

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики (ИШЭ)
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электротехника и электроэнергетика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Лабораторный электромагнитный вибратор

УДК 62-868-181.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ООД	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОЭЭ ИШЭ	Ивашутенко А. С.	к.т.н		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики (ИШЭ)
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электротехника и электроэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 Ивашутенко А. С.

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович

Тема работы:

Лабораторный электромагнитный вибратор	
Утверждена приказом директара (дата, номер)	59-78, 28.02.2020г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2020г
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является Лабораторный электромагнитный вибратор. В качестве исходных данных представлены: - параметры магнитопровода; - собственная частота колебаний активатора
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>- постановка задачи исследования; - составление математической модели модуля активации; - исследование режимов работы активатора; - разработка конструкции единичного модуля и установки; - выбор основных элементов электропривода; - разработка раздела «Финансовый менеджмент»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Киселева Е.С.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова О.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель

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

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Юнусов Х. С.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электропривод и автоматика
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 20% надбавки 16% накладные расходы; 30,2% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: Формирование бюджета затрат на научное исследование:
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта;
4. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электропривод и Автоматика
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

Тема ВКР:

Лабораторный электромагнитный вибратор	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Территория нефтеперерабатывающего завода с главным объектом исследования – лабораторный электромагнитный вибратор.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	1) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197; 2) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» 3) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны – Превышение уровня шума – Превышение уровня вибрации – Отклонение показателей микроклимата – Опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – воздействие на атмосферу; – воздействие на гидросферу; – воздействие на литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятная ЧС в здании в момент проведения исследования пожар и электропоражение.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Юнусов Хошимджон Салимджонович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страниц, 27 рисунков, 25 таблиц, 23 источника.

Ключевые слова: ВСМА, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, АКТИВАТОР, ВЯЗКОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ.

Цель работы - разработка лабораторного прибора для изучения реологических свойств вязких жидкостей.

В работе произведены расчёты параметров электромагнита, конструирование модуля виброобработки и на его основе конструирование установки в целом, анализ режимов работы лабораторной установки на математической модели, выбор преобразователя частоты и способов управления лабораторной установкой.

Выбор элементов электропривода осуществлён с учётом результатов анализа режимов работы лабораторной установки при изменении плотности жидкостей, механического сопротивления и собственной частоты колебательной системы.

Расчётные частотные характеристики лабораторной установки получены с помощью программы MATHCAD 15.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Оглавление

Введение.....	9
1. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРИБОРА.....	30
1.1 Конструкция модуля виброобработки.....	34
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА.....	41
2.1 Электрические контуры.....	41
2.2 Механические контуры.....	46
2.3 Система уравнений математической модели устройства.....	47
2.4 Алгоритм расчёта системы уравнений.....	48
3. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ.....	50
3.1 Анализ режимов работы при разных показателях вязкости и плотности.....	50
4. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ.....	58
4.1 Разработка схемы подключения установки.....	58
4.2 Выбор преобразователя частоты.....	59
4.3 Выбор диода.....	60
4.4 Выбор автоматического выключателя.....	60
4.5 Выбор кабеля сети.....	61
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	62
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	62
5.1.1 Технология QuaD.....	62
1.2 SWOT- анализ.....	65
5.2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.....	67
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	67
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	69
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	70
5.2.4 Бюджет научно-исследовательской (НИ).....	74
5.3. ресурсоэффективность.....	81
6. Социальная ответственность.....	84

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	84
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	85
6.2. Производственная безопасность.....	86
6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	86
6.2.2. Повышенный уровень шума.	87
6.2.3. Повышенный уровень вибрации.	88
6.2.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	91
6.2.5. Отклонение параметров микроклимата	94
6.2.6. Опасность поражения электрическим током	95
6.3. Экологическая безопасность	96
6.3.1. Охрана атмосферного воздуха от загрязнений	96
6.3.2. Охрана поверхностных вод от загрязнения.....	96
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	97
6.4.1. Пожар (загорание) – как источник ЧС	97
6.4.1. Электропоражение как источник ЧС	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
Список источников	101

Введение

В настоящее время в связи с тем, что легких нефтяных запасов стало меньше, добыча нефти в России характеризуется увеличением доли трудноизвлекаемой нефти. Что же такое трудноизвлекаемая нефть? Месторождения или объекты, создание которых определяется неудачными для добычи нефти в плане геологических условий и ее физическими свойствами. Такая нефть представляет собой запасы в шельфовой зоне, остаточную нефть на месторождениях, которые находятся в поздней стадии разработки, так же нефть с высоким значением вязкости.

