусов. Такие значения позволяют добиться оптимального режима образования затопленной струи ЖС. Также немаловажным параметром для образования струи является высота образующей поверхности струеобразующего конуса. Для сохранения благоприятного режима струеобразования рекомендуется выбирать высоту активатора H_a в пределах $(0,19 \div 0,21)$ от величины $D_{ан}$. Также следует учитывать, что общая высота активатора включает в себя не только высоту усеченного струеобразующего конуса, но и толщину перемычки $h_{п}$, которая играет роль фиксатора внутренней части активатора, и высоту захода жидкости h_3 в конусное отверстие.

Перемычка, обеспечивающая прочность соединения внутренней части активатора с основной конструкцией, должна быть толщиной $h_{\text{П}}$, не менее 3 мм. Размер высоты захода жидкости в струеобразующее конусное отверстие h_3 рекомендуется выбирать в пределах от 3 до 5 мм. Большее значение высоты захода жидкости соответствует активатору большего размера.

Кольцевая часть основания активатора, соответствующая полюсам сердечника электромагнита, должна иметь ширину $b_{\text{к}}$ не менее ширины полюса сердечника b_1 . Как правило, ширина кольцевой части основания активатора $b_{\text{к}}$ выбирается равной $(1,0 \div 1,1)$ от ширины полюсного наконечника сердечника b_1 .

Конусный уклон поверхности активатора, не обращённый к стенке корпуса модуля ВСМА, обеспечивает меньшее гидравлическое сопротивление при движении активатора в направлении от стенки корпуса модуля ВСМА. Угол раствора данного конусного уклона $\theta_{\text{кв}}$ выбирается при выполнении эскиза активатора, ориентируясь на общие подходы конструирования.

Как было отмечено ранее размеры сердечника и наружный диаметр активатора являются взаимосвязанными. Длина ярма сердечника электромагнита B_1 для устройств ВСМА соответствует $(0,95 \div 1,0)$ от величины наружного диаметра активатора $D_{\text{ан}}$. Все остальные размеры сердечника магнитопровода модуля ВСМА можно выбрать, исходя из установленных практикой пропорций выполнения многочисленных устройств электромагнитного типа. Ширина полюсного наконечника сердечника b_1 составляет $(0,15 \div 0,2)$ от длины ярма B_1 . Высота ярма сердечника h_1 принимается равной $(1,3 \div 1,5)$ от B_1 . Длина полюсного наконечника сердечника k_1 выбирается равной $(0,3 \div 0,4)$ от H_1 . Высоту стержня сердечника H_1 можно принять равной $(1,0 \div 1,1)$ от B_1 . Все основные пропорции для расчета основных размеров активатора и электромагнита сведены в таблицу 1.1. На рисунке 2.3 проиллюстрирован общий вид магнитопровода и активатора для определения размеров, а основные соотношения размеров сведены в таблицу 1.1.

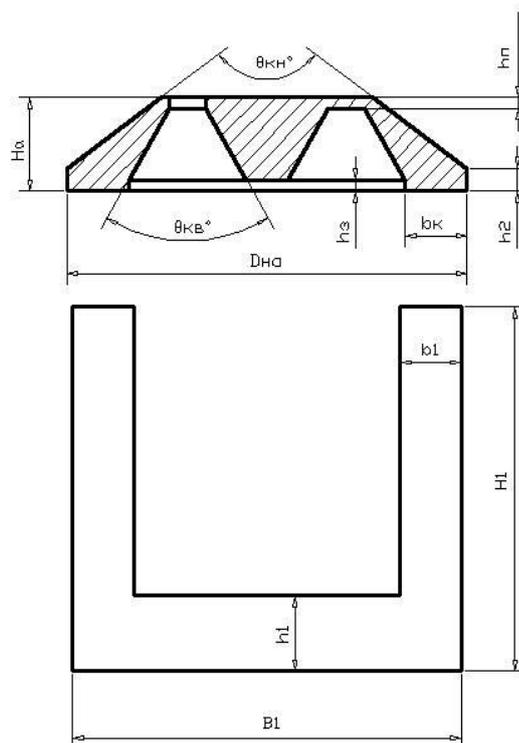


Рисунок 2.3 – Определение размеров конструкции активатора

Таблица 1.1 – основные соотношения для расчета размеров активатора и электромагнита

Размер активатора, индуктора	Рекомендованные соотношения
Наружный диаметр активатора, $D_{ан}$	$D_{ан}$ выбирается, исходя из реологических свойств ЖС
Высота активатора, H_a	$H_a = (0,19 \div 0,21) D_{ан}$
Длина ярма индуктора, $B1$	$B1 = (0,85 \div 1,0) D_{ан}$
Ширина полюсного наконечника индуктора, $b1$	$b1 = (0,15 \div 0,2) B1$
Длина полюсного наконечника индуктора, $A1$	$A1 = (0,3 \div 0,4) B1$
Ширина кольцевой части активатора, $b_к$	$b_к = (1,0 \div 1,1) b1$
Высота стержня индуктора, $H1$	$H1 = (1,0 \div 1,1) B1$
Высота ярма индуктора, $h1$	$h1 = (1,3 \div 1,5) b1$

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

Расчет осуществляется на основе ранее выбранного значения диаметра активатора:

$$D_{\text{на}} = 0,09 \text{ м} \quad (2.7)$$

Высота активатора:

$$H_a = 0,2 \cdot D_{\text{на}} = 0,2 \cdot 0,09 = 0,018 \text{ м} \quad (2.8)$$

Длина ярма сердечника:

$$B1 = 0,95 \cdot D_{\text{на}} = 0,95 \cdot 0,09 = 0,085 \text{ м} \quad (2.9)$$

Выбираем: $B1 = 0,08 \text{ м}$.

Ширина полюсного наконечника сердечника:

$$b1 = 0,18 \cdot B1 = 0,18 \cdot 0,085 = 0,0153 \text{ м} \quad (2.10)$$

Выбираем: $b1 = 0,016 \text{ м}$.

Ширина кольцевой части основания активатора:

$$b_k = 1,05 \cdot b1 = 1,05 \cdot 0,02 = 0,021 \text{ м} \quad (2.11)$$

Принимаем: $b_k = 0,021 \text{ м}$.

Длина полюсного наконечника сердечника:

$$A1 = 0,35 \cdot B1 = 0,35 \cdot 0,08 = 0,028 \text{ м} \quad (2.12)$$

Принимаем: $A1 = 0,03 \text{ м}$.

Высота стержня сердечника:

$$H1 = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,08 = 0,088 \text{ м} \quad (2.13)$$

Принимаем: $H1 = 0,09 \text{ м}$.

Высота ярма сердечника:

$$h1 = 1,4 \cdot b1 = 1,4 \cdot 0,016 = 0,024 \text{ м} \quad (2.14)$$

Принимаем: $h1 = 0,024 \text{ м}$.

Анализируя полученные размеры, было выявлено, что в данном случае недостаточно следовать только соотношениям пропорциональности, а необходимо также учитывать конструктивные особенности установки и накладываемые при этом ограничения. В связи с этим, полученные размеры были скорректированы и сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Основные размеры активатора и электромагнита

$D_{\text{ан}}, \text{ м}$	$H_a, \text{ м}$	$B1, \text{ м}$	$b1, \text{ м}$	$b_k, \text{ м}$	$A1, \text{ м}$	$H1, \text{ м}$	$h1, \text{ м}$
----------------------------	------------------	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	-----------------	-----------------

0,09	0,018	0,0855	0,0153	0,021	0,028	0,088	0,024
------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

Из полученных расчетных и скорректированных данных создадим эскизы активатора и электромагнита, которые изображены на рисунке 2.4.

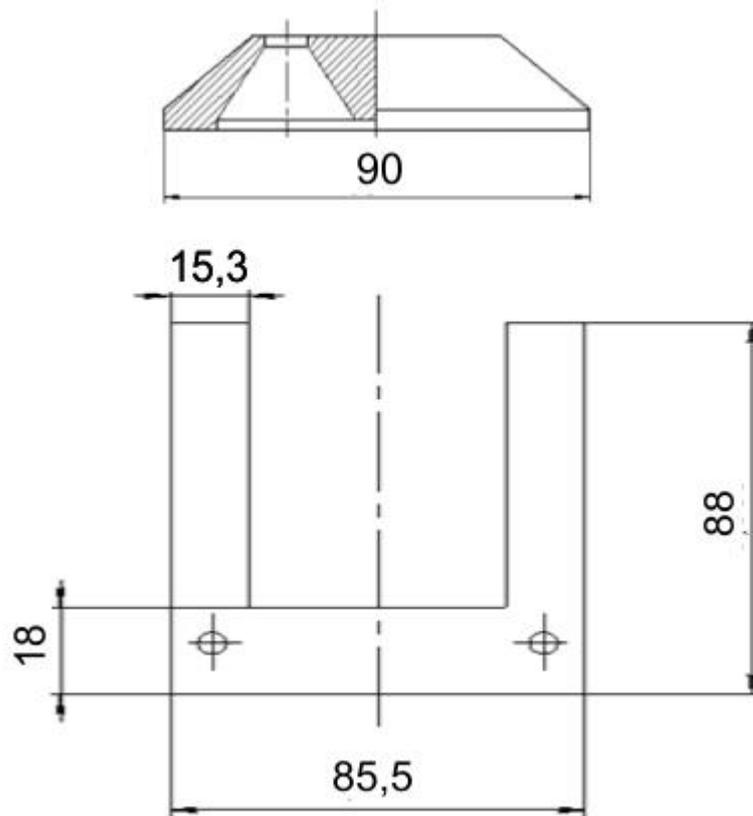


Рисунок 2.4 – Эскизы активатора и электромагнита

Массу активатора можно рассчитать, воспользовавшись условным разделением тела активатора на составляющие фигуры. На рисунке 2.5. приведено поперечное сечение активатора с разбиением его на составляющие фигуры 1, 2, 3, 4, 5 и 6. [7]

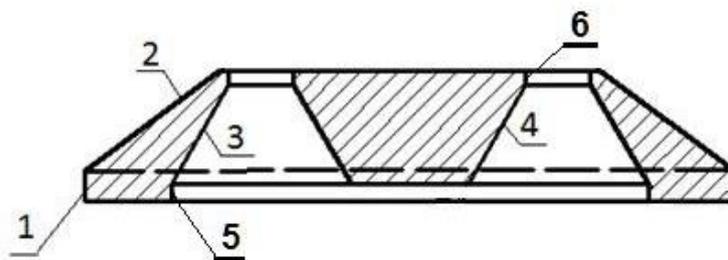


Рисунок 2.5 – К определению массы активатора

- 1 – полный цилиндр (кольцо) основания активатора;

2 – усечённый конус, образованный внешней образующей формы активатора;

3 – усечённый конус, образованный внешней образующей полости внутри активатора;

4 – усечённый конус, образованный внутренней образующей полости внутри активатора;

5 – полый цилиндр (кольцо) захода полости внутри активатора;

6 – полый цилиндр (кольцо) выходного отверстия полости внутри активатора.

Масса активатора:

$$M_a = \rho_{м.а} \cdot V_a, \quad (2.15)$$

где: $\rho_{м.а}$ – объёмная плотность материала активатора;

V_a – объём конструкции активатора, занимаемый материалом.

Принимаем $\rho_{м.а} = 7800$ кг/м³ объёмная плотность магнитопроводящей конструкционной стали.

$$V_a = V1 + V2 - V3 + V4 - V5 - V6, \quad (2.16)$$

где: $V1$ – объём полого цилиндра 1;

$V2$ – объём усечённого конуса 2;

$V3$ – объём усечённого конуса 3;

$V4$ – объём усечённого конуса 4;

$V5$ – объём полого цилиндра (кольца) 5;

$V6$ – объём полого цилиндра (кольца) 6.

Расчётный объём материала составных частей активатора кольцевого типа рассчитывается по формуле:

$$V_k = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_{вн}^2), \quad (2.17)$$

где: D_n – внешний диаметр кольца;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр кольца.

Расчётный объём материала составных частей активатора типа усечённый конус рассчитывается по формуле:

$$V_{у.к} = \frac{1}{3} \pi H_{у.к.} (R_{осн.}^2 + R_{осн.} \cdot R_{в.ч.} + R_{в.ч.}^2), \quad (2.18)$$

где: $H_{у.к.}$ - высота усечённого конуса;

$R_{осн.}$ – радиус основания усечённого конуса;

$R_{в.ч.}$ – радиус верхней части усечённого конуса.

Для активатора с основными размерами расчётный объём материала активатора составил $0,000083 \text{ м}^3$, а расчётная масса активатора – $M_a = 0,647$ кг.

Для определения значения присоединённой массы ЖС необходимо знать объёмную плотность обрабатываемой жидкости. По условиям задания устройство ВСМА предназначено для обработки цементного раствора. Среднее значение объёмной плотности цемента можно принять равной 800 кг/м^3 .

$$M_{пр} = \frac{8}{3} \cdot \rho_{жс} \left(\frac{D_{на}}{2}\right)^3 = \frac{8}{3} \cdot 800 \cdot \left(\frac{0,09}{2}\right)^3 = 0,194 \text{ кг} \quad (2.19)$$

Общая масса подвижных частей механической части модуля ВСМА:

$$M = M_a + M_{пр} = 0,647 + 0,194 = 0,8414 \text{ кг} \quad (2.20)$$

Таким образом, нами определены все необходимые размеры для выполнения чертежей активатора, электромагнита и пружины.

Рабочая схема модуля виброобработки (МВО) с двумя электромагнитами для разрабатываемой установки представлены на рисунке 2.5 и таблице 2.2.

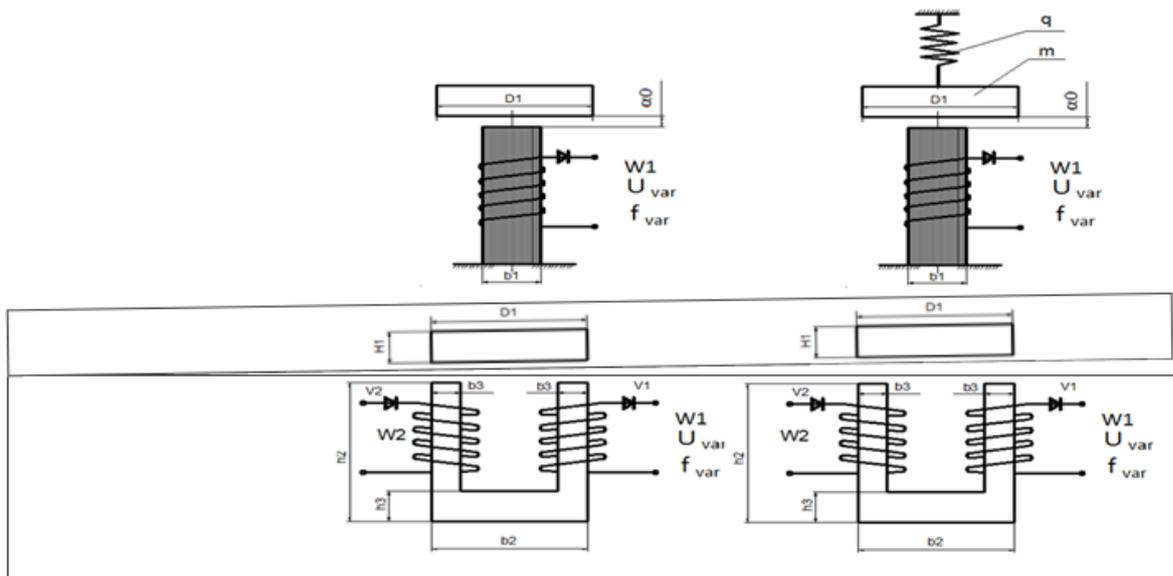


Рисунок 2.5 – Схема блока виброобработки

Размеры сердечника и наружный диаметр активатора должны быть взаимосвязанными. Длина ярма сердечника электромагнита В2 для устройств ВСМА соответствует $(0,95 \div 1,0)$ от величины наружного диаметра активатора D1. Все остальные размеры сердечника магнитопровода модуля ВСМА можно выбрать, исходя из установленных практикой пропорций многочисленных устройств электромагнитного типа. Ширина полюсного наконечника сердечника В3 составляет $(0,15 \div 0,2)$ от длины ярма В2. Высота ярма сердечника Н3 принимается равной $(1,3 \div 1,5)$ от В2.

2.4. Расчет обмоточных данных модуля ВСМА

Расчёт обмоточных данных электромагнита модуля ВСМА сводится к выбору диаметра обмоточного провода, определению числа витков в каждой из катушек, длины обмоточного провода и вычислению их активных и индуктивных сопротивлений. Общий вид сердечника магнитопровода модуля ВСМА с обмотками приведен на рисунке 2.6.

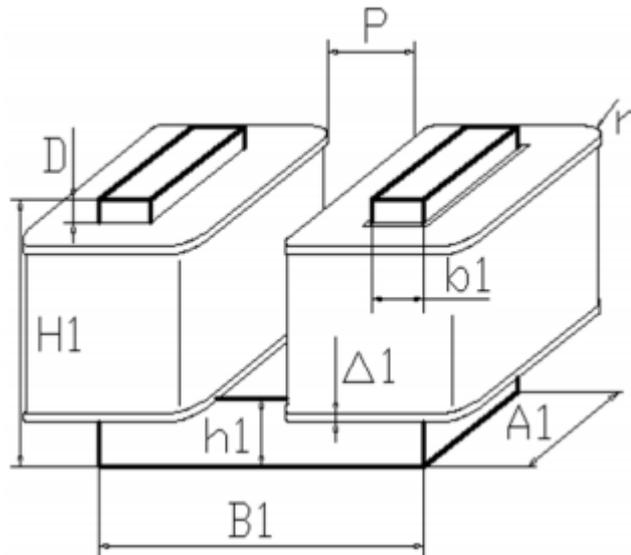


Рисунок 2.6 – Общий вид сердечника модуля ВСМА

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

Исходя из размеров магнитопровода, получаются обмоточные данные, а именно: диаметр обмоточного провода и количество витков. Обмотка размещается в окне магнитопровода, а полное сечение окна магнитопровода равняется:

$$S_{\text{окн}} = (B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P) \cdot (H1 - h1 - 2\Delta1 - D) \quad (2.21)$$

Принимаем: $\Delta1 = 0,002 \text{ м}$; $P = 0,002 \text{ м}$; $D = 0,004 \text{ м}$.

Тогда, $S_{\text{окн}} = (0,08 - 2 \cdot 0,015 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) \cdot (0,0945 - 0,022 - 2 \cdot 0,002 - 0,004) = 0,00255 \text{ м}^2$.

Диаметр обмоточного провода может колебаться в районе от 0,2 мм до 2 мм. Выбирается провод эмалированный (обмоточный) с диаметром 1.5 мм [6]. При выборе числа витков обмотки необходимо учитывать коэффициент заполнения межстержневого пространства индуктора витками обмоточного провода при намотке катушки. При автоматизированной намотке коэффициент заполнения проводом составляет $0,45 \div 0,6$. Меньшее значение коэффициента заполнения соответствует проводу с меньшим диаметром. При ручной намотке коэффициент заполнения обмоток проводом выбирается не более 0,43.

Возможное количество витков, размещенных в окне магнитопровода:

$$W_p = \frac{S_{\text{окн}}}{\pi R^2} \cdot k_{\text{зап}} = \frac{0,00255}{\pi \cdot 0,000575^2} \cdot 0,43 = 1500,$$

где: W_p – количество витков обмотки;

R – радиус обмоточного провода, м;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения.

Рекомендуется выполнять две обмотки, из-за технологических соображений, следует количество витков одной обмотки будет равно $W = 750$.

Допустимая толщина слоев обмотки, м:

$$\Delta t = \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P}{2} = \frac{0,08 - 2 \cdot 0,015 - 2 \cdot 0,002 - 0,002}{2} = 0,022 \quad (2.22)$$

Расчетное количество слоев обмотки:

$$N_{\text{сл}} = \frac{\Delta t}{d_{\text{пр.и}}} = \frac{0,022}{0,00149} = 14,8 \quad (2.23)$$

Принимаем: $N_{\text{сл}} = 20$.