Вязкость нефти является наиболее важной физической характеристикой, поскольку она напрямую влияет на ее текучесть (обратная вязкость). Вязкую нефть чрезвычайно сложно транспортировать по трубопроводу и трудно обрабатывать, что сложно для нефтяной промышленности.

Вязкость является важнейшей характеристикой при расчете технологических параметров, таких как:

1. подвижность углеводородного сырья в продуктивном пласте при добыче;
2. скорость фильтрации этого сырья в резервуаре;
3. при определении типа замещающего агента;
4. для выбора мощности экстракционного насосного оборудования;
5. при определении необходимых условий для транспортировки трубопроводов и т. д.

Учитывая вязкость нефти, можно даже приблизительно определить его состав, поскольку эта физическая характеристика увеличивается с увеличением молекулярных весов составляющих это полезное ископаемое

фракций. Другими словами, чем тяжелее добытое сырье, тем больше он содержит тяжелые углеводородные фракции, что означает, что его вязкость увеличивается. Высоковязкие марки черного золота содержат много смол и асфальтенов, что значительно усложняет обработку такого сырья. Исследуем понятие вязкости и методы измерения.

Вязкость жидкостей и методы ее измерения.

Вязкость, или коэффициент вязкости величина определяющая величину «текучести» среды. Определим величину вязкости. На рис. 1 видим две плоскости К и М, которые расположены параллельно в жидкости (среде). Расстояние между плоскостями К и М равно y_0 . Если зафиксировать плоскость К, плоскость М перемещается, причем параллельно плоскости К с постоянной скоростью v_0 , а жидкость между плоскостями так же движется параллельно плоскости К и создает равномерный поток, это называется потоком Куэтта.[1]

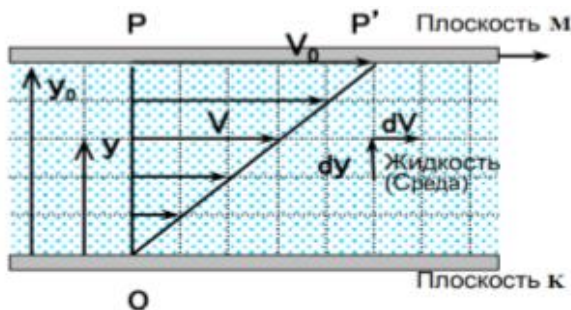


Рис. 1. Поток Куэтта (Ньютоновская среда)

Скорость на расстоянии y между плоскостями равна V . Показана связь между ними на рис. 1.

Угловой коэффициент прямой, соединяющий O и P' равен D .

$$D = \frac{V}{y}$$

Это значение равно приращению скорости на единицу расстояния. Т.е. градиенту скорости.

$$D = \frac{\partial V}{\partial y}$$

где D - скорость сдвига.

Слои жидкости на расстоянии y и $y+dy$ перемещаются со скоростью V и $V+ dV$. Между ними появляется внутренняя сила трения, из-за разницы скорости между слоями. Сила трения, приходящаяся на единицу площади поверхности, параллельно движению потока меж плоскостями K и M , называется тангенциальным напряжением.

$\tau = \eta \cdot D$ - Ньютоновский закон вязкости,

Где τ – тангенциальное напряжение. Коэффициент η называется вязкостью или коэффициентом вязкости.

$$\eta = \frac{\tau}{D}$$

Среды, которые подчиняются этому закону, вязкость которых при определенной температуре не изменяется, невзирая на скорость сдвига D и касательное напряжение, называются ньютоновскими средами. В случае, когда вязкость изменяется, при изменении скорости сдвига D и касательного напряжения, называется неньютоновской.



Рис. 2. Ньютоновские неньютоновские среды.

Рис. 2 демонстрирует соотношение между скоростью сдвига D и касательным напряжением τ . Если значения пропорциональны, то среда является ньютоновской (прямая 1). Пусть θ — угол наклона, тогда вязкость η определяется по уравнению:

$$\eta = \tan\theta$$

Текущность сред, которые описываются кривыми 2-5, представляют ньютоновские среды. Вязкость меняется от величины скорости сдвига.

Кривая 2 представляет дилатантную среду, вязкость у них увеличивается при увеличении скорости сдвига.

Кривая 3 соответствует псевдо-пластической среде, вязкость которой уменьшается при увеличении скорости сдвига.

Кривая 4 и прямая 4 случай псевдо-пластичной среды. Такая среда не обладает текущностью, пока значение скорости сдвига не станет больше или равно величине касательного напряжения τ_0 (предел текущести) в критической точке после увеличения этого значения, начиная с нуля. В случае, когда по достижению предела текущести, соотношение между τ и D

описывается прямой 4, это состояние называется вязкопластичной средой. Если кривой 4, не невязкопластичной.

Кривая 5 описывает тиксотропию. При увеличении и уменьшении скорости сдвига имеет место гистерезис. Гистерезис свойство систем, мгновенный отклик которых на приложенные к ним воздействия зависит в том числе и от их текущего состояния, а поведение системы на интервале времени во многом определяется ее предысторией. Жидкость, которая находилась в состоянии покоя; в движении превращается в гель (коллоидный раствор), потом, вернувшись вновь в состояние покоя, превращается в гель.

Единицы измерения вязкости $\tau - [\text{Па}]/[\text{с}^{-1}] = [\text{Па} \cdot \text{с}]$. Кинематическая вязкость.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Единицей измерения кинематической вязкости является $[\text{м}^2/\text{с}]$.

Обзор методов измерения вязкости

Ротационный метод

Ротационный вискозиметр измеряет вязкость путем измерения вращающего момента цилиндрических роторов, опущенных в образец[1].



Рис. 3. Ротационный вискозиметр

На рис. 3 опустили цилиндрический ротор в образец и вращают его с помощью двигателя с постоянной скоростью. В ротационных вискозиметрах используется метод измерения, основанный на том, что величина вязкости прямо пропорциональна крутящему моменту, необходимому для обеспечения равномерного вращательного движения. Как показано на рис. 4, когда вращение становится равномерным, крутящий момент, вызванный наличием вязкости и кручением пружины, будет сбалансирован. Угол закручивания пружины будет пропорционален вязкости образца, и соответствующий показатель будет указан на шкале. Некоторые приборы показывают цифровое значение коэффициента вязкости, преобразованное из величины крутящего момента.

Один из таких приборов изображен на рис. 3. Он называется одноцилиндровым ротационным вискозиметром, и в нем реализован простейший метод измерения.

Существует другой тип приборов, которые называются коаксиальными цилиндрическими вискозиметрами. Эти приборы имеют внешний и внутренний цилиндры с центральной осью. Для определения вязкости пространство между цилиндрами заполняется образцом, и цилиндры вращаются, образуя ламинарный поток.

Также существуют так называемые вискозиметры крутильного типа, которые определяют вязкость, измеряя величину постоянного вращательного момента.

Ротационные вискозиметры, в принципе, предоставляют высокоточный метод измерения. Однако они требуют использования нескольких видов роторов, для того чтобы обеспечить измерения в широком диапазоне. Диапазон измерений одного ротора узок, и, следовательно, замена роторов вызывает прерывание измерений и потерю времени.

Капиллярный метод

Капиллярный вискозиметр определяет вязкость пробы, протекающего через капилляр, путем измерения разности давлений на обоих концах капилляра.