Расчетное значение длины среднего витка обмотки, м:

$$l_{\text{ср}} = 2(b1 + A1 + 2\Delta1) + 2\pi \cdot r_{\text{скр.об}} = 2(0,015 + 0,03 + 2 \cdot 0,002) + 2\pi \cdot 0,0166 = 0,186, \quad (2.24)$$

где: $r_{\text{скр.об}}$ - средний радиус закругления углов обмотки, м.

$$r_{\text{скр.об}} = \frac{(N_{\text{сл}}+1)d_{\text{пр.и}}}{2} = \frac{(20+1) \cdot 0,00159}{2} = 0,0166, \quad (2.25)$$

где: $d_{\text{пр.и}}$ – диаметр обмоточного провода в изоляции, м.

Умножая длину среднего витка обмотки на количество витков, получим расчётную длину обмоточного провода, идущего на изготовление одной обмотки.

Расчетное значение длины провода обмотки, м:

$$l_{\text{об}} = W \cdot l_{\text{ср}} = 1500 \cdot 0,186 = 297, \quad (2.26)$$

где $l_{\text{ср}}$ – длина среднего витка обмотки, м; W – количество витков в обмотке.

Находится электрическое сопротивление катушки:

$$R_{\text{к0}} = \rho \frac{l_{\text{ср}} \cdot W}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление меди, $\rho = 0,0175$ ом·мм²/м;

S – площадь сечения обмоточного провода, $S = 1,03$ мм²;

$$R_{\text{к0}} = 0,0175 \frac{0,187 \cdot 750}{1,03} = 1,7 \text{ Ом}$$

– при нормальной температуре 40 °С. (2.27)

В ходе работы обмотка будет нагреваться, максимальная температура $l_{\text{об}}$ нагрева выбранного типа проволоки 130 °С. Сопротивление катушки в нагретом состоянии будет равно:

$$R_{\text{к}} = R_{\text{к0}} \cdot (1 + a \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{пот}})) = 1,7 \cdot (1 + 0,004 \cdot (130 - 40)) = 2,31 \text{ Ом}, \quad (2.28)$$

где a – температурный коэффициент удельного сопротивления для меди.

По полученным расчётным значениям основных размеров магнитопровода и обмоток выполняется эскиз электромагнитной части модуля ВСМА. В ходе конструирования электромагнита модуля ВСМА необходимо предусматривать элементы крепления электромагнита в общей конструкции модуля ВСМА.

2.5. Конструирование пружинного подвеса модуля ВСМА

Согласно рекомендациям раздела, изложенного в [7], принимаем значение абсолютной собственной частоты колебательной системы модуля ВСМА $f_0 = 50$ Гц.

Соответствующая угловая частота:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 314 \text{ с}^{-1} \quad (2.29)$$

Расчётное значение жёсткости пружинного подвеса активатора модуля ВСМА:

$$q_{\text{лр}} = \omega_0^2 \cdot M_a \quad (2.30)$$

Расчётное значение жёсткости одной пружины при этом составит:

$$q_{\text{л}} = \frac{q_{\text{лр}}}{2} = 435 \text{ Н/м} \quad (2.31)$$

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

$$\omega_{0\text{ж}} = \sqrt{\frac{q_{\text{л}}}{M_a + M_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{31895,8}{0,84}} = 194,861 \text{ с}^{-1} \quad (2.32)$$

Частота собственных колебаний активатора в жидкости при этом будет равна:

$$f_{0\text{ж}} = \frac{\omega_{0\text{ж}}}{2\pi} = \frac{194,861}{2 \cdot 3,14} = 31,504 \text{ Гц} \quad (2.33)$$

Расчётное значение жёсткости для выбранной пружины составляет $q_{\text{л}} = 435$ Н/м.

Для выполнения чертежа пружины необходимо определиться с высотой пружины. При колебаниях активатора максимальная деформация пружины должна составлять с учётом расчётного воздушного зазора не менее 2,3 мм. Помимо этого, пружина должна быть предварительно сжата для обеспечения её работы с нагрузкой в зоне без знакопеременных деформаций. Предварительное сжатие при этом должно быть не менее чем деформация при колебаниях активатора. Выбираем величину предварительного сжатия,

равную 3 мм. В этом случае высота пружины в свободном состоянии должна быть не менее:

$$H_{\text{пр}} = k \cdot n \cdot d_{\text{пр}} + 2,3 + 3 = 1,5 \cdot 5 \cdot 6 + 2,3 + 3 = 50,3 \text{ мм} \quad (2.34)$$

Принимая во внимание вышеизложенные соображения по конструкции модуля ВСМА, можно разработать общую конструкцию устройства ВСМА. Один из возможных вариантов конструкции устройства ВСМА производительностью не менее 10 м³/час для разжижения высоковязких нефтепродуктов иллюстрируется рисунком 2.7.

Конструкция предлагаемого устройства виброструйной магнитной активации жидкостей и растворов приведена на рисунке 2.7. Устройство виброструйной магнитной активации жидкостей и растворов содержит корпус 1, магнитопроводы 2 электромагнитного вибропривода с катушкой электромагнитов, цилиндрические пружины 3 (на каждом модуле 2 шт.), деталь 4 коромысла крепления активатора, на большем плече которых крепятся пластины-якори (активаторы) 5, перегородки 6, разделяющие пластины-активаторы 5 и внутреннюю полость корпуса 1, где расположены электромагниты, опору 7 для крепления пружин 4 к основанию 11 корпуса 1 и устройство ввода электропитания 9. Трапецеидальное отверстие 10 в пластинах-активаторах 5 выполнено круговым.

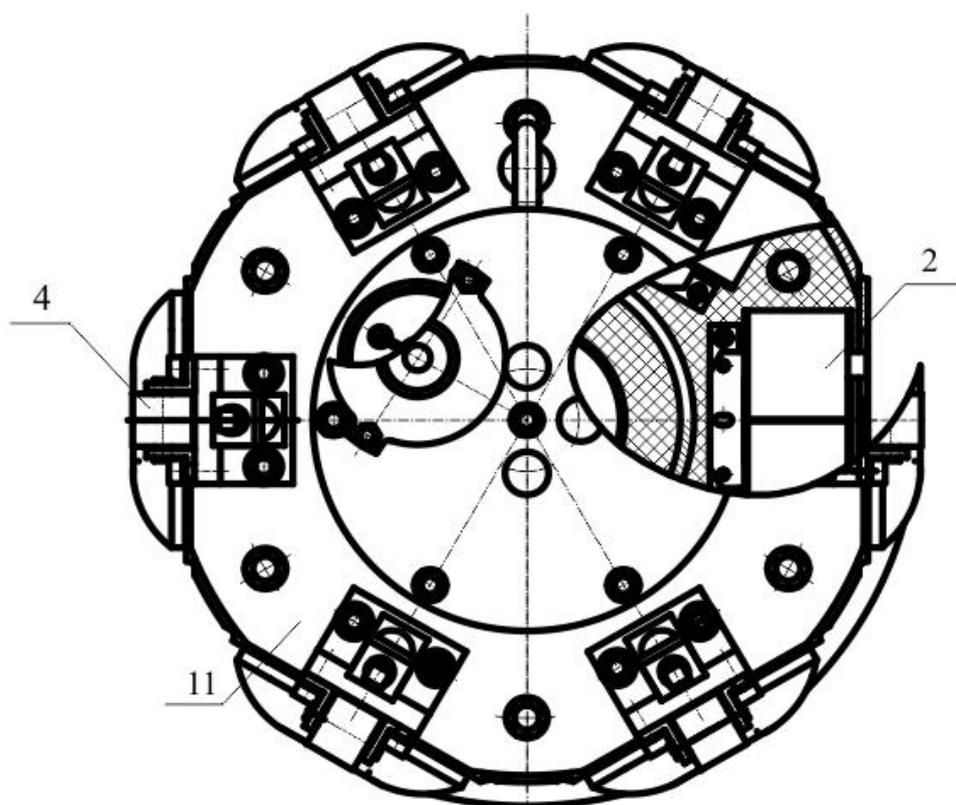
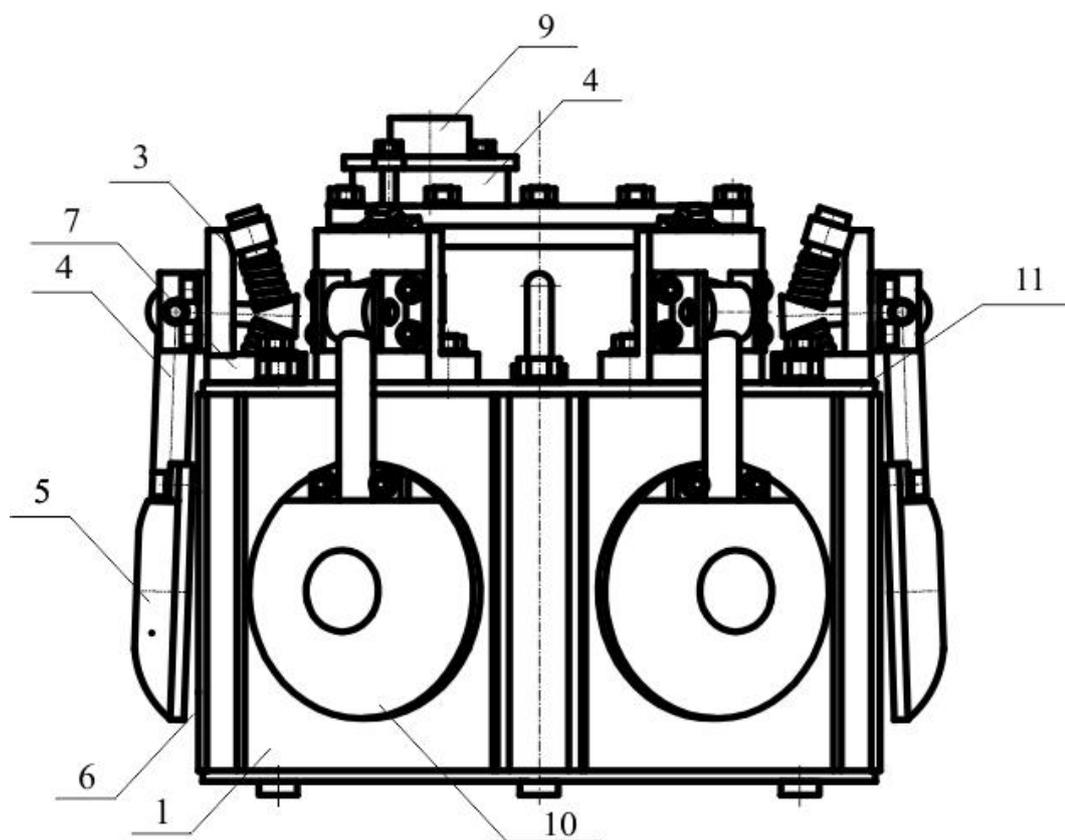


Рисунок 2.7. – Конструкция устройства ВСМА

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

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

3.1. Электрическая схема замещения контуров установки

Электрическая схема состоит из двух частей, каждая из которых представляет собой главный и четыре короткозамкнутых (КЗ) контура. Расчетная схема замещения электрической части ЭМП представлена на рисунке 3.1.

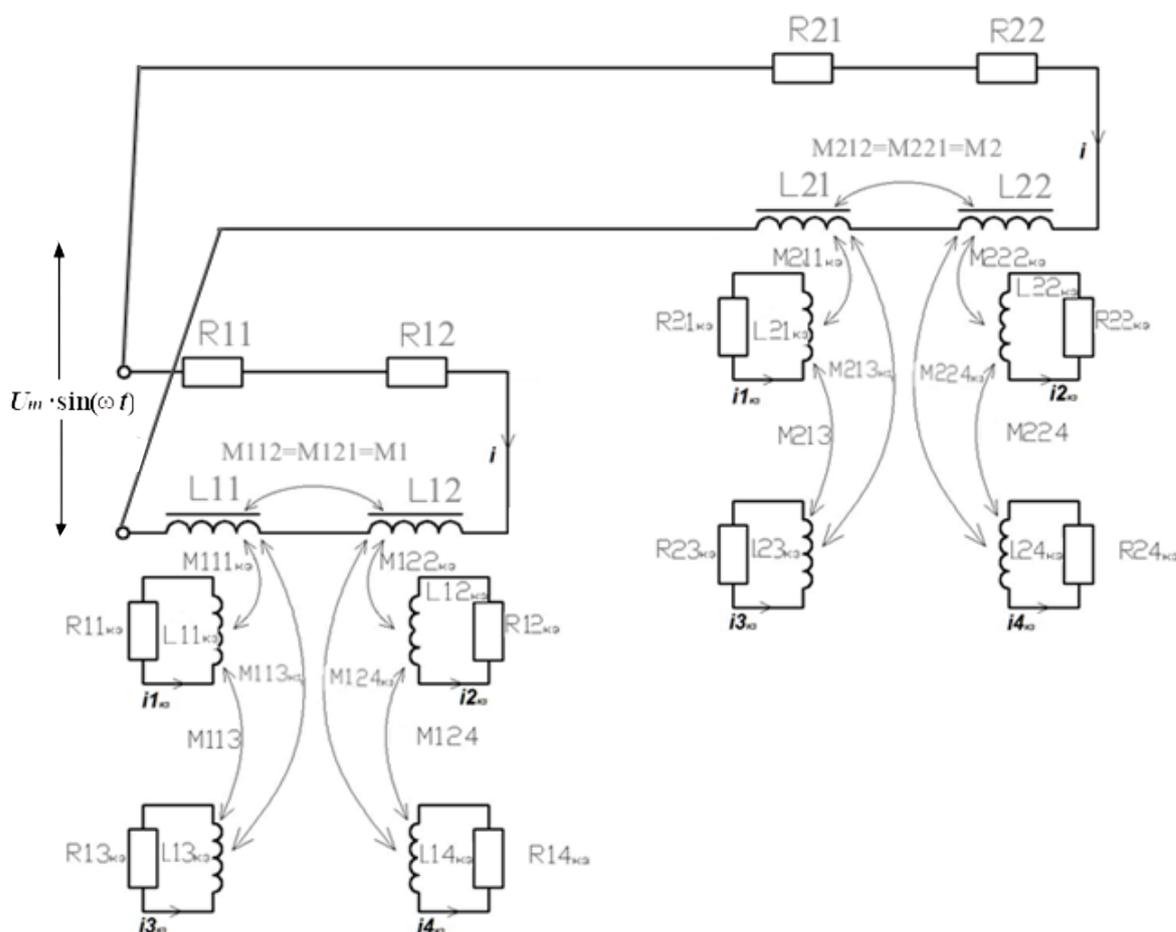


Рисунок 3.1 – Электрическая схема замещения

Для первой части: основной электрический контур включает в себя электромагнит ($L11, L12$ – индуктивности обмоток основного контура; $R1, R2$ – активные сопротивления обмоток; VD – диод; $M1$ – взаимная индуктивность между основными обмотками; $M111_{кз}, M122_{кз}$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами стенки корпуса модуля ВСМА и основными обмотками; $L11_{кз}, L12_{кз}, R11_{кз}, R12_{кз}$ – индуктивности и активные сопротивления короткозамкнутых контуров, образованных стенкой корпуса модуля ВСМА; $L13_{кз}, L14_{кз}, R13_{кз}, R14_{кз}$ – индуктивности и активные сопротивления короткозамкнутых контуров, образованных массивным активатором; $M113_{кз}, M124_{кз}$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами массивного активатора и основными обмотками; $M113, M124$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами стенки корпуса и массивного активатора модуля ВСМА. В силу симметричности параметров схемы замещения можно ввести некоторые эквивалентные параметры:

$$R11 = R12 = R1; L11 = L12 = L1; M111_{кз} = M122_{кз} = M1_{кз}; R11_{кз} = R12_{кз} = R1_{кз1}; R13_{кз} = R14_{кз} = R1_{кз1} \quad (3.1)$$

$$L11_{кз} = L12_{кз} = L1_{кз1}; L13_{кз} = L14_{кз} = L1_{кз2}; M113 = M124 = M12_{кз}; M113_{кз} = M124_{кз} = M1_{кз} \quad (3.2)$$

Для второй части все аналогично, все параметры представлены выше будут с индексом «2», получаем следующие эквивалентные параметры:

$$R21 = R22 = R2; L21 = L22 = L2; M211_{кз} = M222_{кз} = M2_{кз}; R21_{кз} = R22_{кз} = R2_{кз1}; R23_{кз} = R24_{кз} = R2_{кз1} \quad (3.3)$$

$$L21_{кз} = L22_{кз} = L2_{кз1}; L23_{кз} = L24_{кз} = L2_{кз2}; M213 = M224 = M22_{кз}; M213_{кз} = M224_{кз} = M2_{кз} \quad (3.4)$$

Уравнение равновесия напряжений для основного контура выглядит следующим образом:

$$U_m(\sin(\omega t)) = i \cdot (R1 + R2) + \frac{d\Sigma\Psi_i}{dt}, \quad (3.5)$$

где: i – ток в основной цепи модуля ВСМА;

$\Sigma\Psi_i$ – суммарное потокосцепление всех контуров основной цепи;

U_m – амплитуда питающего напряжения;

ω – угловая частота питающего напряжения.

3.2. Активное сопротивление обмотки модуля ВСМА

Активные сопротивления катушек:

$$R_{кз} = R1_1 = R1_2 = R2_1 = R2_2 = 2.31 \text{ Ом} \quad (3.6)$$

Суммарное потокосцепление контуров основной цепи модуля ВСМА $\Sigma\Psi_i$ включает в себя потокосцепления каждой из обмоток, которые в свою очередь состоят из собственных потокосцеплений и потокосцеплений, образованных взаимоиנדуктивными связями с имеющимися другими индуктивными элементами.

$$\Sigma\Psi_i = \Sigma\Psi_1 + \Sigma\Psi_2 \quad (3.7)$$

3.3. Расчётное начальное значение индуктивности обмотки МВО

Находятся значения индуктивностей катушек для основного и дополнительного электромагнита, взаимодействующего с активатором:

$$L1_1 = L1_2 = L1_к = L2_1 = L2_2 = L2_к \\ = \frac{\mu_{ст} \cdot \mu_0 \cdot S_{сер} \cdot W^2}{l + \delta_{\Sigma} \cdot \frac{\mu_{сер}}{\sigma}} = \frac{350 \cdot 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 1500^2}{0.187 + 0.006 \cdot \frac{5000}{1.5}} = 0.13 \text{ Гн}, \quad (3.8)$$

где: μ_0 – магнитная постоянная;

$\mu_{сер}$ – относительная магнитная проницаемость стали;

$S_{сер}$ – поперечное сечение сердечника магнитопровода;

W – количество витков в обмотке;

σ – коэффициент рассеивания;

δ_{Σ} – величина воздушного зазора.

3.4. Расчётное начальное значение взаимоиנדуктивности основных обмоток

Выражение для определения расчётного значения взаимной индуктивности обмоток равно:

$$M1_{12} = \frac{\mu_0 \mu_{\text{сеп}} W^2 S_{\text{сеп}}}{k2 \cdot \left(\frac{\delta_1 \Sigma}{\sigma} \mu_{\text{сеп}} + l_m \right) + 10 \cdot \Delta t}, \quad (3.9)$$

$$M2_{12} = \frac{\mu_0 \mu_{\text{сеп}} W^2 S_{\text{сеп}}}{k2 \cdot \left(\frac{\delta_2 \Sigma}{\sigma} \mu_{\text{сеп}} + l_m \right) + 10 \cdot \Delta t}, \quad (3.10)$$

где: $k2$ – конструктивный коэффициент, учитывающий взаимное расположение обмоток.

При $k2 = 10$:

$$M1_{12} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 \cdot 1100^2 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot \left(\frac{0,006}{10} \cdot 1500 + 0,372 \right) + 10 \cdot 0,04} = 0,00014 \text{ Гн} \quad (3.11)$$

$$M2_{12} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 \cdot 1100^2 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot \left(\frac{0,0031}{10} \cdot 1500 + 0,372 \right) + 10 \cdot 0,04} = 0,00022 \text{ Гн} \quad (3.12)$$

3.5. Расчётное активное сопротивление короткозамкнутого витка, образованного стенкой корпуса МВО

Уравнение равновесия напряжений для короткозамкнутого контура (к.з.к.) модуля ВСМА выглядит следующим образом:

$$0 = i_{\text{кз}} \cdot R_{\text{кз}} + \frac{d\Sigma\Psi_{\text{кз}}}{dt}, \quad (3.13)$$

где: $i_{\text{кз}}$ – ток в к.з.к.;

$R_{\text{кз}}$ – активное сопротивление короткозамкнутого контура;

$\Sigma\Psi_i$ – суммарное потокосцепление короткозамкнутого контура.