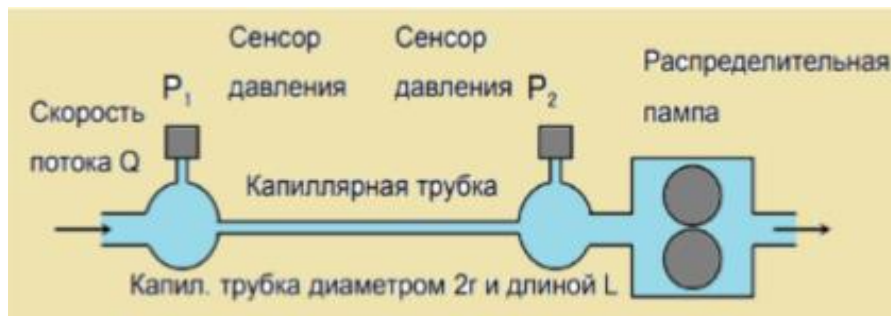


Рис. 4. Принцип работы капиллярного вискозиметра

Когда поток ламинарной жидкости проходит через цилиндрическую трубку, показанную на рис. 4, где символ Q обозначает объем потока в единицу времени (скорость), $2r$ - диаметр, L - длина капиллярной трубки, P_1 и P_2 - давление на концах капиллярной трубки, дифференциал давления $P_1 - P_2 = \Delta P$, скорость потока Q , прямо пропорциональная градиенту давления $\Delta P/L$. Этот феномен называется законом Пуазейля, и выражается уравнением

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta L}$$

Метод с падающим шариком

Вискозиметр с падающим шариком: вязкость определяется путем измерения времени, в течение которого цилиндрический или сферический объект должен упасть на определенное расстояние в образце.

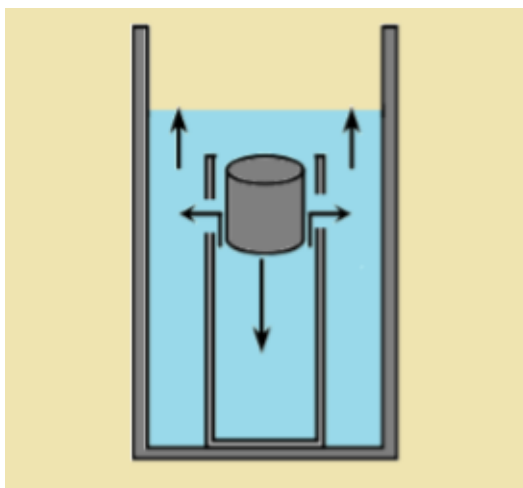


Рис. 5. Принцип работы вискозиметра с падающим шариком

Как показано на рис. 5, вискозиметр с падающим шариком измеряет вязкость, используя метод, при котором твердое тело, имеющее форму колонны или сферы, свободно падает в образец, размеры и плотность которого известны. Прибор измеряет время, необходимое для падения с определенной высоты. Рис. 5. иллюстрирует принцип измерения вязкости по закону свободного падения твердого тела в гравитационном поле.

Метод манжетного типа

Вискозиметр манжетного типа: вязкость определяется путем измерения времени заполнения контейнера образцом, вытекающим из отверстия.



Рис. 6. Вискозиметр манжетного типа

Ультразвуковые методы

Вязкость играет важную роль в поглощении энергии акустической волны, проходящей через жидкость. Используя ультразвуковые волны (104

Гц $< f < 108$ Гц), упругий, вязкоупругий и вязкий отклик жидкости может быть измерен до кратности 10 нс. Когда вязкость жидкости низкая, результирующий масштаб времени структурной релаксации короче, чем период ультразвуковой волны, и жидкость прощупал в релаксированном состоянии. Жидкости с высокой вязкостью, подвергнутые воздействию ультразвуковых волн, реагируют как жесткие жидкости, потому что структурное равновесие из-за акустического возмущения не завершается до следующего волнового цикла. Следовательно, говорят, что жидкость находится в нерабочем состоянии, которое характеризуется дисперсией (частотно-зависимой скоростью волны) и модулями упругости, которые отражают гораздо более жесткую жидкость. Зависимость вязкости от частоты относительно некоторой эталонной вязкости (η_0) при низкой частоте η / η_0 и поглощения на длину волны, $\alpha\lambda$, где α - коэффициент поглощения жидкости, а λ - длина волны волны сжатия, для жидкости с одним временем релаксации t показано на рисунке 7. Максимальное поглощение на длину волны имеет место при частоте релаксации, когда $\omega t = 1$ и сопровождается шагом в η / η_0 , а также в других свойствах, таких как скорость и сжимаемость.