Расчётное активное сопротивления к.з.к., выполненного из немагнитной нержавеющей стали:

$$R1_{\text{кз}} = R2_{\text{кз}} = \rho_{\text{кз}} \cdot \frac{\pi \cdot l_{\text{кз}}}{S_{\text{кз}}} = 0,047 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,077}{553,998} = 0.002 \text{ Ом}, \quad (3.14)$$

где: $\rho_{\text{н.ст.}}$ – удельное сопротивление нержавеющей стали;

$l_{\text{кз}}$ – длина короткозамкнутого витка;

$S_{\text{кз}}$ – сечение короткозамкнутого витка.

3.6. Расчётное начальное значение взаимной индуктивности обмоток основного контура и к.з.к.

Выражения для определения расчётных значений взаимных индуктивностей короткозамкнутых витков равны:

$$M_{12} = \frac{W^2 \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{пол}}}{\delta_{1\Sigma} \cdot \mu_{\text{ст}} + \frac{l}{0,5}} = \frac{1100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 350 + \frac{0,187}{0,5}} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.15)$$

$$M_{21} = \frac{W^2 \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{пол}}}{\delta_{2\Sigma} \cdot \mu_{\text{ст}} + \frac{l}{0,5}} = \frac{1100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{3,1 \cdot 10^{-3} \cdot 350 + \frac{0,187}{0,5}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.16)$$

3.7. Механический контур модуля ВСМА

Схема замещения механического приведена на рисунке 3.2, где J – общий момент инерции всех подвижных частей, q – жесткость упругого элемента, M_e – момент силы всех подвижных частей, R – механическое сопротивление.

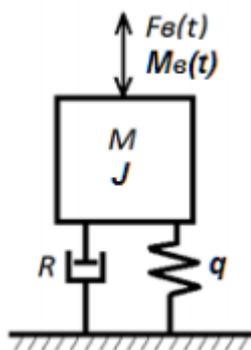


Рисунок 3.2 – Расчётная схема механической части модуля ВСМА

Масса специальной вставки толщиной 8 мм для дополнительного магнита:

$$M_{\text{став}} = (B_2 + 0,01) \cdot (H_3 + 0,015) \cdot 0,008 \text{ м} \cdot \rho = 0,009 \cdot 0,035 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 0,19 \text{ кг}$$

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

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + R_{\text{мех}} \frac{dx(t)}{dt} + qx(t) = F_{\text{в}}(t), \quad (3.17)$$

где: M – общая масса всех подвижных частей колебательной системы;
 $R_{\text{мех}}$ – коэффициент механических потерь на вязкое трение;
 q – жёсткость пружинного подвеса;
 x – смещение активатора.
 $F_{\text{в}}(t)$ – возмущающая сила.

Значение коэффициента потерь на вязкое трение при колебательном движении активатора на стадии проектирования устройства ВСМА можно определить по выражению:

$$R_{\text{мех}} = \sqrt{2 \cdot M^2 \cdot (\omega_{\text{ож}}^2 - \omega_{\text{рж}}^2)}, \quad (3.18)$$

где: $\omega_{\text{рж}}$ – угловая частота собственных колебаний активатора в жидкости.

$$\omega_{\text{рж}} = \omega_{\text{ож}} - \Delta\omega, \quad (3.19)$$

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

3.8. Уравнения для электрических контуров

Уравнение основного электрического контура имеет следующий вид:

$$U_m \sin\omega t = i_o \cdot R_k + \frac{d\psi_{\Sigma}}{dt}, \quad (3.20)$$

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

i_o – ток, протекающий в основном контуре;

R_k – активное сопротивление основного контура;

U_m – амплитуда питающего напряжения;

ω – угловая частота питающего напряжения

ψ_{Σ} – суммарное потокосцепление, имеет вид

$$\psi_{\Sigma} = \psi_1 + \psi_2, \quad (3.21)$$

где: ψ_1 – суммарное потокосцепление катушки $L1$, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями, как:

$$\psi_1 = \psi_{\text{соб.инд1}} + \psi_{\text{в.инд1}} + \psi_{\text{в.инд.К1}}, \quad (3.22)$$

ГДЕ: $\psi_{\text{соб.инд1}} = i_k \cdot L_1$ – собственное потокосцепление катушки $L1$;
 $\psi_{\text{в.инд1}} = i_k \cdot M_{12}$ – потокосцепление катушки $L1$ с катушкой $L2$;
 $\psi_{\text{в.инд.К1}} = i_{\text{кз}} \cdot M_{1\text{кз1}}$ – потокосцепление с короткозамкнутым контуром.

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

$$\psi_2 = \psi_{\text{соб.инд2}} + \psi_{\text{в.инд2}} + \psi_{\text{в.инд.К2}}, \quad (3.23)$$

ГДЕ: $\psi_{\text{соб.инд2}} = i_k \cdot L_2$ – собственное потокосцепление катушки $L1$;
 $\psi_{\text{в.инд2}} = i_k \cdot M_{12}$ – потокосцепление катушки $L1$ с катушкой $L2$;
 $\psi_{\text{в.инд.К2}} = i_{\text{кз}} \cdot M_{1\text{кз2}}$ – взаимное потокосцепление с короткозамкнутым контуром.

Отсюда

$$U_m \sin \omega t = i_o \cdot R_K + \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt}, \quad (3.24)$$

ГДЕ: потокосцепление ψ_1, ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\psi_1}{dt} = \frac{\psi_{\text{соб.инд1}}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд1}}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд.К1}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_1}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1\text{кз1}}}{dt} \quad (3.25)$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = \frac{\psi_{\text{соб.инд2}}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд2}}}{dt} + \frac{\psi_{\text{в.инд.К2}}}{dt} = \frac{i_k \cdot L_2}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_k \cdot M_{1\text{кз2}}}{dt} \quad (3.26)$$

Используя выражение получается общая расчетную формулу:

$$U_m \sin \omega t = i_o \cdot R_K + i_k \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз1}}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз2}}}{dt} \right) + \frac{di_k}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\text{кз1}} + M_{1\text{кз2}}); \quad (3.27)$$

Упростим и сгруппируем однородные члены для составления уравнения основного контура:

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{U_m \sin(\omega t) - i_k \cdot R_K}{L_1 + L_2 + M_{12} + \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз1}}}{dt} + \frac{M_{1\text{кз2}}}{dt}} \quad (3.28)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура:

$$0 = i_{кз} \cdot R_{кз} + \frac{d\psi_{кз}}{dt}, \quad (3.29)$$

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

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

$$\frac{i_{кз}}{dt} = \frac{-i_{кз} \cdot R_{кз} - i_{кз} \cdot \left(\frac{L_{кз}}{dt} + \frac{M_{кз1кз2}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right)}{L_{кз}} \quad (3.30)$$

Уравнение для дополнительного электромагнита имеет аналогичный вид, по отношению к модулю ВСМА отличается лишь численными значениями составляющих уравнений. Поэтому для упрощения задаются аналогичные имена параметров с индексом 2.

3.9. Система дифференциальных уравнений модуля виброобработки

Для решения системы уравнений, состоящей из уравнений механического и электрических контуров, необходимо преобразовать ее в удобный вид, для решения численными методами.

В результате преобразований уравнений составляется система дифференциальных уравнений, состоящая из уравнений равновесия напряжений основного и короткозамкнутых контуров модуля ВСМА и электромагнита, механического контура, представленного двумя уравнениями.

Уравнения в системе должны быть представлены относительно определения неизвестных величин. Неизвестными величинами в системе уравнений являются ток в основной цепи, ток в короткозамкнутом контуре и угол колебаний коромысла активатора. Допущения, которые могут быть использованы при решении системы дифференциальных уравнений, связаны

в основном с тем, что при наличии достаточно больших воздушных зазоров, магнитная цепь модуля ВСМА является не насыщенной. Кроме этого взаимоиנדуктивностями короткозамкнутых витков в связи с их малостями можно пренебречь. В общем случае с учётом указанных обстоятельств система дифференциальных уравнений для модуля ВСМА с линейным перемещением активатора имеет вид, представленный в (3.33).

$$F11(t, I1, I1_k, x, y) := \frac{\left[E(t) - 2I1 \cdot \left(Rk1 + LL1(x, I1) \cdot y + MM1_{12}(x, I1) \cdot y - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)}{L1_{\hat{e}\zeta}(x, I1)} \cdot MM1_k(x, I1) \cdot y \right) \right] - 2 \cdot I1_k \cdot \left[MM1_k(x, I1) \cdot y - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)}{L1_{\hat{e}\zeta}(x, I1)} (R1_{\hat{e}\zeta} + LL1k(x, t) \cdot y) \right]}{2 \left(L1_{\hat{i}a}(x, I1) + M1_{12}(x, I1) - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)^2}{L1_{\hat{e}\zeta}(x, I1)} \right)}$$

$$F21(t, I2, I2_k, x, y) := \frac{\left[E(t) - 2I2 \cdot \left(Rk2 + LL2(x, I2) \cdot y + MM2_{12}(x, I2) \cdot y - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)}{L2_{\hat{e}\zeta}(x, I2)} \cdot MM2_k(x, I2) \cdot y \right) \right] - 2 \cdot I2_k \cdot \left[MM2_k(x, I2) \cdot y - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)}{L2_{\hat{e}\zeta}(x, I2)} (R2_{\hat{e}\zeta} + LL2k(x, t) \cdot y) \right]}{2 \left(L1_{\hat{i}a}(x, I2) + M1_{12}(x, I2) - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)^2}{L2_{\hat{e}\zeta}(x, I2)} \right)}$$

$$F12(t, I1, I1_k, x, y) := \frac{-I1_k \cdot \left[(R1_{\hat{e}\zeta} + LL1k(x, t) \cdot y) - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)}{L1_{\hat{i}a}(x, I1) + M1_{12}(x, I1)} \cdot MM1_k(x, I1) \cdot y \right] - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)}{(L1_{\hat{i}a}(x, I1) + M1_{12}(x, I1))} \cdot E(t) - I1 \cdot \left[M1_{\hat{e}12}(x, I1) \cdot y - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, I1)}{L1_{\hat{i}a}(x, I1) + M1_{12}(x, I1)} \cdot (Rk1 + LL1(x, I1) \cdot y + MM1_{12}(x, I1) \cdot y) \right]}{L1_{\hat{e}\zeta}(x, I1) - \frac{M1_{\hat{e}12}(x, t)^2}{L1_{\hat{i}a}(x, I1) + M1_{12}(x, I1)}} \quad (3.31)$$

$$F22(t, I2, I2_k, x, y) := \frac{-I2_k \cdot \left[(R2_{\hat{e}\zeta} + LL2k(x, t) \cdot y) - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)}{L2_{\hat{i}a}(x, I2) + M2_{12}(x, I2)} \cdot MM2_k(x, I2) \cdot y \right] - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)}{(L2_{\hat{i}a}(x, I2) + M2_{12}(x, I2))} \cdot E(t) - I2 \cdot \left[M2_{\hat{e}12}(x, I2) \cdot y - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, I2)}{L2_{\hat{i}a}(x, I2) + M2_{12}(x, I2)} \cdot (Rk2 + LL2(x, I2) \cdot y + MM2_{12}(x, I2) \cdot y) \right]}{L2_{\hat{e}\zeta}(x, I2) - \frac{M2_{\hat{e}12}(x, t)^2}{L2_{\hat{i}a}(x, I2) + M2_{12}(x, I2)}}$$

$$F3(t, I1, I1_k, I2, I2_k, x, y) := \frac{F_{\hat{y}i}(t, I1, I1_k, I2, I2_k, x) - Rm(t, y) \cdot y - q(x) \cdot x}{M_a + M_{i\delta}}$$

$$F4(t, I1, I1_k, I2, I2_k, x, y) := y$$

3.10. Алгоритм расчета системы дифференциальных уравнений

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

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

$$K(t, l, l_k, x, y) = \frac{k1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k3(t, l, l_k, x, y) + k4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.32)$$

$$M(t, l, l_k, x, y) = \frac{m1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m3(t, l, l_k, x, y) + m4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.33)$$

$$B(t, l, l_k, x, y) = \frac{b1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot b2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot b3(t, l, l_k, x, y) + b4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.34)$$

$$P(t, l, l_k, x, y) = \frac{p1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot p2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot p3(t, l, l_k, x, y) + p4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.35)$$

$$S(t, l, l_k, x, y) = \frac{s1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s3(t, l, l_k, x, y) + s4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.36)$$

$$C(t, l, l_k, x, y) = \frac{c1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c3(t, l, l_k, x, y) + c4(t, l, l_k, x, y)}{6} \quad (3.37)$$

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

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ I_1 \\ I_{k_0} \\ I_2 \\ I_{k_0} \\ y_0 \\ x_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_{i+1} \\ I_{i+1} \\ I_{k_{i+1}} \\ I_{2_{i+1}} \\ I_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if}(I_1 + K(t_i, I_1, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, I_1 + K(t_i, I_1, I_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ I_{k_i} + M(t_i, I_1, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if}(I_2 + B(t_i, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, I_2 + B(t_i, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ I_{k_i} + P(t_i, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, I_1, I_{k_i}, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if}(x_i + C(t_i, I_1, I_{k_i}, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq \delta_0, \delta_0, x_i + C(t_i, I_1, I_{k_i}, I_2, I_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$

Первый ряд матрицы задаёт время расчёта с определённым шагом $t_i + h$. Второй ряд матрицы, рассчитывает ток I_i в основном контуре, учитывает наличие диода, третий ряд учитывает ток I_{k_i} в короткозамкнутом витке, четвертый ряд учитывает скорость движения активатора, пятый ряд учитывает смещение активатора относительно средней точки.

4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Для того, чтобы произвести анализ работы установки, необходимо получить данные о работе с несколькими типами жидкостей в разный период времени года.

Для начала уточним величину начального зазора между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА, обеспечивающего максимальную производительность активации при ограничениях тока в обмотках электромагнита модуля ВСМА.

4.1. Анализ работы электроустановки активации жидкой нефти

Проанализируем работу активатора в различных режимах работы при обработке различных жидкостей. В ходе анализа должно соблюдаться постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f = const$, установка имеет резонансный принцип работы, поэтому необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения.

Для жидкости малой вязкости принимается значение плотности $\rho_{жм} = 730$ кг/м³, значение механического сопротивления равным $R_{мех} = 5$ кг/с.

В первую очередь необходимо определить резонансную частоту для работы с маловязкими жидкостями $R_{мех} = 5$ кг/с. Для этого в математической модели задаёмся изменяемой частотой питающего напряжения с шагом 5 Гц. Общий диапазон изменения частоты выбираем от 40 до 70 Гц. Для каждого значения частоты рассчитываем амплитуду колебаний активатора, ток в обмотках и производительность активации. Расчётные данные заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Определение резонансной частоты при $R_{мех} = 5$ кг/с

f , Гц	40	45	50	55	60	65	70
U , В	176	198	220	242	264	286	308
I_d , А	1,03	1,65	1,82	1,95	2,1	1,89	1,85
x , мм	2,804	3,265	3,895	4,352	4,615	3,251	2,885
V , м ³ /час	4,72	7,05	8,38	9,23	9,94	10,43	9,33

Из данной таблицы можно увидеть, что резонанс достигается при частоте 60 Гц. Для найденной резонансной частоты необходимо определить точно оптимальный начальный зазор при контроле величины допустимого тока, равного не более 2,42 А. Для этого в математической модели задаёмся изменяемой величиной воздушного зазора с шагом 0,001 м от 0,003 до 0,009 м. Расчётные данные заносим в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Определение оптимальной величины воздушного зазора

$\delta_{l\Sigma}$, м	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
U , В	264	264	264	264	264	264	264
I_d , А	1,49	1,68	1,87	2,04	1,81	1,78	1,55
x , мм	2,761	3,152	3,554	4,15	3,237	2,971	2,703
V , м ³ /час	7,57	8,81	8,91	10,3	6,65	5,1	5,05

Так как ток в основной обмотке не должен превышать 2,42 А, значит наиболее результативной величиной воздушного зазора $\delta_{l\Sigma} = 0,006$ м. На рисунках 4.1 и 4.2 представлены частотные характеристики для жидких сред малой вязкости в зависимости от частоты питающего напряжения и величиной воздушного зазора.

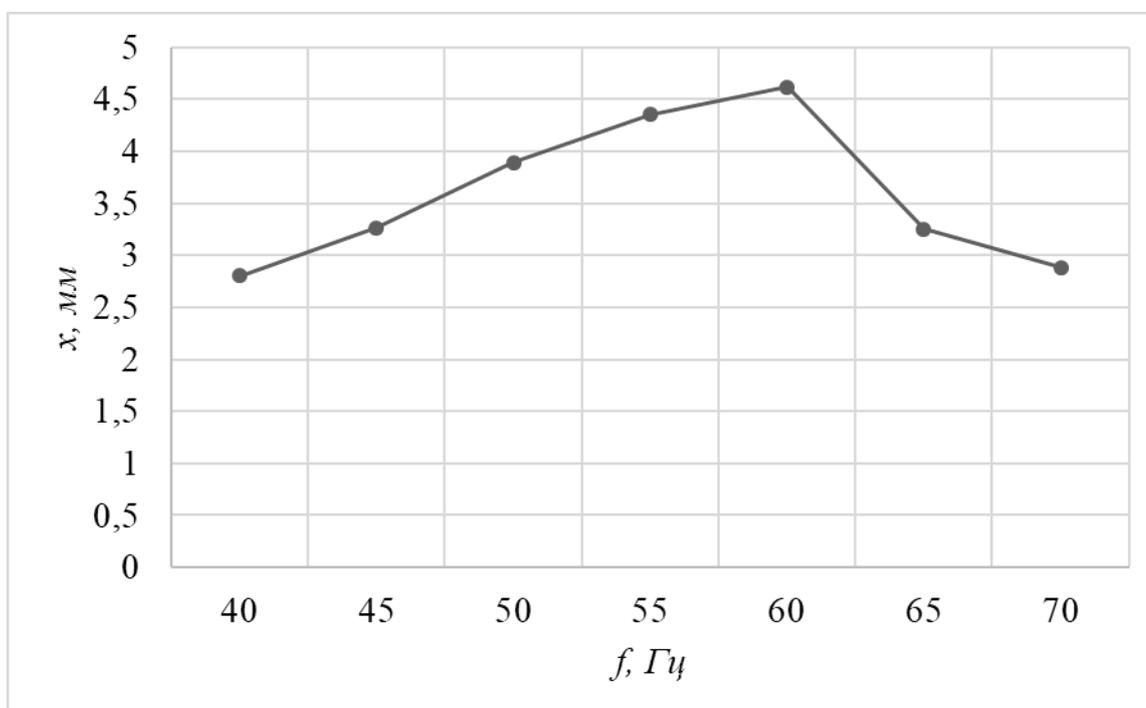


Рисунок 4.1 – Зависимость амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $\delta_{l\Sigma} = 0,006$ м.

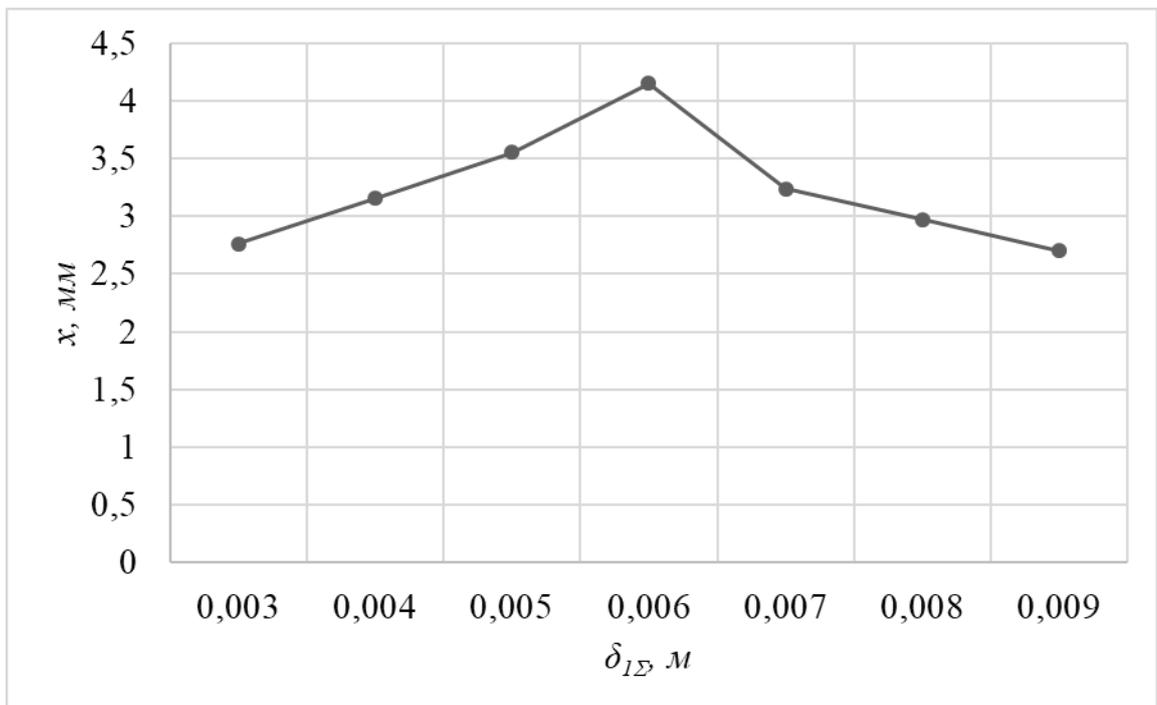
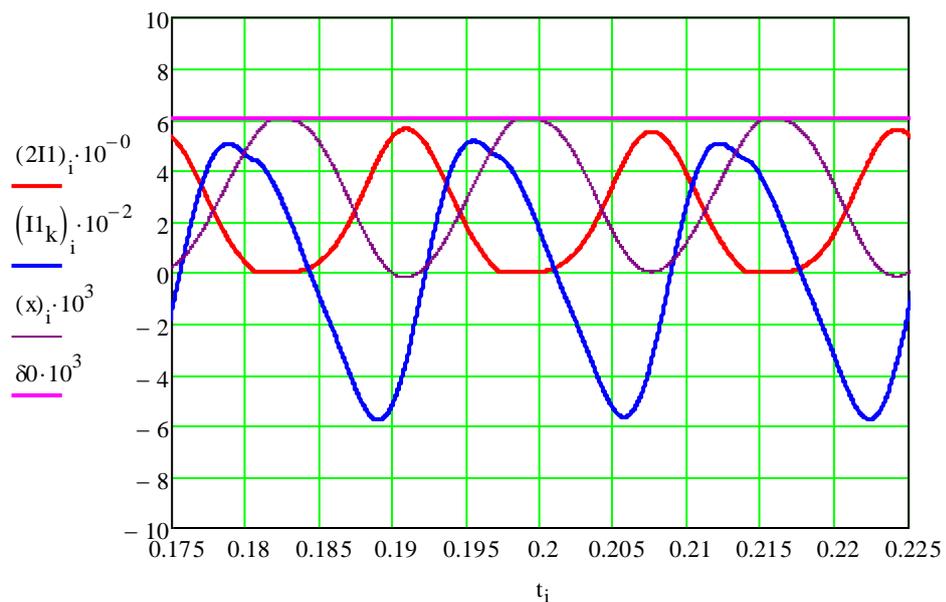
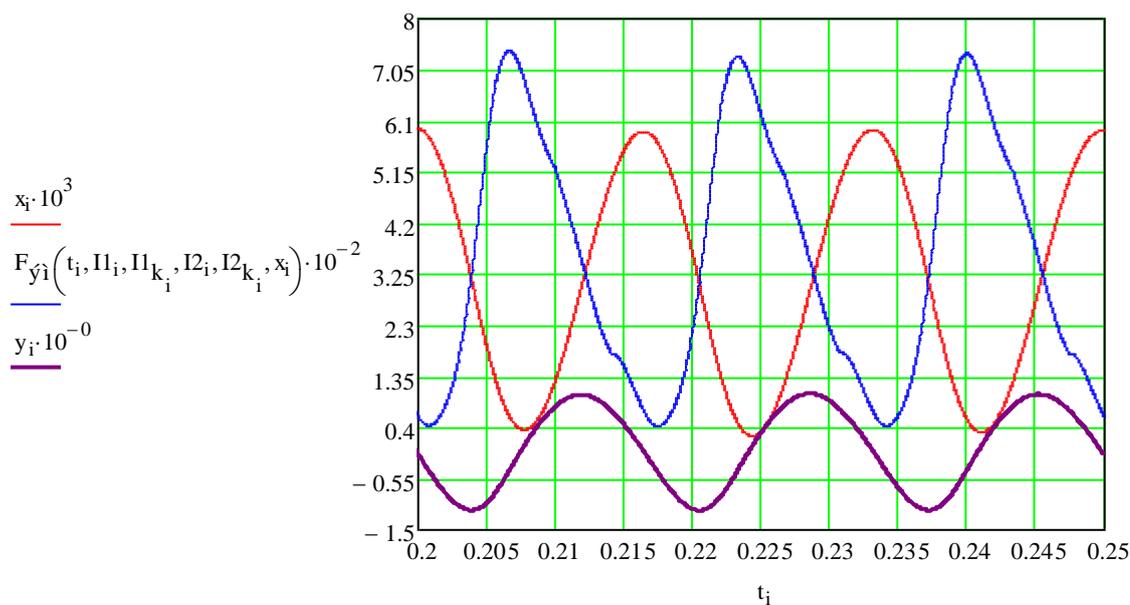


Рисунок 4.2 – Зависимость амплитуды колебаний от величины воздушного зазора при $f = 60$ Гц

На рисунке 4.3 (а, б) приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: угла колебаний, электромагнитная сила притяжения и ток в основной цепи в зависимости от времени при частоте работы активатора $f = 60$ Гц и величине воздушного зазора. $\delta_{LZ} = 0,006$ м.



а



б

Рисунок 4.3 (а, б) – Характерные зависимости основных параметров лабораторной установки

Выводы:

Из характеристики видно, что резонанс работы лабораторной установки при обработке ЖС с малой вязкостью и плотностью до 800 кг/м³ наблюдается на частотах близких к $f = 60$ Гц, и оптимальная величина воздушного зазора. $\delta_{l\Sigma} = 0,006$ м.

Амплитуда колебаний активатора при этом составляет 4,15 мм, что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации 10,3 м³/час.

4.2. Анализ работы электроустановки активации нефти средней вязкости

Аналогично с жидкостью малой вязкости, анализируется работа с жидкостями, когда в ней образовалось достаточное количество донных отложений в условиях низких температур.

Для вязкой нефти принимается значение плотности $\rho_{жм} = 800$ кг/м³, значение механического сопротивления равным $R_{тм} = 50$ кг/с.

В математической модели задаётся изменяемой частотой питающего напряжения с шагом 5 Гц. Общий диапазон изменения частоты выбираем от 40 до 70 Гц. Для каждого значения частоты рассчитываем амплитуду колебаний активатора, ток в обмотках и производительность активации. Расчётные данные заносим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Определение резонансной частоты при $R_{max} = 50$ кг/с

f , Гц	40	45	50	55	60	65	70
U , В	176	198	220	242	264	286	308
I_d , А	2,01	1,96	2,16	2,58	1,78	1,69	1,62
x , мм	2,15	2,365	2,545	2,835	2,463	2,241	2,112
V , м ³ /час	4,27	6,71	7,57	8,24	8,13	6,38	3,65

Из данной таблицы можно увидеть, что резонанс достигается при частоте 50 Гц. Для найденной резонансной частоты необходимо определить точно оптимальный начальный зазор при контроле величины допустимого тока, равного не более 2,45 А. Для этого в математической модели задаётся изменяемой величиной воздушного зазора с шагом 0,001 м от 0,003 до 0,009 м.

Расчётные данные заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Определение оптимальной величины воздушного зазора

$\delta_{l\Sigma}$, м	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
U , В	198	198	198	198	198	198	198
I_d , А	1,96	2,06	2,08	2,12	1,96	1,89	1,81
x , мм	2,326	2,355	2,585	2,585	2,485	2,354	2,211
V , м ³ /час	6,31	7,57	8,81	8,91	7,3	6,65	5,1

Наиболее результативной величиной воздушного зазора $\delta_{l\Sigma} = 0,006$ м. На рисунках 4.3 и 4.4 представлены частотные характеристики для жидких сред малой вязкости в зависимости от частоты питающего напряжения и величиной воздушного зазора.

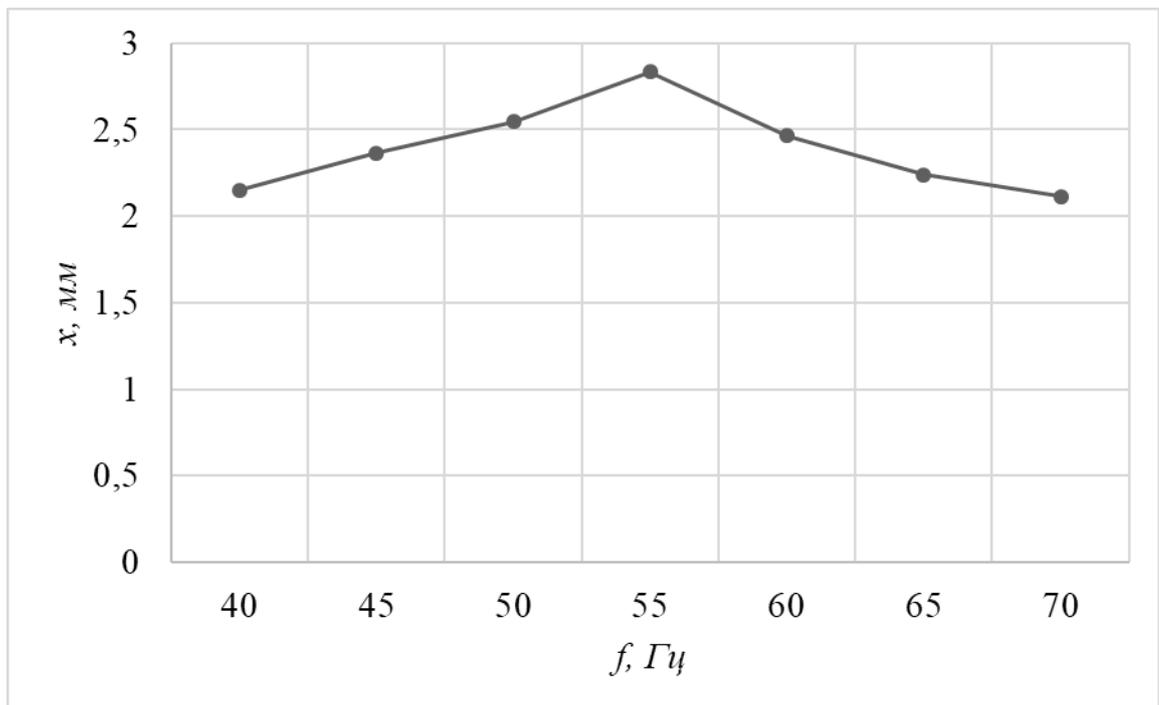


Рисунок 4.4 – Зависимость амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $\delta_{I\Sigma} = 0,006$ м.

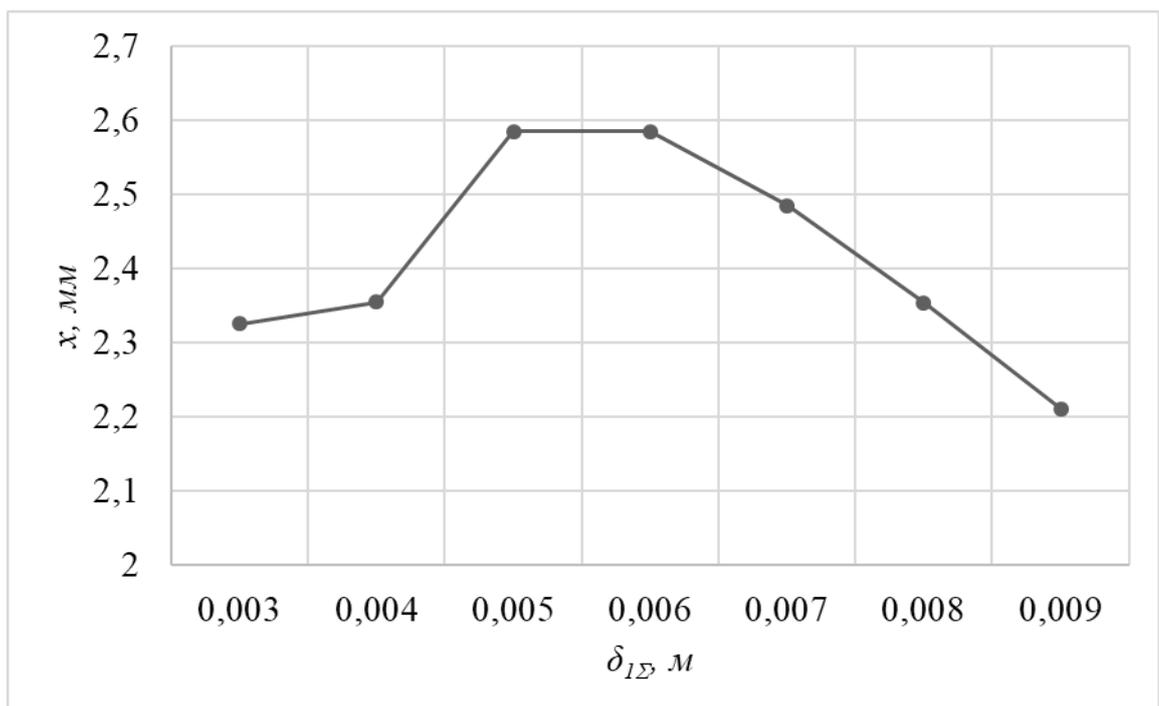
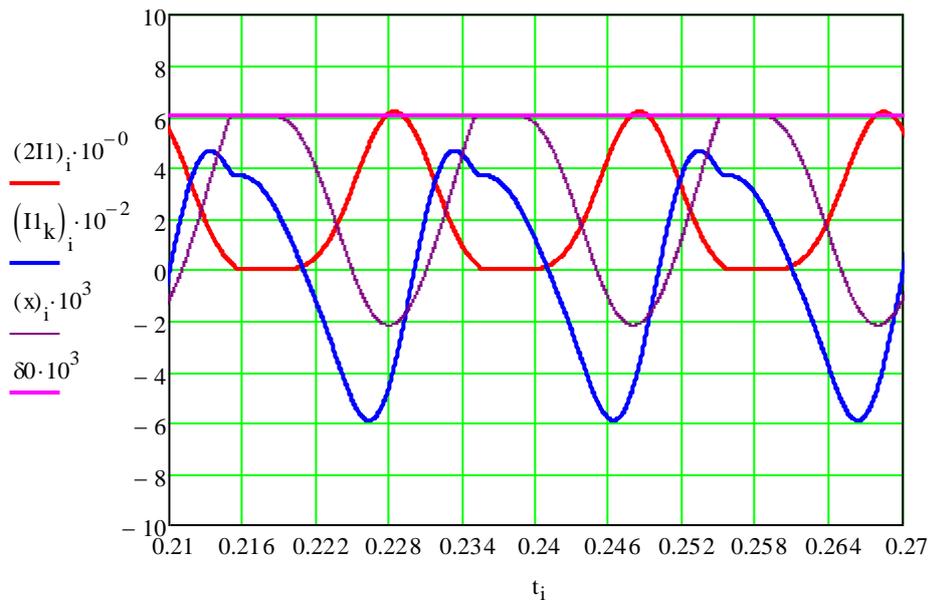
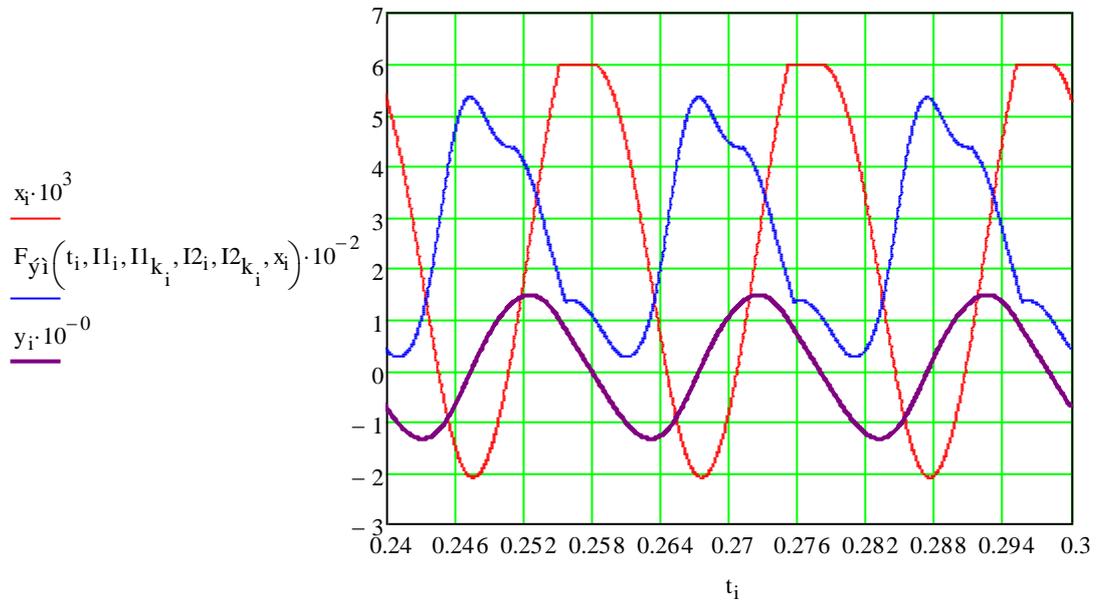


Рисунок 4.5 – Зависимость амплитуды колебаний от величины воздушного зазора при $f = 55$ Гц

На рисунке 4.6 (а, б) приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: угла колебаний, электромагнитная сила притяжения и ток в основной цепи в зависимости от времени при частоте работы активатора $f = 50$ Гц и величине воздушного зазора. $\delta_{I\Sigma} = 0,006$ м.



а



б

Рисунок 4.6 (а, б) – Характерные зависимости основных параметров лабораторной установки

Выводы:

Из характеристики видно, что резонанс работы лабораторной установки при обработке вязких ЖС с плотностью 800 кг/м^3 и выше наблюдается на частотах близких к $f = 50 \text{ Гц}$ и оптимальной величиной воздушного зазора. $\delta_{1\Sigma} = 0,006 \text{ м}$, что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации $8,91 \text{ м}^3/\text{час}$.

4.3. Анализ работы электроустановки активации загустевшей нефти

Анализируется работу с жидкостью, когда в ней образовалось достаточное количество донных отложений в условиях низких температур.

Для вязкой нефти принимается значение плотности $\rho_{жм} = 1040 \text{ кг/м}^3$, значение механического сопротивления равным $R_{тм} = 100 \text{ кг/с}$.

В математической модели задаётся изменяемой частотой питающего напряжения с шагом 5 Гц. Общий диапазон изменения частоты выбираем от 40 до 70 Гц. Для каждого значения частоты рассчитываем амплитуду колебаний активатора, ток в обмотках и производительность активации. Расчётные данные заносим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Определение резонансной частоты при $R_{мех} = 100 \text{ кг/с}$

f , Гц	40	45	50	55	60	65	70
U , В	176	198	220	242	264	286	308
I_d , А	2,22	2,31	2,38	2,45	2,48	2,49	2,49
x , мм	2,45	2,535	2,445	2,363	2,321	2,265	2,112
V , м ³ /час	1,05	1,17	1,09	0,85	0,69	0,58	0,47

Из данной таблицы можно увидеть, что резонанс достигается при частоте 45 Гц. Для найденной резонансной частоты необходимо определить точно оптимальный начальный зазор при контроле величины допустимого тока, равного 2,45 А. Для этого в математической модели задаётся изменяемой величиной воздушного зазора с шагом 0,001 м от 0,003 до 0,009 м.