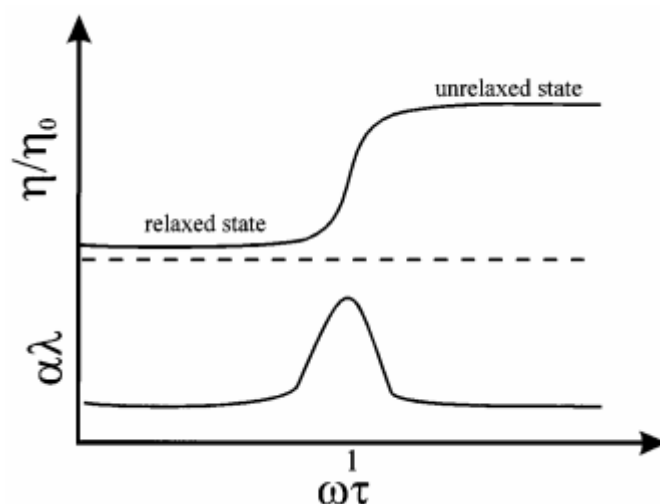


Рис 7. Влияние релаксации жидкости (частота релаксации соответствует $\omega\tau = 1$, где $\omega = 2\pi f$) на относительную вязкость (верхняя) и поглощение на длину волны (нижняя) в релаксированной упругой ($\omega\tau < 1$) и нерелаксированной вязкоупругой ($\omega\tau > 1$) режимах.

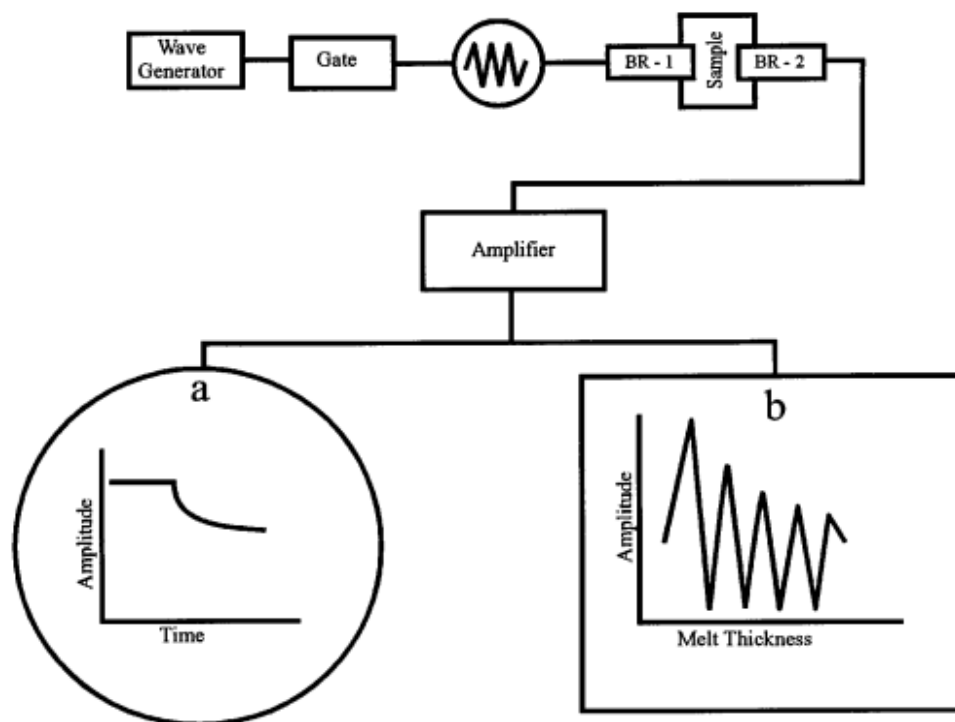


Рис 8. Принципиальная схема устройства для определения сдвига жидкости и определения объемной вязкости ультразвуком измерение затухания волны, показывающее амплитуду принимаемого сигнала через выходной буферный стержень (BR-2) с использованием (а) фиксированный буферный стержень (BR-2) с использованием (а) конфигурации фиксированного буферного стержня и (б) интерферометрической техники с подвижными Буферный стержень.