Расчётные данные заносим в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Определение оптимальной величины воздушного зазора

$\delta_{I\Sigma}$, м	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
U , В	198	198	198	198	198	198	198
I_d , А	2	2,15	2,18	2,44	2,58	2,71	2,85
x , мм	2,216	2,245	2,385	2,41	2,385	2,354	2,211
V , м ³ /час	4,14	4,65	5,45	5,17	4,75	4,5	4,36

Наиболее результативной величиной воздушного зазора $\delta_{I\Sigma} = 0,005 \text{ м}$. На рисунках 4.5 и 4.6 представлены частотные характеристики для жидких сред

малой вязкости в зависимости от частоты питающего напряжения и величины воздушного зазора.

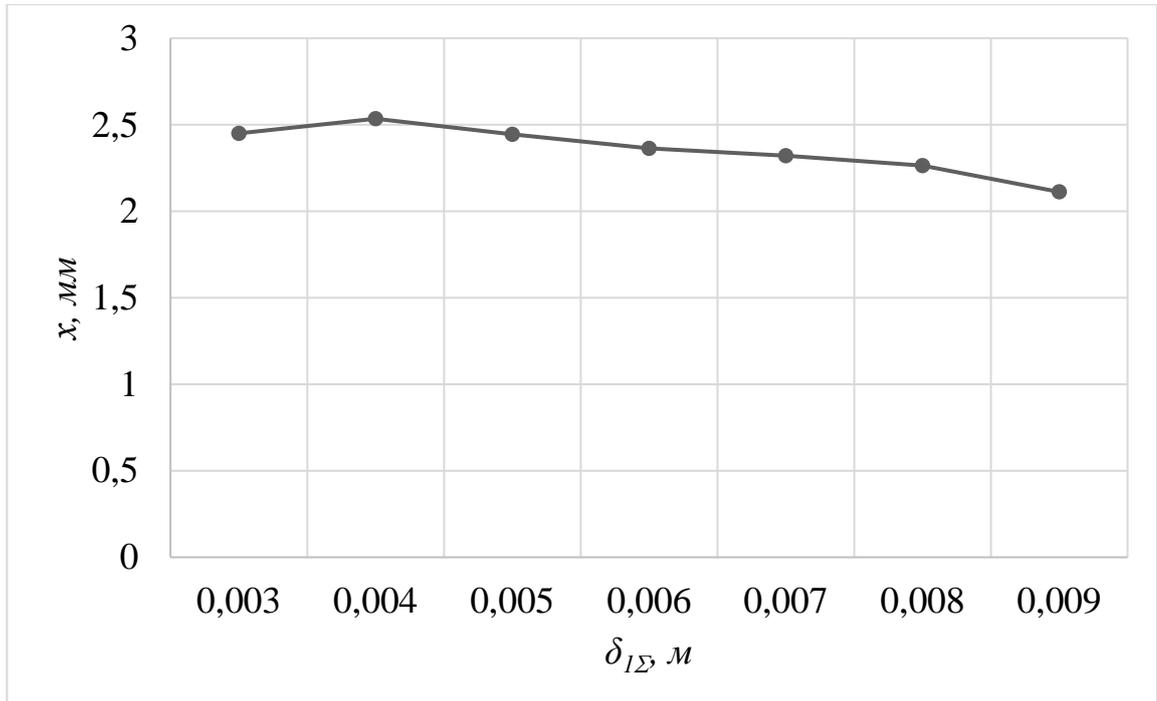


Рисунок 4.7 – Зависимость амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $\delta_{I\Sigma} = 0,006$ м.

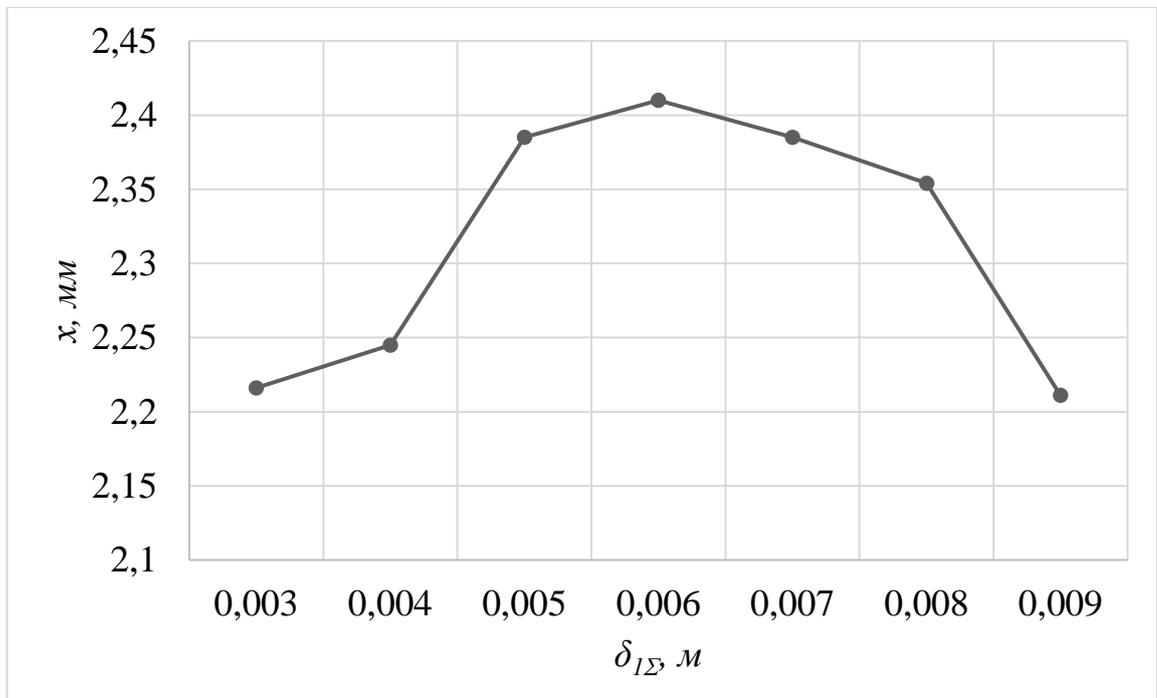
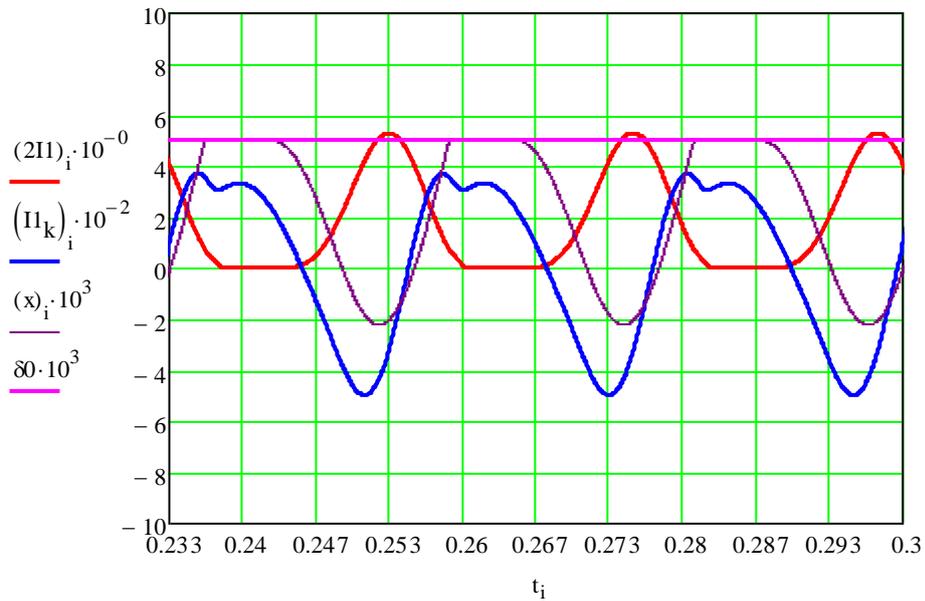


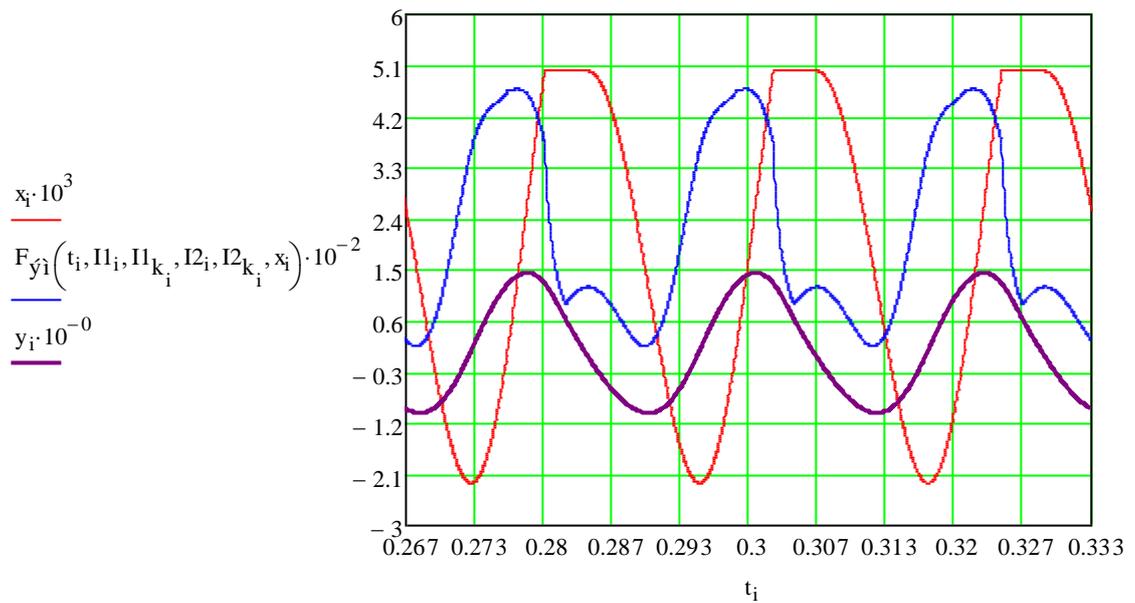
Рисунок 4.8 – Зависимость амплитуды колебаний от величины воздушного зазора при $f = 55$ Гц

На рисунке 4.9 (а, б) приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: угла колебаний, электромагнитная сила притяжения и ток

в основной цепи в зависимости от времени при частоте работы активатора $f = 45$ Гц и величине воздушного зазора. $\delta_{I\Sigma} = 0,005$ м.



а



б

Рисунок 4.9 (а, б) – Характерные зависимости основных параметров лабораторной установки

Выводы:

Из характеристики видно, что резонанс работы лабораторной установки при обработке вязких ЖС с плотностью более 800 кг/м^3 наблюдается на частотах близких к $f = 45$ Гц и оптимальной величиной воздушного зазора. $\delta_{I\Sigma} = 0,005$ м,

что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации 5,45 м³/час.

При помощи проведенного анализа были получены рекомендации по параметрам работы лабораторной установки исследования разжижения высоковязких нефтепродуктов.

При различных плотностях и вязкости жидкостей диапазон изменения резонансных частот находится в пределах от 45 до 60 Гц. Напряжение установки находится в диапазоне от 198 до 264 В.

5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

В схеме подключения лабораторной установки основными элементами являются: блок питания (диод, автоматический выключатель), виброактиватор, преобразователь частоты. На рисунке 5.1 изображена схема подключения лабораторной установки к сети:

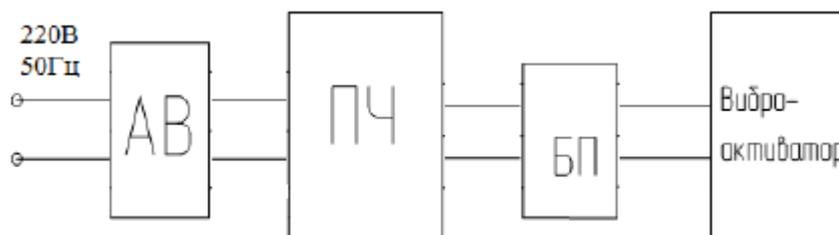


Рисунок 5.1 – Схема подключения виброактиватора

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.

Из расчетов, представленных выше, установлено, что полный вариант устройства состоит из 6 модулей ВСМА. В каждом МВО подключено по 2 магнитопровода.

В таблице 5.1 представлены данные для выбора преобразователя

Диапазон регулирования частот, Гц	от 30 до 70
Номинальное напряжение сети, В	$U = 220$
Ток фазы, А	$I_{\text{полный}} = 2 \cdot I_{\text{max}} \cdot k_3 = 2 \cdot 2,18 \cdot 1,2 = 5,3$ $I_{\text{общий}} = 6 \cdot I_{\text{полный}} = 6 \cdot 5,3 = 31,8$ I_{max} – максимальный ток в катушке; k_3 – коэффициент запаса (1,2);

5.1. Выбор преобразовательного устройства для системы

Преобразователь частоты подключен к сети с нерегулируемыми параметрами напряжения, а на выходе позволяет получать регулируемые параметры напряжения, в зависимости от задания. По исходным данным из таблицы 5.1 выбирается преобразователь частоты фирмы Erman серия ER-02T-220 [7].



Рисунок 5.2 – Преобразователь частоты ER-02T-220.

Частотный преобразователь ER-02T-220 9 кВт 220 В однофазный универсальный, предназначен для регулирования оборотов электродвигателей, диапазон мощности 9 кВт с полным векторным управлением. Отлично подходит для насосного и вентиляторного оборудования, а также другой промышленной техники (дробилки, центрифуги, транспортеры и т.д.).

Преимущества использования:

- встроенный блок регенеративного торможения (тормозной резистор является дополнительной опцией);
- отображение состояния каждой фазы;
- большое число функций дисплея частотного преобразователя;
- варьирование скорости - менее 1% на номинальной скорости;
- работа с ускорением в течение 1 сек. достигается после применения 150% нагрузки;
- улучшенные характеристики управления при низких скоростях.

В таблице 5.2 представлены данные выбранного преобразователя частоты.

Таблица 5.2 – Паспортные данные преобразователя частоты

Входные параметры	
Входное напряжение	1-фаза 220В
Частота	50/60 Гц $\pm 5\%$
Выходные параметры	
Мощность легкая/тяжелая нагрузка	9 кВт
Номинальный выходной ток	32 А
Точность частоты	Аналоговое: В пределах 0,1% от максимальной выходной частоты; Цифровое: В пределах 0,01% от максимальной выходной частоты
Режим управления	Управление по характеристике U/f , бессенсорное управление
Диапазон управления по частоте	от 0,1 до 400 Гц
Пусковой момент	1 Гц / 150% бессенсорное векторное управление
Кривая U/f	линейная, квадратичная, задаваемая по нескольким точкам
Сервисные функции	
Автоматическая регулировка напряжения (AVR)	Автоматическое поддержание постоянного выходного напряжения при изменении напряжения питания
Защита от перегрузки по напряжению	Есть
Защита от провала напряжения	Есть
Другие функции защиты	Защита от перегрева, перегрузки по току, обнаружение потери фазы

5.2. Выбор аппаратуры управления и защиты

5.2.1. Аппаратура управления

Управление лабораторной установкой, а именно МВО осуществляется в ручном режиме, посредством изменения напряжения и частоты входного тока, при помощи преобразователя частоты.

5.2.2. Аппаратура защиты

Преобразователь частоты уже оснащен различными защитными функциями, поэтому из элементов защиты добавим только автоматический

выключатель, который будет защищать электрическую схему от токов короткого замыкания.

Для отдельного электроприемника:

$$I_{н.расц.} \geq I_{ном \text{ ЭП}} = 31,8 \text{ А}$$

$$I_{уст} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 5 \cdot 2,38 = 14,28 \text{ А}$$

Выбирается автоматический выключатель типа ВА25-29 [22].

Автоматические выключатели ВА25-29 предназначены для защиты электрических цепей переменного тока напряжением до 380 В и электроустановок от токов короткого замыкания и токов перегрузки, преимущества:

- высокая отключающая способность – 16 кА;
- цветовая индикация состояния контактных групп;
- возможность маркировки электрических цепей;
- удобный способ крепления на DIN-рейку, позволяющий быструю замену;
- возможность монтажа дополнительных устройств (блок-контакт, независимый расцепитель);
- возможность пломбирования рычагов выключателя как во включенном, так и на выключенном положении.

5.3. Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети

Выбор сечений для питающей линии в распределительных сетях до 1000 В производится по длительно допустимой нагрузке:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{ном}}{k_{прок}} = \frac{31,8}{1} = 31,8 \text{ А}$$

$$I_{доп} \geq k_3 \frac{I_{н.расц.}}{k_{прок}} = 1 \cdot \frac{31,8}{1} = 31,8 \text{ А},$$

где: $k_3 = 1$ – коэффициент защиты, для сетей требующей защиты от перегрузки.

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

Выбор пал на трехжильный кабель ВВГ с сечением жилы $S = 4 \text{ мм}^2$ $I_{доп} = 38 \text{ А}$, который используется в сухих и влажных помещениях [8].

5.4. Выбор диода

Диод – полупроводниковый прибор с одним p - n -переходом и двумя выводами. В лабораторные установки будет использоваться выпрямительный диод.

Для выбора диода зададимся, что $I_{пр.мах} = I_n = 31,8 \text{ А}$, значение $U_{об.мах} \geq U_n$, исходя из этого условия выбираем диод типа VS-40EPS16-M3 с параметрами [10]:

- $U_{об.мах} = 1600 \text{ В}$.
- $I_{пр.мах} = 40 \text{ А}$.
- диапазон рабочих температур $-40...+150 \text{ }^\circ\text{C}$

В результате были определены все основные элементы электрической схемы лабораторной установки, которые позволят при исследованиях реологических свойств жидкостей, обеспечить функционирование установки во всех возможных диапазонах режимов работы.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

6.1. Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком для электроустановки активации жидкостных сред (виброструйного магнитного активатора – ВСМА) могут стать различные отрасли промышленности: энергетической, топливной, строительной, сельскохозяйственной и фармакологической отраслях. Карта сегментирования рынка показана в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования по сферам применения и типам активации

	Сферы применения		
	Энергетическая	Топливная	Строительная
Тепловое воздействие			
Воздействие давлением.			
Магнито-струйное воздействие			

Воздействие теплом или давлением очень энергозатратны, поэтому есть необходимость найти другой эффективный и менее энергозатратный. Применение полного комплекса физических воздействий позволяет достигнуть разрушения структуры молекулярных кристаллов и поддерживать этот уровень на протяжении определенного отрезка времени. Принцип ВСМА заключается в создании потока и прохождении его жидкости через зону активации.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки		Баллы	Конкурентоспособность

	Вес критерия	Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Быстродействие	0,12	3	3	4	0,36	0,36	0,48
2. Энергоэффективность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
3. Энергопотребление	0,08	4	5	3	0,32	0,4	0,24
4. Надежность	0,11	4	4	3	0,44	0,44	0,33
5. Безопасность	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,16	4	3	4	0,64	0,48	0,64
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	3	2	2	0,36	0,24	0,24
3. Наличие сертификации разработки	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
ИТОГО:	1	30	27	27	3,76	3,26	3,47

Оценочная карта показывает, что разработанный источник бесперебойного питания обладает высоким баллом для конкурентоспособности и превосходит в ряде нескольких критериев, для повышения балла необходимо получить сертификат разработки.

где: B_{ϕ}, B_{K1}, B_{K2} – балл показателя нашей разработки и конкуренто

$$K = \sum B_i \cdot B_i.$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Повышение безопасности производства С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Трудность монтажа оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
<p>Возможности: В1. Увеличение производительности электрооборудования В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления насосной станцией В3. Снижение таможенных пошлин на оборудование используемых в лабораторной установке В4. Появление более простых универсальных электрических систем внутривзаводской сети</p>	<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p>

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, что поможет выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 6.4. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	-	-	+	-
	B3	-	+	-	-	+
	B4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	-	-		
	B2	+	+	+		
B3	-	+	-			

	B4	-	-	-		
Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	+	+
	У4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	+	+	-		
	У2	-	-	+		
	У3	-	+	+		
	У4	-	-	+		

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 6.5.