В зависимости от применения измеренных свойств, важно определить, находится ли жидкость в расслабленном или нераслабленном состоянии. Принципиальная схема типичного устройства для измерения вязкости ультразвуковым методом показана на рисунке 8. Механические колебания в пьезоэлектрическом преобразователе распространяются по одному из буферных стержней (BR-1 на рис. 8) и попадают в жидкий образец и воспринимаются аналогичным преобразователем, установленным на другом буферном стержне, BR-2. В конфигурации с фиксированным буферным стержнем, когда достигнуты установившиеся условия, подаваемый сигнал быстро отключается. Скорость затухания принятого и усиленного сигнала,

отображаемого на осциллографе на графике амплитуды в зависимости от времени, как показано на рис. 8 (а), дает меру α . Полученная амплитуда затухает как:

$$A = A_0 e^{-(b + \alpha c) t'}$$

где A -полученная амплитуда затухания, A_0 -входная амплитуда, b - аппаратная постоянная, которая зависит от других потерь в системе, например, из-за преобразователя, контейнера и т. д., которые можно оценить путем измерения затухания в стандартной жидкости, c -скорость волны сжатия жидкости, а t' -время. На низких частотах коэффициент поглощения выражается через объем и вязкость при сдвиге.

$$\left(\eta_v + \frac{4\eta}{3} \right) = \frac{\alpha \rho c^3}{2\pi^2 f^2}$$

Один из первых ультразвуковых методов измерения затухания в жидкостях основан на акустической интерферометрии. Помимо инструментов, необходимых для перемещения и определения положения одного. Что касается буферных стержней, то экспериментальная установка практически такая же, как и для фиксированной конфигурации буферных стержней. Измерение, однако, зависит от непрерывной интерференции акустической волны проходящих и отраженных волн в расплаве образца, когда один из буферных стержней отодвигается от другого стержня. Затухание характеризуется затуханием амплитуды максимумов как функции толщины расплава, как показано на интерферограмме на рисунке 8(б). Определение α по наблюдаемому декременту амплитуды включает численное решение системы уравнений, характеризующих распространение сложных волн. Идеальные условия, представленные в теории, не учитывают такие вещи, как кривизна волнового фронта, непараллельность конца буферного стержня, шероховатость поверхности и смещение. Эти проблемы могут быть решены

на этапе подбора амплитуды, но их может быть трудно преодолеть. Ультразвуковые методы не были и вряд ли станут основой определения вязкости жидкости просто потому, что они более технически сложны, чем обычная вискозиметрия. И хотя ультразвуковая вискозиметрия предоставляет дополнительные данные об упругих свойствах, ее ниша в вискозиметрии - это способность предоставлять данные об объемной вязкости. Поскольку нет другого вискозиметра для мера η_v , измерения ультразвукового поглощения играют уникальную роль в исследовании объемной вязкости.[3]

Вибрационный метод

Самый близкий метод измерения вязкости для нашего диплома это вибрационный метод. Принцип действия этого вискозиметра заключается в погружении зонда вискозиметра в вязкую среду и измерении показателей изменения вибрации, в соответствии с теорией вибрационной вискозиметрии. Преимуществами этого типа вискозиметра является значительно большая чувствительность по сравнению с ротационными. Такие электронные вискозиметры также способны измерять вязкость расплава при температурах до 2000 градусов Цельсия, что способствовало активному использованию таких приборов в металлургической промышленности.[2]

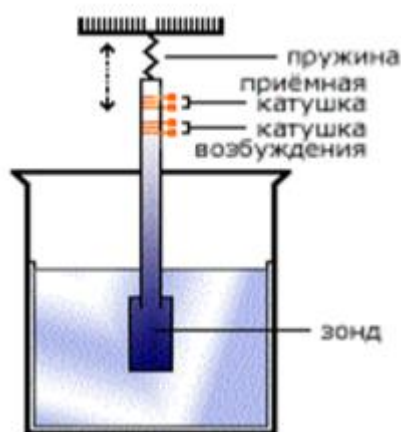


Рис. 9. Вибрационный вискозиметр

Введем обозначения: ω - частота колебаний, τ - время колебания тонкого упруго закрепленного зонда вибрационного вискозиметра, S - площадь пластины зонда вискозиметра; колебания происходят под действием гармонической силы $F_0 \sin \omega t$. Вязкость и плотность исследуемой среды соответственно обозначим η и d .

Для высоковязких жидкостей используется частотно-фазовый вариант вибрационного метода. Измеряется частота колебаний зонда вискозиметра, не погруженного ω_0 , погруженного ω в жидкость при сдвиге фаз $\varphi = \pi/2$.

Метод амплитудного резонанса используется для измерения менее вязких сред. В этом случае амплитуда A достигается максимальной (подбор частот колебаний).

Сравнение методов вискозиметрии

Сравнение производилось по наиболее широко применяемым методам вискозиметрии, описанным ранее. В таблице 1 представлена сравнительная таблица основных методов вискозиметрии[5].

Таблица 1 – Сравнение основных методов вискозиметрии

Критерии	Капиллярный вискозиметр	Вискозиметр с падающим шариком	Ротационный вискозиметр	Вибрационный вискозиметр
подходит для газов	да	нет	да	да
измеряет плотность	нет	нет	да	да
прямое измерение	нет	да	да	нет
движущиеся части, детали	нет	да	да	нет
диапазон измерения	узкий	узкий	широкий	широкий
возможность				

непрерывного режима работы	нет	нет	да	да
размер конструкции для поточного измерения	-	большой	большой	средний
Стоимость	низкий	низкий	низкий	высокий

Проведя сравнительный анализ методов вискозиметрии, была подтверждена правильность выбора метода вискозиметрии для разработки преобразователя вязкости. Данный выбор сделан по ряду преимуществ вибрационного метода вискозиметрии, по сравнению с другими рассмотренными выше.

Методы изменения вязкости нефти

Результативная перекачка нефти обуславливается пропускной способностью и экономической рентабельностью нефтепровода. Вязкость является проблемой для обеспечения желательной скорости перекачки нефти. Уменьшение ее снижает гидравлическое сопротивление нефтепровода, что уменьшает энергетические затраты на перекачку. Нефтеорождение с низкой температурой окружающей среды обуславливается такой высокой вязкостью нефти, что энергозатраты на перекачку превышают цену получаемого черного золота. Для увеличения добычи такой нефти ее подвергают обработке. Методы обработки делятся на группы:[4]

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

4. Переработка нефти с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Один из способов снижения вязкости нефти является ее термический нагрев. Нагрев осуществляется с помощью:

- котлов выделяющих тепло при сжигании угля, природного газа или нефти, отбираемой из этого же нефтепровода;
- отвод теплоты выделяемой при работе насосов при перекачке нефти на нефтеперекачивающих станциях;
- электрический обогрев нефтепровода.

Процесс термической обработки состоит в нагревании нефти до температуры, при которой растворяются содержащиеся в ней твердые парафиновые углеводороды, и охлаждении с заданной скоростью в определенных условиях (в движении или покое).

Для парафинистых нефтей существует оптимальная температура подогрева, при которой эффект термообработки наибольший. Эта температура всегда выше температуры плавления парафинов, находящихся в нефти. С увеличением температуры нагрева температура застывания сначала увеличивается, потом уменьшается, становясь минимальной при определенной температуре термообработки.

На свойства термообработанных нефтей большое влияние оказывают условия охлаждения нефти. Размер, количество и форма кристаллов парафинов зависят от соотношения двух скоростей: скорости возникновения центров кристаллизации парафиновых углеводородов и скорости роста уже выделившихся кристаллов. Если скорость возникновения центров кристаллизации выше скорости роста кристаллов, то получается система с большим числом мелких кристаллов, в противном случае в системе образуются крупные кристаллы и прочность такой структуры значительно

меньше мелкокристаллической. Для высокопарафинистой нефти оптимальная скорость охлаждения в статических условиях составляет 10—20 °С/ч. При такой скорости создается благоприятное соотношение скорости возникновения центров кристаллизации и скорости роста образовавшихся кристаллов парафина, и большая часть парафина идет на построение небольшого числа крупных кристаллов, образующих рыхлые скопления. В результате достигается значительный эффект улучшения свойств текучести нефти.