Таблица 6.5– SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Повышение безопасности производства С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Трудность монтажа оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
<p>Возможности: В1. Увеличение производительности электрооборудования В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления насосной станцией В3. Снижение таможенных пошлин на оборудование используемых в лабораторной установке В4. Появление более простых универсальных электрических систем внутри заводской сети</p>	<p>Рост спроса возникает за счет увеличения энергоэффективности.</p>	<p>Сложность эксплуатации может усложнить процесс эксплуатации.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Введения дополнительных государственных требований к</p>	<p>Создание конкурентоспособного проекта.</p>	<p>Внедрение данного проекта сильно зависит от экономической ситуации.</p>

стандартизации и сертификации продукции		
---	--	--

6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 6.6).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 6.6 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно–технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно–технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2

6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ:	35	39

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_{\text{сум}}$ – балл по i -му показателю.

Перспективность средняя, следовательно, необходимо увеличивать объемы инвестирования и улучшать направления проведения оценки стоимости интеллектуальной стоимости, повышать уровень компетенций недостающих разработчику в данном вопросе и предусматривать возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно–технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный

коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Данный вид применим, т.к. источник бесперебойного питания создается по техническому заданию к конкретному потребителю.

6.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В таблице 6.7 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Проектирование лабораторной установки для изучения влияния технологии ВСМА на реологические свойства различных жидкостей, расчет режимов работы установки, а также разработка рекомендаций по регулированию режимов ей работы.
Ожидаемые результаты проекта:	Спроектирована лабораторная установка для изучения влияния технологии ВСМА на свойства жидкостей
Критерии приемки результата проекта:	Спроектирован вариант более энергозатратной системы активатора жидкостей
Требования	Сконструирован блок ваброобработки и установки.
	Произведен анализ режимов работы установки на математической модели с помощью среды Mathcad
	Выбраны элементы электропривода согласно расчетным значениям.

В таблице 6.8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 6.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1.	Данекер В. А., НИ ТПУ, доцент ИШЭ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	25
2.	Казаков И. О., магистрант ИШЭ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, проведение расчета, моделирования, анализ полученных результатов, написание работы	85
ИТОГО:				110

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованными в рамках данного проекта (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	316040
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	01.09.2021-31.05.2022
Дата утверждения плана управления проектом	14.03.2022
Дата завершения проекта	13.06.2022

6.3. Управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

6.3.1. Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 1 представлена иерархическая структура работ.

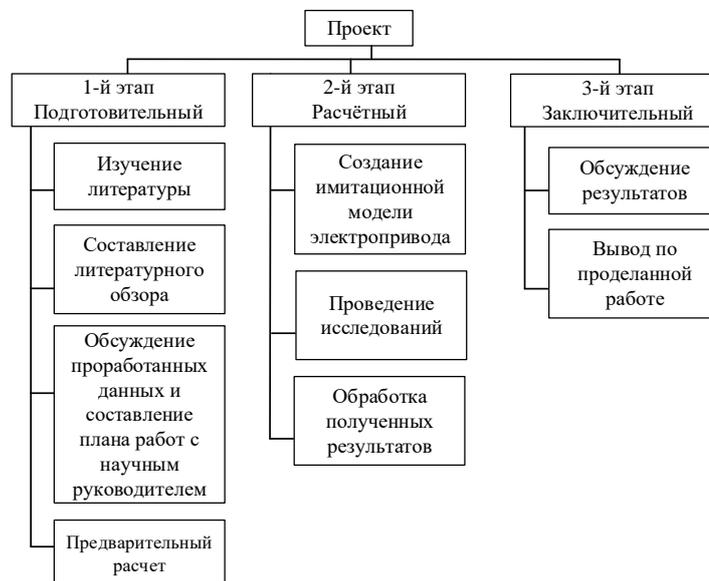


Рисунок 6.1 – Иерархическая структура работ

6.3.2. План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблицы 6.10 и 6.11).

Таблица 6.10– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Согласование технического задания	2	13.09.21	15.09.21	Руководитель
Изучение проектной документации, литературы	4	24.02.22	28.02.22	Исполнитель
Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	17	01.03.22	20.03.22	Исполнитель, Руководитель
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	35	21.03.22	27.04.22	Исполнитель, Руководитель
Проведение графических построений и обоснований (генплан завода и генплан цеха, разработка электрической схемы.)	7	28.04.22	13.05.22	Исполнитель, Руководитель
Оценка эффективности полученных результатов	5	14.05.22	21.05.22	Исполнитель, Руководитель
Выполнение отчета по работе	10	22.05.22	04.06.22	Исполнитель
Итого:	67			

Таблица 6.11 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Т _{кп} , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	4		■												
3	Проектирование системы внутризаводского ЭС	Исполнитель, Руководитель	17		■	■	■	■	■								
4	Проектирование системы внутрицехового ЭС	Исполнитель, Руководитель	35						■	■	■						
5	Проведение графических построений и обоснований	Исполнитель, Руководитель	7										■	■			
6	Оценка эффективности полученных результатов	Исполнитель, Руководитель	5											■	■		
7	Составление пояснительной записки	Исполнитель	10												■		
8	Проверка ВКР	Руководитель	67													■	

— Исполнитель ■

— руководитель ■

6.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- Специальное оборудование;
- Заработную плату исполнителей технического проекта;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

В настоящую смету включается основная и дополнительная заработные платы научных и инженерно-технических работников, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования и программного обеспечения необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 6.12).

Таблица 6.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	53 000,0	53 000,0
2	Программное обеспечение Microsoft Office	1	5 190,0	5 190,0
3	MathCad	1	7818	7818
Итого, руб.:				66008

6.4.1. Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 6.13.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату: $Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}$,

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

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

Величина расходов по основной заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок: $Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m + Z_d + Z_{рк}}{F_d},$$

где, Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

Z_d – доплата за руководство расчетного проектирования;

$Z_{рк}$ – доплата с учетом районного коэффициента $K_{рк}$;

$K_{рк}$ равный 1,3 (для Томска).

F_d – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Таблица 6.13 – Расчёт основной и дополнительной заработной платы

Исполнители	Z_m , руб	$Z_{доп}$, руб	$Z_{рк}$, руб	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб	$Z_{доп}$, руб	
Руководитель	47630	952,6	14574,78	63157,38	3336,4	25	83409,1	12511,37	
Исполнитель	14100		4230	18330	968,3	67	64876,4	9731,458	
ИТОГО								148285,5	22242,82

6.4.2. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$,

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), для Томского политехнического университета равный 30% + 0,2% учитывающие травматизм.

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 95920,5 = 28968 \text{ руб.}$$

6.4.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 80 % от суммы основной и дополнительной заработных плат.

6.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
Специальное оборудование	66008	16,42
Основная заработная плата	148285,5	36,89
Дополнительная заработная плата	22242,8	5,53
Отчисления во внебюджетные фонды	28968	7,21
Накладные расходы	136422,7	33,94
Бюджет затрат НИИ	401927	100

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 401927 руб., из которых 36,89% - заработная плата исполнителей.

6.5. Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 2.



Рисунок 6.2 – Проектная организационная структура проекта

6.5.1. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 6.15).

Таблица 6.15 – План управления коммуникациями

Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передается информацию
Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

6.5.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 6.17.

Таблица 6.17 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Неточность модели	2	4	Средний	Учет допущений	Особенность программ
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

6.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

6.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём

дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t \in 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 6.18. При расчете рентабельность проекта составляла 20-25 %, норма амортизации- 10 %.

Таблица 6.18 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	502408,7	502408,7	502408,7	502408,7
2	Итого приток, руб.	0	502408,7	502408,7	502408,7	502408,7
3	Инвестиционные издержки, руб.	401927	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35%от бюджета)	0	140674,4	140674,4	140674,4	140674,4
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	361734,3	361734,3	361734,3	361734,3
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	72346,9	72346,9	72346,9	72346,9
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	289387,4	289387,4	289387,4	289387,4
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-401927	329580,1	329580,1	329580,1	329580,1

	(чистая прибыль + амортизация)					
10	Коэффициент дисконтирования при $i=25\%$ (КД)	1	0,800	0,640	0,512	0,410
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-401927	263664,1	210931,3	168745,0	134996,0
12	Σ ЧДД	778336,4 руб.				
12	Итого NPV, руб.	376409,4 руб.				

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 376409,4 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 = 1,93$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или 10. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 6.19 и на рисунке 6.3.

Таблица 6.19 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-401927,0	329580,1	329580,11	329580,11	329580,11	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-401927,0	299588,3	272233,2	247514,7	225103,2	642512,4
	0,2	-401927,0	274540,2	228728,6	190497,3	158857,6	450696,8
	0,3	-401927,0	253447,1	195111,4	149959,0	115353,0	311943,6
	0,4	-401927,0	235320,2	168085,9	119967,2	85690,8	207137,1
	0,5	-401927,0	219829,9	146333,6	97226,1	65256,9	126719,5
	0,6	-401927,0	205987,6	128536,2	80417,5	50425,8	63440,2
	0,7	-401927,0	193793,1	110409,3	66904,8	36913,0	6093,2
	0,8	-401927,0	183246,5	101840,3	56358,2	31310,1	-29171,9
	0,9	-401927,0	173359,1	91293,7	48118,7	25377,7	-63777,8
	1,0	-401927,0	164790,1	82395,0	41197,5	20434,0	-93110,4

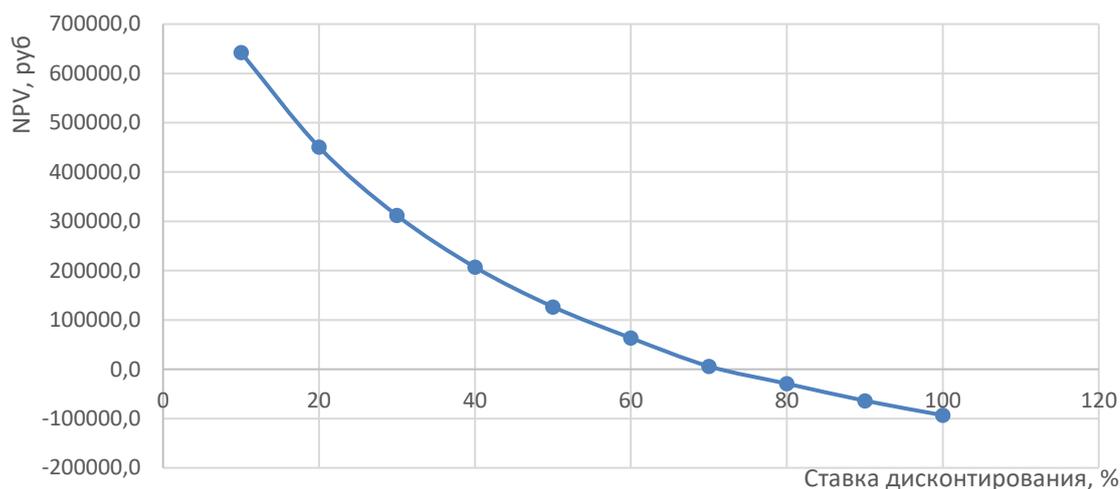


Рисунок 6.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,70 -> проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $70\% - 25\% = 45\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 6.20).

Таблица 6.20 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,25$), руб.	-401927,0	263664,1	210931,3	168745,0	134996,0

2	То же нарастающим итогом, руб.	-401927,0	-138262,9	72668,4	241413,4	376409,4
3	Дисконтированный срок окупаемости	$D PP_{дск} = 1 + (138263/210931) = 1,65$ года				

5.6.2. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

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

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 6.21.

Таблица 6.21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Быстродействие	0,25	3	3	4
2. Энергоэффективность	0,2	4	3	4
3. Энергопотребление	0,15	4	5	3
4. Надежность	0,2	4	4	3
5. Безопасность	0,2	4	4	4
Итого:	1	22	19	19

$$I_m^p = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 3,75$$

$$I_1^A = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 3,7$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 3,65$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ и аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 6.22.

Таблица 6.22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,32	0,3	0,32
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	3,7	3,65
3	Интегральный показатель эффективности	11,72	12,3333	11,41
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,95	1,03

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 376409 руб.; индекс доходности

$PI = 1,93$, внутренняя ставка доходности $IRR=70\%$, срок окупаемости $DPP_{дск}=1,65$ года.

Таким образом, был разработан ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и достаточно коротким сроком окупаемости.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1. Введение

В процессе трудовой деятельности, каждый вовлечённый человек подвергается воздействию целого комплекса производственных факторов, которые способны влиять на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. При этом, между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья.

Объектом изучения в ВКР является электропривод установки активации жидких сред. Областью применения служит нефтедобыча, а пользователи – нефтедобывающие компании. Цель работы заключается математическое моделирование элементов и устройств электромагнитного электропривода установки активации жидких сред.

Поскольку непосредственный процесс моделирования осуществлялся за персональным компьютером в офисном помещении площадью 20 м², то целесообразно рассмотреть охрану труда при работе сидя за компьютером.

Фактически на персональных компьютерах и осуществляется большая часть аналитической работы. Освещение помещения осуществляется с помощью искусственных и естественных источников, вентиляция осуществляется с помощью приточно-вытяжной системы.

Все вышеуказанные факторы могут повлиять на здоровье, эмоциональное состояние и работоспособность сотрудников лаборатории.

7.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые и экономические отношения между работником и организацией регулируются в Трудовом кодексе Российской Федерации. [27] Режим рабочего времени регулируется согласно ст. 91 ТК РФ и не должен

превышать 40 ч в рабочую неделю. Согласно ст. 115 ТК РФ каждый 44 работник имеет право на ежегодный оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Порядок начисления и определения заработной платы регламентируется ст. 130 ТК РФ. Размер заработной платы не должен быть ниже минимального размера оплаты труда для Томской области. Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом. Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя.

Работа с использованием персонального компьютера подразумевает возможное наличие угроз жизни и здоровья, следует обеспечить комфортную и безопасную среду для работника согласно ГОСТ 12.2.032-78 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя [15] а так же использование компьютерной мебели, отвечающей нормам СанПиН 1.2.3685-21 [12]; правильная установка освещения, которое не должно светить в глаза и оставлять блики на рабочем мониторе; для облегчения длительной работы эксперты рекомендуют использовать вспомогательное оборудование, например, особые очки, антибликовые мониторы, коврики для мыши и проч. Рабочее помещение должно оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Поверхность пола в рабочем помещении должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи.

7.3. Производственная безопасность

7.3.1. Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте

Эксплуатация любого оборудования сопряжена с опасными и вредными производственными факторами, воздействие которых на персонал приводит к заболеваниям и травмам.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В связи с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать в процессе эксплуатации погружных электродвигателей в составе УЭЦН (таблица 7.1).

Таблица 7.1– Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания ГОСТ 12.1.003 – 2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
2. количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения	
3. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений
4. повышенный уровень электромагнитных излучений.	ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

7.3.2. Превышение уровня шума

Шум – это совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека и мешающих его работе и отдыху.

В офисном помещении имеются следующие источники шума:

- система приточно-вытяжной вентиляции;
- персональный компьютер (жесткий диск, вентилятор, монитор, клавиатура).

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам.

Для защиты от шума обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты [13]: наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении шума на рабочих местах.

В таблице 7.2 представлены допустимые уровни звукового давления, согласно [1=21]. Работа в рабочей зоне соотносится с категорией «Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах». Рассчитанный уровень шума не превышает нормативные значения, что говорит о отсутствии вреда здоровью.

Таблица 7.2 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для аналитических работ в офисе

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Но в качестве профилактики персоналу следует каждые 4 часа делать перерыв, покинув помещение на 10-15 мин.

Дополнительным способом снижения уровня шума в помещении могут служить использование звукопоглощающих материалов для отделки стен и потолка аудитории.

7.3.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда [1=22].

Система освещения должна быть организована таким образом, чтобы не существовало ни затененных зон способных вызвать неудобство, ни раздражающего ослепляющего света, ни опасного стробоскопического эффекта на движущихся частях из - за освещения. Внутренние элементы, требующие частой проверки и регулировки, а также зоны технического обслуживания должны быть обеспечены достаточным освещением.

Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Для данной рабочей зоны рассчитывается общее равномерное освещение.

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. Несмотря на большую стоимость, необходимость в обслуживании и пусковой

аппаратуре, они обладают хорошей светоотдачей, имеют длительный срок службы, хорошую цветопередачу и низкую температуру. При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды.

При выборе необходимого количества ламп необходимо руководствоваться целью создания требуемой освещенности. Выбор необходимой освещенности осуществляется по наименьшей освещенности рабочей поверхности E_{min} . Если учитывать, что совершаются работы средней точности, то можно принять значение E_{min} 150-200 лк удовлетворяющее указанному в [1=22]. Для помещений, где проводится работа за компьютером выбираем $E_{min} = 300$ лк.

Габариты помещения и коэффициенты отражения приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Габариты помещения и коэффициенты отражения

Габариты помещения, м			Коэффициенты отражения, %		
Длина(а)	Ширина (b)	Высота(h)	Потолок	Стены	Пол
5	4	3	70	50	20

Принимаем, что светильники укреплены непосредственно на потолок.

Высота рабочей поверхности: $h_p = 0,5$ м тогда $h = H - h_p = 3 - 0,8 = 2,2$ м.

Для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, при умеренной влажности и запылённости допускается применение открытых двухламповых светильников типа ПВЛ. Интегральный критерий оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = 1,4$ [17].

Ширина между рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м,}$$

$$L / 3 = 3,08 / 3 = 1,027 \text{ м.}$$

Количество рядов светильников:

$$N = \frac{b}{L} = \frac{4}{3,08} = 1,3 \text{ шт.}$$

Количество светильников в ряду:

$$M = \frac{a}{L} = \frac{5}{3,08} = 1,623 \text{ шт.}$$

Округлим полученные значения и примем к установке 2 светильника в 2 ряда.

При расчете по данному методу, потребный поток ламп в каждом светильнике находится по формуле:

$$\Phi = \frac{(E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z) \cdot 100}{(N \cdot \eta)},$$

где: E – заданная минимальная освещенность, $E=300$ лк,;

K_3 – коэффициент запаса, (1,5);

S – освещаемая площадь, $S=20$ м²;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

η – коэффициент использования светового потока, %.

Число светильников подбираем методом итераций, для нахождения светового потока, способного обеспечить одной лампой.

Для определения коэффициента использования η рассчитываем индекс помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 4}{2,2 \cdot (5 + 4)} = 1,01,$$

где h_1 – высота подвеса светильника;

h_2 – расстояние от пола до рабочей поверхности;

h_p – расчетная высота помещения.

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения, для ЛПО $\eta = 49\%$ [17].

$$\Phi = \frac{(300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1)}{(8 \cdot 0,49)} = 2525,5 \text{ лм}$$

Выбираем светильник ОДЛ и люминесцентные лампы ЛД 34 Вт $\Phi = 2300$ лм (в одном светильнике 2 лампы).

Таким образом, с помощью приведённых выше расчетов был рассмотрен вариант организации системы освещения в рабочем помещении, согласно которым требуется 6 светильников (рисунок 7.1). При этом не нарушая установленные в [19] требования.

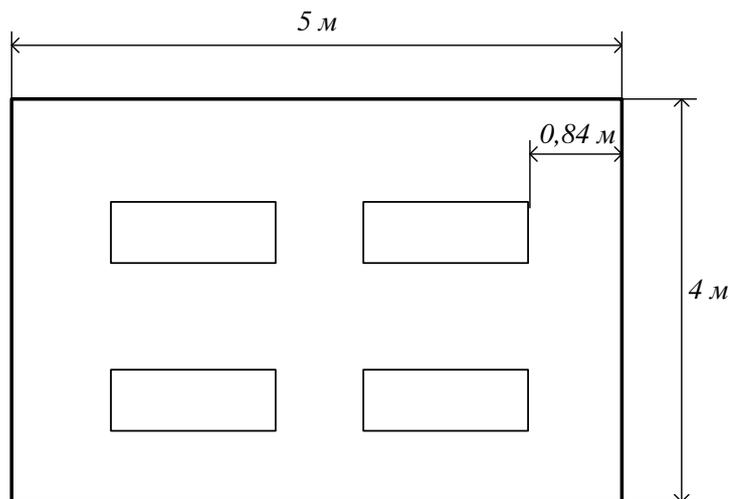


Рисунок 7.1 – План освещения рабочего помещения

7.3.5. Выделения вредных веществ

Так же в жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемый людьми углекислый газ (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислого газа, выделяемого человеком и по допустимой концентрации его. Количество углекислого газа в зависимости от возраста человека и выполняемой работы приведены в табл. 2 [17], так взрослый человек при легкой работе (в учреждениях) производит 23 л/ч (35 г/ч) углекислого газа. Содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов следует принимать 1000 мг/м^3 для больших городов (свыше 300 тыс. жителей). ПДК CO_2 в воздухе рабочей зоны – 9000 мг/м^3 .

Одновременно в аудитории может работать 1 человек, тогда количество CO_2 , выделяемого всеми работниками:

$$G = N_{\text{людей}} \cdot g_{\text{CO}_2} = 1 \cdot 35 = 35 \text{ г/ч}$$

Потребный воздухообмен:

$$L = 1000 \cdot \frac{G}{x_в - x_н} = 1000 \cdot \frac{35}{9000 - 1000} = 4,375 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где: $x_в = 9000 \text{ мг/м}^3$ – предельно допустимая концентрация CO_2 в воздухе рабочей зоны помещения, согласно [14];

x_n – 1000 мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по [1=21].

Кратность воздухообмена n , которая показывает, сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Кратность воздухообмена определяется по формуле:

$$n = \frac{L}{V} = \frac{35}{5 \cdot 4 \cdot 3} = 0,583 \text{ ч}^{-1}$$

где V – внутренний объем помещения, м³.

7.3.6. Электромагнитное излучение

Электромагнитное излучение (электромагнитные волны) – возмущение электромагнитного поля (чаще всего периодические колебания), вызываемые ускоренно движущимися электрическими зарядами, существующее независимо от этих зарядов и распространяющиеся с конечной скоростью.

Рабочая зона содержит ряд источников электромагнитных полей:

- система распределения и потребления электроэнергии;
- мониторы персональных компьютеров;
- различное электрооборудование.

Персональные компьютеры фактически являются основными источниками электромагнитного излучения. [13] устанавливает следующие предельно допустимые значения плотности потока энергии электромагнитного поля:

- 1) 25 мкВт/см² в течение 8 часов;
- 2) 100 мкВт/см² в течение 2 часов;
- 3) максимальное значение не должно превышать 1000 мкВт/см².

Электромагнитное поле с частотой от 60 кГц до 300 МГц нормируются отдельно по электрической и по магнитной составляющей, так как на этих частотах на человека действуют независимо друг от друга электрическое и магнитное поле.

Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для персональных компьютеров приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Предельно допустимые уровни электромагнитного поля

Источник	Диапазон	Значение ПДУ
Видеодисплейный терминал ПЭВМ	5 Гц - 2 кГц	$E_{ндy} = 25 \text{ В/м}$ $B_{ндy} = 250 \text{ нТл}$
	2 - 400 кГц	$E_{ндy} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{ндy} = 25 \text{ нТл}$
	поверхностный электростатический потенциал	$V = 500 \text{ В}$

Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных данных свидетельствуют о высокой биологической активности электромагнитных полей во всех частотных диапазонах. При относительно высоких уровнях облучающего электромагнитного поля современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне электромагнитного поля (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц это менее 1 мВт/см^2) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия электромагнитного поля в этом случае еще мало изучены.

7.4. Экологическая безопасность при эксплуатации

Работа в офисном помещении сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения, это в первую очередь естественные выделения – углекислый газ, пары воды; бытовая пыль; летучие органические соединения, выделяющиеся в процессе эксплуатации оборудования и др. Воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы – бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают 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 [18]: 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.

7.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при работе в офисном помещении является пожар. Такие чрезвычайные ситуации как наводнения, землетрясения и ураганы были исключены в связи с нахождением корпуса на возвышенности и отсутствия сейсмической и штормовой активности на территории Томска и Томской области.

Пожаром называется неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества, государства. В области пожарной безопасности основополагающими документами являются законодательные акты, такие как – федеральный закон [1=28]. Офисные помещения по техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, согласно федеральному закону [1=27] по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности относятся к классу Ф4.1. Так как в помещении находятся и используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, то по пожарной опасности данное помещение можно отнести к классу Д. Пожар на рабочем месте может возникнуть по нескольким причинам: во-первых, при нарушении исправности электропроводки; во-вторых, при эксплуатации неисправного оборудования; в-третьих, при несоблюдении техники пожарной безопасности. Поэтому необходимо принимать меры, которые будут направлены на

повышение пожаробезопасности. Для предотвращения пожаров необходимо применять следующие меры:

- соблюдать все стандарты по проектированию и строительству зданий и сооружений;
- своевременно проводить проверку и ремонт электрооборудования;
- соблюдать правила пожарной безопасности.

Согласно постановлению правительства [18], помещение должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения. Для персонала должны проводиться инструктажи по правилам действия при пожаре. Персонал должен проходить ежегодную переподготовку по правилам пожарной безопасности.

Техническими средствами для предотвращения возникновения чрезвычайной ситуации в помещении лаборатории служат:

- пожарная сигнализация со звуковым оповещением;
- первичное средство пожаротушения в виде порошкового огнетушителя типа 4(А) - АВСЕ, находящегося в свободном доступе.

К дополнению к этому в здании предусмотрены пожарные краны.

При возникновении пожара в соответствии с постановлением правительства [18] персонал, который не участвует в подавлении очага возгорания должен в спешном порядке покинуть помещение. О возникновении чрезвычайной ситуации необходимо сообщить в пожарную часть по телефону 01 (112).

Выводы по разделу

В разделе социальной ответственности был проведён анализ основных правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности на предприятии, опасных и вредных факторов, экологической безопасности данного производства и меры предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Анализ вредных и опасных факторов и мер по уменьшению их влияния на работников, позволит создать более и безопасную обстановку. Так было определено, при работе одного человека в помещении 20 м^2 не требуется установка дополнительных систем вентиляции, кратность воздухообмена $n = 0,583 \text{ ч}^{-1}$ ниже критического значения $n > 10$ [12] Кроме того, был произведен расчет системы искусственного освещения для обеспечения необходимого уровня освещения, согласно которому были выбраны люминесцентные лампы ЛД 34 Вт $\Phi = 2300 \text{ мм}$.

Согласно выявленным факторам выбранное помещение относится к категории «безопасных» помещений [10]. Персоналу, работающему в данном помещении, достаточно обладать II группой по электробезопасности [9]. Тяжесть труда, выполняемого при проектировании, соответствует I категории – при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки [12].

Выявление и применение мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также планирования мер по их ликвидации с минимальными последствиями позволяет свести к минимуму риски возникновения чрезвычайных ситуаций, количество жертв и ущерб, нанесённый предприятию. Учебные заведения по техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности [17] по степени огнестойкости относятся к классу Ф4.1. Так как в помещении находятся и используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, то по пожарной опасности данное помещение можно отнести к классу Д [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы по разработке электромагнитного активатора для разжижения высоковязких нефтепродуктов переработки следует сделать следующие выводы:

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

В результате анализа полученных данных для оптимальной работы котельных, необходимо ориентироваться на следующие режимы:

- в летний период резонанс работы наблюдается на частотах близких к $f = 60$ Гц, и оптимальная величина воздушного зазора. $\delta_{\Sigma} = 0,006$ м, что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации 10,3 м³/час;
- в осенний период резонанс работы наблюдается на частотах близких к $f = 50$ Гц и оптимальной величиной воздушного зазора. $\delta_{\Sigma} = 0,006$ м, что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации 8,91 м³/час;
- в зимний период резонанс работы на частотах близких к $f = 45$ Гц и оптимальной величиной воздушного зазора. $\delta_{\Sigma} = 0,005$ м, что обеспечивает достаточно высокое значение производительности активации 5,45 м³/час.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения: 16.05.2022).

2. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АКТИВАЦИИ ЖИДКИХ СРЕД: учеб. пособие / В.А.Данекер.

3. Основы виброструйной магнитной активации жидких сред / Рикконен С.В., к.т.н., доцент, зав. отделом ОАО «СКБ Сибэлектромотор».

4. Анализ результатов экспериментального исследования системы управления вибрационным электромагнитным активатором при работе в различных средах / Р. Ф. Бекишев [и др.]. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск, 2005. — Т. 308, № 7. — [С. 109-112]. — (Технические науки). — Заглавие с титульного листа. — [Библиогр.: с. 112 (3 назв.)].

5. URL:

[http://www.mirpruzhin.ru/raschet_prugin_sgiatia/?p99=1&p1=1&p2=1&p3=5&p4=25&p6=300&p7=8&p9=250&p10=40&p22=1&submit=+](http://www.mirpruzhin.ru/raschet_prugin_sgiatia/?p99=1&p1=1&p2=1&p3=5&p4=25&p6=300&p7=8&p9=250&p10=40&p22=1&submit=) (дата обращения: 16.05.2022).

6. URL: <https://www.chipdip.ru/product0/9000272026> (дата обращения: 22.05.2022).

7. URL: http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/n700e_007sf.html (дата обращения: 27.05.2018).

8. URL: <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/> (дата обращения: 27.05.2018).

9. URL:

http://istochnikpitania.ru/index.files/Sprav_Diody1.files/Sprav1_Diody_15.htm (дата обращения: 27.05.2018).

10. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
11. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
12. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Изд-во стандартов, М. – 1984.
13. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
14. ГОСТ 12.2.032-78 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя.
15. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
16. *Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антонец, И.И. Авдеева.* Социальная ответственность: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 27 с.
17. Постановление Правительства РФ от 28.12.2020 N 2314 "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде".
18. Правила устройств электроустановок. 6-е и 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 640 с.
19. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 №903н «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок»
20. Решение Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 N 299 (ред. от 29.11.2021) "О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе".

21. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
22. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
23. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».
24. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.22.11.2021).
26. Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) «О пожарной безопасности».
27. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Variable speed drive installation for activation in liquid media

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Можаров Андрей Ильич		20.05.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер Валерий Аркадьевич	Кандидат технических наук		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	Кандидат филологических наук		

Introduction

Currently, the situation is that many oil fields are faced with problems of oil production and transportation. This is due to the fact that a mixture, which contains the following components: mechanical impurities, water, gas, sand, etc., is extracted from the oil-fields. An oil-well gas is the main part of such impurities; it occupies about 50-100m³ for each ton of oil. The transportation of this type of oil through pipelines causes great problems at oil refineries.

The removal of dissolved gases in oil is one of the most important tasks in the oil industry. This process of gas removal is degassing, which avoids the devastating effects on equipment due to the corrosive activity of these gases.

Existing technologies and equipment used for oil degassing are quite energy consuming, or require lengthy processing. Therefore, the development of new technologies and equipment using vibrojet magnetic activation is relevant.

The VJMA oil-processing technology considered in the work allows solving the indicated problem efficiently. The effectiveness of the use of VJMA equipment is manifested in a decrease in the viscosity of oil, thereby accelerating the process of degassing.

The aim of the study is to develop a system for preventing the formation of bottom sediments in tanks RVS-1000, built on the basis of frequency-controlled electromagnetic vibration activators.

1.1. Overview of existing equipment and technologies for oil degassing

An oil – is a mixture containing oxygen, phosphorus, nitrogen, carbon dioxide and various groups of hydrocarbons.

Basically, the gas component includes butane, methane, propane and ethane. They are in a gaseous state at normal temperature of the gas-oil mixture and at normal atmospheric pressure. Moreover, hydrocarbons such as heptane, hexa, and pentane have an unstable environment, i.e. they can pass from a liquid state back to a gaseous one [35].

Oil degassing is necessary for the separation of gas from oil, this process is also called separation. All processes take place in special technological equipment, for example, in separators.

The degassing process itself is carried out in several stages, and the larger the stage, the better the separation process. Nevertheless, it must be borne in mind that this process will be more energy consuming and not economically profitable, as large investments will be required. The gas-oil mixture from oil wells is sent through pipelines to a degasser, where the process of separation of oil under high pressure goes on. Further, the liberated gas moves under its own pressure.

Since the separation process occurs at the first stage in a high-pressure separator, then the gas-oil mixture is sent to low and medium pressure separators to complete the process. The degassing process occurs due to exposure [36]:

- Selective wettability of gas-oil mixture;
- Gravity and centrifugal forces.

Hence, the following oil separation methods should be distinguished:

- Gravitational;
- Inertial;
- Separating.

In gravity separators, lighter fractions, namely gas, rise up, and heavier fractions (oil with dissolved particles of water) fall down. As a result of the action of centrifugal forces, film separation is manifested. Oil droplets in a gas stream, when exposed to turbulent pulsations, move from the center to the inner surface of the gas separator. Part of a drop of the liquid moistens the surface of the separator, forming a dense liquid film. Then, liquid droplets begin to accumulate. As soon as the film thickness reaches the norm, it begins to descend into the lower part of the separator. The most promising way is oil degassing due to centrifugal forces. The use of such equipment is considered to be promising in the oil industry, since oxygen and carbon dioxide are most effectively removed from a liquid [37].

Influencing parameters for determining the ratio of gas to liquid are: temperature, physical nature of the gas, pressure of the mixture, composition of the gas-oil mixture.

William Henry revealed the ideal concentration of gas in oil. According to this law, the equilibrium mass concentration of gas in a solution is proportional to the partial pressure in the gas phase above the solution.

It is unrealistic to completely remove gases from the liquid. The process of degassing the mixture will continue until the equilibrium partial pressure in the liquid phase exceeds the gas pressure. To do it, redistribute the gas pressure at a constant pressure of the gas mixture, or reduce the pressure of the gas mixture over the liquid.

It can be concluded that it is necessary to follow some of the rules for an effective degassing process:

- Make a sink for gases when it is separated from the gas-oil mixture;
- To provide a discrepancy between the equilibrium gas pressure and the mixture of partial pressure of gas above the mixture;
- Provide the recommended contact surface of the gas and liquid components;
- Set the necessary time for the process of separating the liquid phase from the gas components.

The process of degassing using centrifugal forces is as follows: the fractions are split into lighter and heavier ones in the gas-oil mixture.

When the gas-oil mixture moves tangentially to the surface of the cylinder, the mixture will twist with the formation of a steady vortex. Each parameter of a rotating medium, in a non-inertial reference system, is affected by gravity, which is directed vertically downward, as well as by centrifugal force, which is directed from an axis in a plane that is perpendicular to the axis of rotation and passes through an element that rotates in a gas-oil mixture (fig. A1.1). This is due to the fact that the non-inertial reference system rotates with the mixture.

Due to the imposition of the gravitational field and the field of centrifugal forces, their resulting force can be considered as the force of gravity, which acts on the fluid particle in the gas-oil mixture.

It can be seen from the figure that the gravity of the rotational element is directed from the axis of rotation to the normal at a small angle. Since the centrifugal force and gravity force act on a particle of the liquid phase, there will be a small angle between these forces, since gravity is smaller in magnitude than centrifugal force. In this case, gravity will be equal to the weight of the selected fluid element in the field.

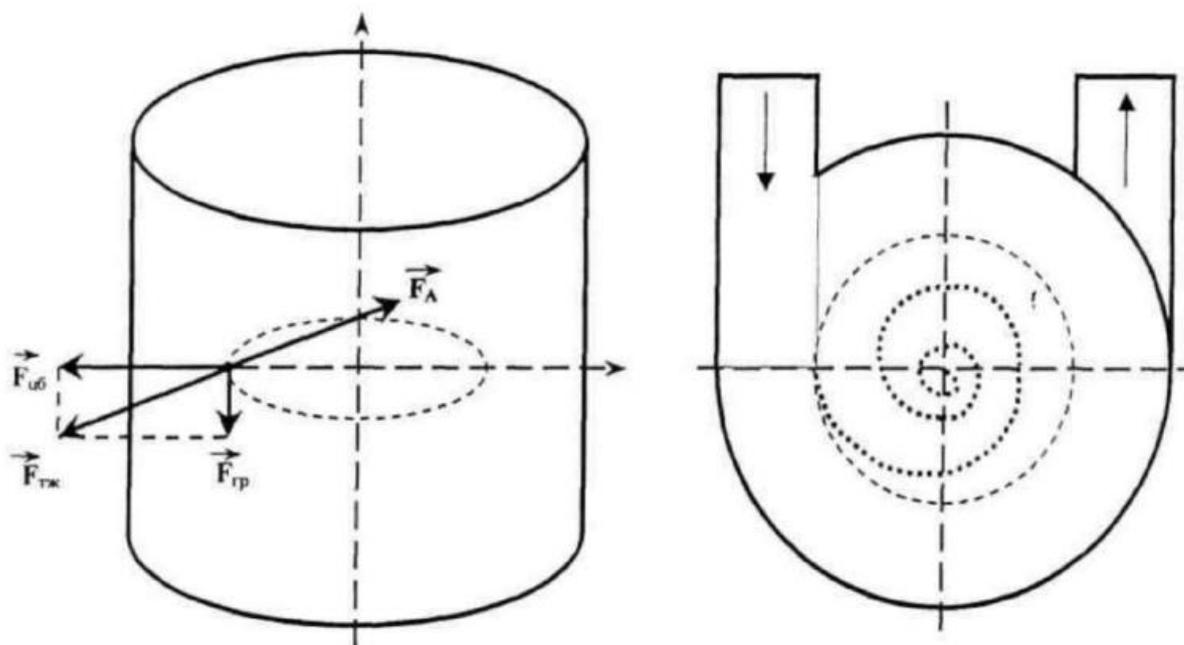


Figure A1.1 – Vector forces of a rotating element in a liquid medium

However, there is also the force of Archimedes, which acts on any particle immersed in a liquid, in our case these are gas bubbles. The force of Archimedes is opposite in direction to gravity, but numerically equal to it, that is, it has a direction to the axis of rotation, and not from the axis of rotation [38].

If in such a field the displaced liquid is heavier than the weight of the gas bubbles, then the Archimedes force will be greater than the body weight, since the force is equal to the weight of the displaced liquid, and then the gas bubbles, which are in a calm state relative to the water cylinder, should rush to its axis of rotation.

Otherwise, the gas should be thrown against the wall, as it will be heavier than the displaced fluid.

The use of centrifugal forces in degassing processes is most appropriate when:

- Liquid and gaseous components are intended for opposite outputs, since there is a risk of mixing the phases after they are separated. This problem can be solved using a constructive approach;
- Providing a large contact surface of the liquid and gaseous phases in cylindrical vortex devices;
- It is necessary to ensure a high heat and mass transfer rate. This will reduce the contact time of the liquid and gas components, due to the high speed of various media.

1.2. Equipment for oil degassing

The main designs of gas-oil separators that are currently used in industry were considered. The most widely used equipment for oil degassing is vertical, horizontal and centrifugal vortex separators, the designs of which are shown in the figures A1.2.1 below [35]:

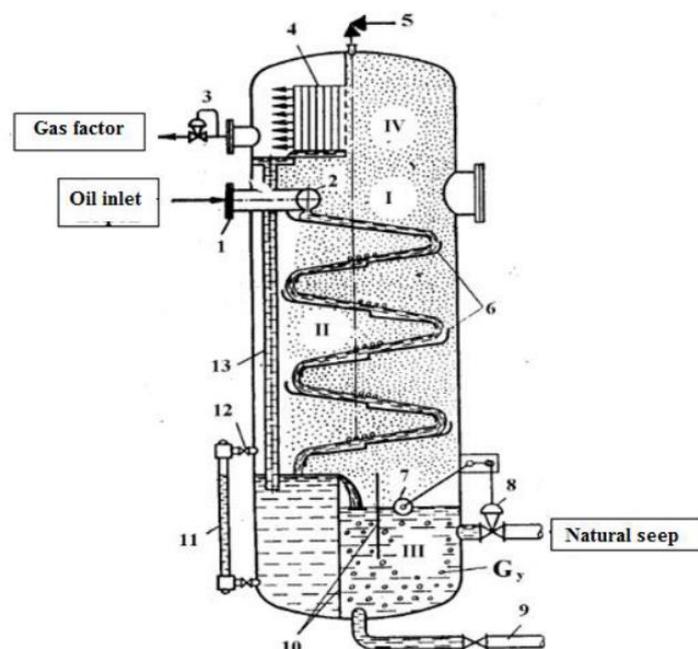


Figure A1.2.1 – Vertical Separator

The principle of operation of the separator is as follows. Being under pressure, the mixture consisting of oil and associated gas flows through the pipe 1 to the

distributing header 2, which has a gap along the entire length, designed to discharge the mixture. After that, the mixture approaches the inclined planes 6 (trays), which provide the release of gas bubbles, as it increases the distance of movement of oil. By means of the droplet trap nozzle 4 of the louvre type located in the upper part of the degasser, oil droplets separated in the droplet trap section 4 then flow into the lower part of the separator (into the sump) through the drain pipe 13. The principle of operation of the nozzle 4 can be based on the following principles: the use of metal grids; the use of centrifugal forces; speed control and change in flow direction; blows of a gas stream against a partition [35].

Partitions 10 in a vertical degasser are necessary to level the oil level with a pulsating flow of well products. To remove oil from the degasser body, a level 7 sensor is used, which has a float type with an actuator 8. The accumulated dirt is thrown off through the pipe 9 with a valve installed on it. Gas is discharged through a safety valve 5 located in the upper part of the separator. It occurs when the pressure in the degasser increases during separation. There is also a pressure regulator 3 on the gas pipe of the separator, which maintains the necessary pressure in the separator body.

To measure the amount of incoming liquid, a gauge glass 11 is used, which is located in the lower part of the separator body. In case of excess of liquid above normal, shut-off taps 12 are used.

In this separator, the main advantages are the ease of cleaning from mechanical impurities and paraffin deposits, which can lead to corrosion of materials, as well as the convenience of regulating the liquid level. Due to the overall dimensions, vertical separators occupy a small area, and this is very important where the fishing equipment is mounted in platforms or racks (for example, in the conditions of offshore fisheries)

However, these separators, compared with others, have lower productivity, and therefore a lower degree of separation. And the main task of oil fields is to increase productivity, therefore, this circumstance is a significant drawback.

Horizontal separators are widely used at Vankorneft LLC facilities, including booster pump stations, a central collection point and separation units. Separators of this type are used at all stages of separation in installations for the collection and preparation of oil field products for operation in macroclimatic areas. Figure A1.2.2 shows a general view of the horizontal NGS separator.

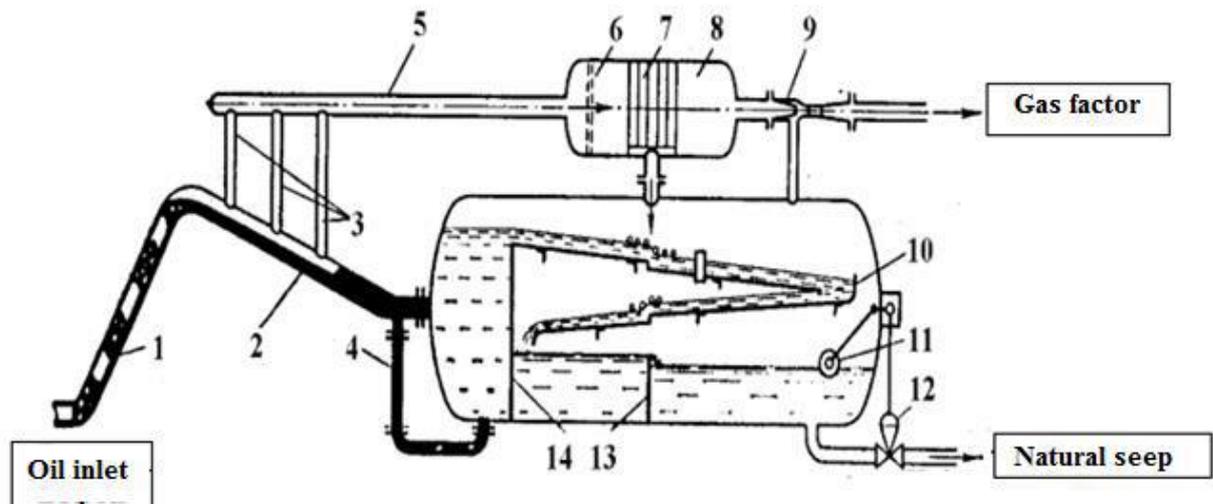


Figure A1.2.2 – General view of the separator NGS

The horizontal separator has a similar principle to the vertical one, but this separator has a large throughput, because oil droplets move perpendicular to the gas flow. Vertical separators, however, are another case: oil droplets move towards the gas flow. Horizontal separators have the best throughput with the same overall dimensions, and, therefore, it implies high productivity and separation efficiency, so they are most often used in oil fields. Also, their advantages include ease of maintenance [36].

It also uses centrifugal vortex separators at oil refineries. Devices of this type are designed to remove residual gases, including dissolved and oil heated ones above the saturation temperature under vacuum, atmospheric or high pressure conditions [38].

A schematic diagram of a centrifugal vortex separator is shown in Figure A1.2.3. The device has a two-chamber cylindrical housing. The upper chamber 1 is designed to receive the separated oil and has one or more tangential nozzles "A" in the lower part of the chamber is an annular partition 3 to create and maintain the

required thickness of the water layer. Under the annular partition there are windows 4 for draining oil into the lower chamber 2.

The outlet pipe of the separated gas is located in the cover of the upper chamber, while the lower end of the pipe reaches the top of the lower chamber.

The lower chamber 2 is a cyclone for separating the separated gas and withdrawing the refined oil. It is equipped with tangential nozzles "B" for the removal of oil from the device.

The principle of operation of this device is as follows. Degassed oil enters the tangential pipe "A", the oil flow swirls in the upper chamber of the apparatus, a cylindrical layer of water forms with a vertical interface between the liquid and gas phases. Since the oil is heated above the saturation temperature, gas, which is discharged through the pipe "B", begins to be intensively released, and the oil is drained through the windows 4 of the upper chamber into the lower chamber 2 and it is discharged through the pipes "B".

Branch pipe "B" can be connected to a pumping device, for example, a gas-jet ejector. Then the process will be carried out in a vacuum mode, which allows to accelerate the separation of gas from oil and increase the separation efficiency.

Thus, from the point of view of process efficiency, preference should be given to a horizontal separator. However, horizontal separators have a number of disadvantages, which can change the choice in favor of a vertical separator in certain situations.

1. Horizontal separators are not as effective as vertical ones; they work with flows containing mechanical impurities;
2. The horizontal separator should be equipped with several drainage lines drawn along its entire length;
3. Horizontal separators occupy a larger area than vertical separators with the same capacity. This factor may not be significant on land, but it plays a very important role in offshore fields.

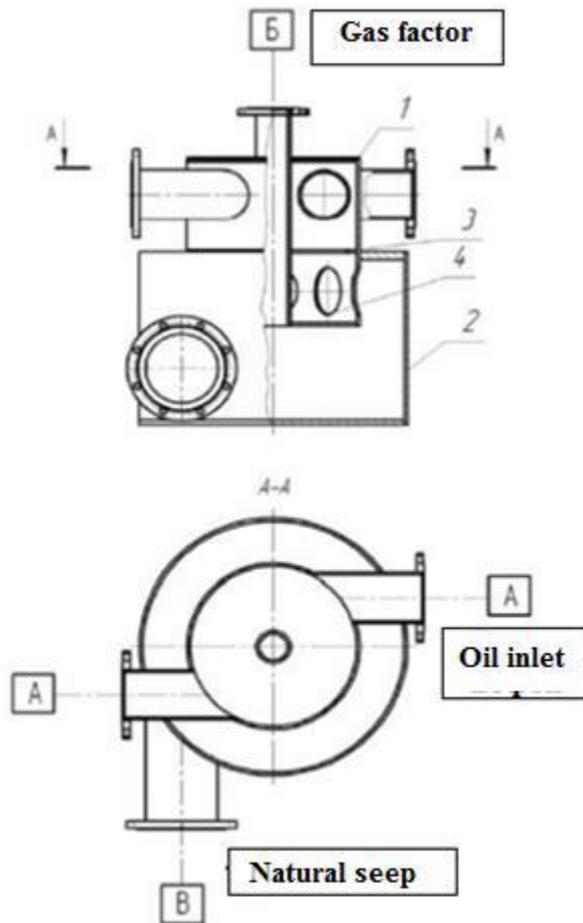


Figure A1.2.3 – Schematic diagram of a centrifugal vortex separator
 1– upper chamber; 2 – lower chamber; 3 – an annular partition; 4 – windows
 for oil discharge.

Thus, we can conclude that the gas-oil separators used in industry, despite all their advantages, have separate parameters for which there are objective prerequisites for improvement. These include bulkiness, high specific gravity and high capital costs. In vertical and horizontal degassers, one of the main parameters characterizing gas evolution is the size of planar elements along which gas-containing oil flows at a certain speed.

Moreover, the higher the speed and the thinner the layer, the more gas is released more intensively. In addition, the larger the path of gas-containing oil moving along the indicated planar elements, the greater the amount of gas released from the oil. Therefore, if you find a way to change these parameters in existing installations, you can increase their productivity.

To date, the solution to this problem is represented by a very limited number of technical solutions that can improve the operation of individual structural elements, but do not give a sufficient effect in the complex. Therefore, the search for new approaches to solving this problem is relevant.

1.3. VJMA Technology

When using non-traditional methods of influence on rheological fluids and technological processes, it is possible to increase the quality of output and products and production efficiency. Such methods include the technology of vibro-jet magnetic activation, which can be applied, including oil industry.

The essence of this method is that there is a change in the rheological and physico-chemical properties of liquids. This process is accompanied by the transfer of energy through mechanical, acoustic, electronic, chemical, thermal, cavitation and other effects of oil disperse systems.

The dependence of the influence of vibrational influences and high shear rates on the properties of high viscosity oil is well known. When solving problems in oil fields related to the reduction of asphalt-resin-paraffin deposits, transportation, lowering viscosity and pumping oil, starting pipelines after long shutdowns, research work in the field of polymer mechanics showed that it is possible to control the rheological properties of oil systems. It is only necessary to change the effect of external mechanical factors. It will allow controlling the rheological properties in a wide range.

When using the method of vibration-magnetic processing, it is necessary to be guided by the fact that it is necessary to select the operating modes of the vibrators carefully. However, this method is the least energy consuming, it is highly valued in various industries. This method means that closed fluid flows repeatedly fall into the zone of activation of the vibro-jet effect on the liquid medium; the chemical properties of the liquids change.

The vibration activator module is the main structural element of the vibration processing devices. It is an electromechanical device with a large range of frequency and voltage regulation.

To obtain the necessary values of viscosity and static shear stress of oil, all currently existing methods of influencing oil are aimed at regulating either the interaction forces, or the size of local structured formations, and in some cases, their complete elimination.

The use of this method specifically for the oil degassing process under consideration will partially solve technical problems in the technological process and improve the separation quality to increase the plant's productivity, since all methods are used for oil degassing, or have a limited impact, are very energy consuming or have a high cost.

It is also necessary to note that oil reserves in the oil industry are formed by drawing oil products with high viscosity into the circulation. High viscosity oils have paraffin with a high pour point (crystallization) and the formation of asphalt-resin-paraffin deposits. Therefore, significant problems arise in oil fields during the production, storage and transportation of oil. The technology under consideration and the equipment used when acting on the supramolecular structures of oil and increasing the quality indicators of rheological fluids, also allow maintaining these parameters for a long time. Moreover, the use of this technology allows reducing the viscosity from units to several tens of times.

The process of degassing produced oil due to the presence of its viscous properties in existing plants has a limitation on increasing the flow rate and reducing the thickness of the stream. The application of VSMA technology and equipment in the process of oil degassing, taking into account the above characteristics, allows you to positively affect these parameters, thereby increasing the productivity of existing equipment.

1.4. Vibromagnetic installation of electric drive for oil degassing

Solving the problem of modernizing existing equipment for oil degassing, the primary measure is the choice of a prototype. In this case, it is necessary to take into account the design of the equipment, which does not exclude the possibility of carrying out work to upgrade them. At the design stage, it is difficult to foresee the specific parameters of the degassing process, therefore, during modernization, it

should be possible to regulate these parameters. Thus, it is proposed to upgrade the existing oil degassing equipment using VJMA equipment, which is used as an electric drive for trays on where gas is directly released from the gas-containing mixture. A frequency converter must be provided in the power supply circuit of the electric drive to generate an alternating voltage with an output frequency necessary to determine the maximum gas separation performance. When starting to design the electric drive of an oil degassing installation, it is important to take into account existing schemes and designs of a particular separator. As an example, we choose a horizontal separator NGS 0.6-2000.

The input parameters for starting the design of the electric drive are the given degassing performance and the dimensions of the main technological equipment for which the built-in electric drive is being developed.

1.4.1. Vibratory activator

The main parameter that determines the efficiency of the drive is the size of the activator, which is the degasser tray. In turn, the weight and size characteristics of the tray affect the size of the drive. In turn, the physical data of the tray in a certain way affect the size of the electric drive. As a result, it is necessary to determine the dimensions of the electric drive at the beginning of its design, at least, in a first approximation.

Determining the dimensions of the electric drive, an important circumstance is the dimensions and mass of the link making oscillatory movements. Such a link in the proposed modernization scheme is the tray for the degasser. In turn, the tray can be directly an anchor or a link of the electromagnetic drive mechanically connected to the anchor. To ensure the resonant mode of operation of the VJMA device with a large mass of the armature, it will be necessary to provide the corresponding large value of the spring suspension stiffness. High stiffness values can affect the increase in the dimensions of the activator suspension assembly, which is not always acceptable. The degasser tray (figure A1.4.1) in this system has a rectangular shape and acts as a conditionally anchor of the electromagnet. The overall dimensions of this degasser tray are presented in table A1.4.1.

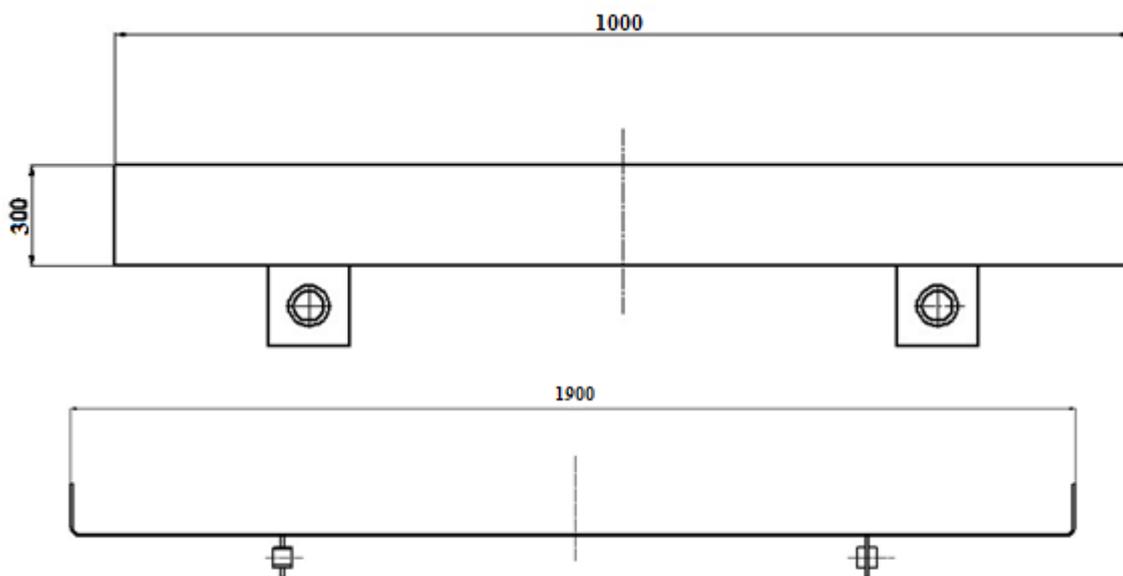


Figure A1.4.1 – Tray sketch

Table A1.4.1 – The Main dimensions of the tray (anchors)

Length (la)	$1m$
Width (lb)	$3,2m$
Tray Material Thickness Δ	$0,004 m$
Side Height (lc)	$0,03m$

1.4.2. Mathematical model

The electrical part is the main and two short-circuited circuits. Short circuits are formed by stainless steel plates that separate the inner cavity of the activator from the external environment. The main electrical circuit includes two series-connected electromagnets which consist of inductances, a diode and the active resistances of the windings. In this case, the energy of the oscillatory movements of the activator in space will be inversely proportional to the frequency of the disturbing force. The greater the frequency of the disturbing force, the smaller the radius of propagation of the energy of vibrational movements. If a frequency of 50 Hz is applied to the electromagnet, then the perturbing force will change with a frequency two times higher – 100 Hz. It should be noted that in this case, the stiffness coefficient will increase with increasing frequency. It raises a problem in the manufacture of the spring, since its manufacture will not always be economically viable. Therefore,

there is a diode in the power circuit that allows you to ensure the frequency of the disturbing force, at the frequency of the supply network.

Short-circuited circuits created by the structural elements of the installation can be represented on the equivalent circuit by inductors L_{sc} and active resistances R_{sc} . It should be noted that in the presence of two poles of the electromagnet, the equivalent circuit should include two short circuits. Since short circuits are identical to each other, in the equivalent circuit of electrical circuits, we will take into account the influence of only one short circuit.

The calculated equivalent circuit of the electric part of the EMF, taking into account the above, is presented in Figure A1.4.2

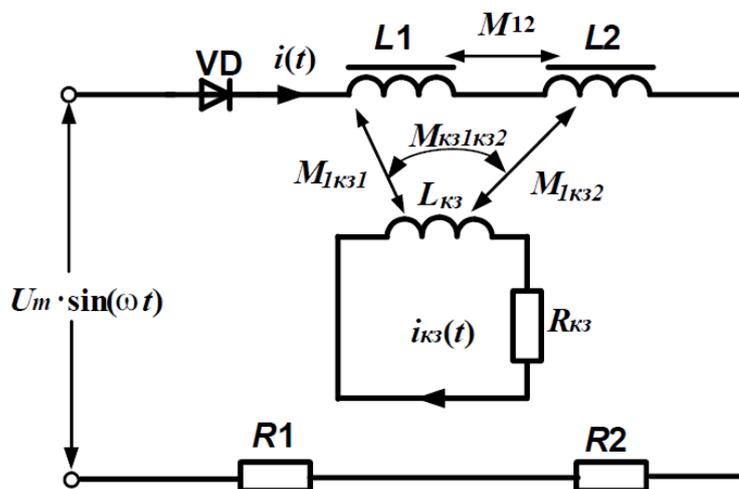


Figure A1.4.2 – The equivalent circuit of the activator electrical circuits

Conclusion

It was concluded that the VSMA technology is promising and with its help you can create equipment that will for handling various liquids. this is especially important for conducting laboratory studies of the properties of liquids eighteen when processing their BCMA formulas and determination parameters, characterizing the degree of change in their rheological properties.

Different liquids, due to their properties, can change in different ways. reaction to the physical impact of VSMA technologies. For check characteristic, observable properties of liquids at exposure to HCMA technologies, laboratory tests are required research. One of the options for a laboratory installation for research study of VSMA technologies on the properties of liquids was the study of the author earlier in the final qualifying work (WQR) of the bachelor's level.

However, for some recommended laboratory settings improvement, increasing the efficiency of research. Namely, on the basis of the previously completed bachelor's work, it follows change the approach to the device and the calculated laboratory installation. For increase in disturbing force, it is necessary to add additional an electromagnet in lighting installations, which allows you to increase activation performance. Also, for calculations, you should change motion activator, in actuation model operation type installation, it was assumed that the activator moves linearly.

But actually activator of revolutions around the circumference, therefore, in the calculations it is necessary choose the angle activator type, which will be more accurate describe the circulation of the activator, respectively, it is more likely to get settlement calculations.