Другой способ уменьшения вязкости является добавление химических реагентов (депрессорных присадок). Депрессорные присадки к нефтям и тяжелым нефтепродуктам — это нефтерастворимые синтетические полимерные продукты, которые при введении в небольших количествах в нефть с повышенным содержанием парафина способны изменять ее вязкость и напряжение сдвига. Введение присадки существенно изменяет процесс кристаллизации в парафинистых нефтях. Уменьшение прочности и повышение пластичности нефти с депрессором следует объяснить образованием комплексов из молекул присадки и парафина, создающих пространственное препятствие формированию контактов кристаллического геля и уменьшающих их упорядоченность. В этом случае образуются смешанные кристаллы депрессор-парафин, что мешает объединению частиц в пространственную сетку.

Требуемая концентрация депрессора в нефти зависит от цели и конкретных условий использования. Так, для успешной перекачки нефти по магистральному трубопроводу в нее достаточно ввести присадку с массовой концентрацией 0,1—0,2 %. В случае транспорта смеси высокозастывающей нефти с маловязкими эта концентрация может быть уменьшена. Разработка и применение новых, более эффективных и дешевых присадок может в значительной степени способствовать техническому прогрессу

трубопроводного транспорта высокопарафинистых нефтей и тяжелых нефтепродуктов.

Отличительная особенность высокочастотного электромагнитного воздействия от других тепловых методов - возникновение в толще залежи объемных источников тепла. Вследствие диэлектрических потерь в среде энергия электромагнитных волн преобразуется в тепловую энергию, в результате происходит повышение температуры и снижение вязкости жидкости в пласте.

Широкий класс жидкостей обладает свойством изменять свою вязкость под действием внешней нагрузки, обнаруживая при этом вязкоупругие свойства, так называемые неньютоновские жидкости. В таких жидкостях, как правило, вязкость среды уменьшается с увеличением прикладываемых напряжений - среда скользит вдоль твердой поверхности. Этот эффект полезен для уменьшения вязкости нефти при перекачке по трубопроводам. Дело в том, что в условиях севера нефть быстро застывает и приобретает желеобразную структуру. При этом нефть ведет себя как упругое тело - деформируется пропорционально приложенному напряжению. Перепад давления, создаваемый перекачивающим насосом расходуется на статическую деформацию застывшей нефти. В таких условиях невозможно использовать стандартную перекачку - насосы не могут работать с загустевшей нефтью, потому что вязкие потери значительно увеличиваются при движении желеобразной массы по трубе. Этот способ, в отличие от используемых в настоящее время, различных типов разогрева трубопровода, гораздо экономичнее и существенно менее трудоемок. В самом деле, воздействие акустическими колебаниями на трубопровод в одной точке с малой мощностью позволяет практически мгновенно существенно снизить вязкость в тонком, прилегающем к стенкам трубопровода, слое желеобразной нефти на десятках и сотнях метров его длины вследствие высокой скорости распространения акустических колебаний по трубопроводу. По существу,

происходит разжижение тонкого пристеночного слоя под действием ультразвука. В результате в несколько раз уменьшается вязкое сопротивление движению нефти, что, в свою очередь, уменьшает пусковое давление и увеличивает скорость перекачки нефтепродукта.

Технология и оборудования ВСМА

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

До настоящего времени глубоко изучена зависимость реологических свойств высоковязких нефтей от влияния вибрационных воздействий и высоких сдвиговых скоростей. Научно-исследовательские работы в области механики полимеров при решении таких актуальных вопросов трубопроводного транспорта, как снижение вязкости нефти, откачка высоковязких нефтей из нефтехранилищ, пуск нефтепроводов после длительных остановок и снижение асфальтосмолопарафиновых отложений трубопроводов, показали, что, изменяя интенсивность внешних механических воздействий, можно в довольно широком диапазоне управлять реологическими свойствами структурированных систем [6].

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

Технология ВСМА - это способ многокомпонентного физикохимического воздействия, применяемый для изменения реологических свойств и получения требуемых параметров сложных жидких систем [7].

Многокомпонентное физическое воздействие ВСМА характеризуется предельными значениями параметров:

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

Сырая нефть, представляющая собой многокомпонентную жидкую смесь, мазут и другие нефтепродукты, состоящие из длинных молекул, являются типичными представителями неньютоновских жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами [6].

Существующие способы снижения или получения требуемых значений эффективной вязкости и статического напряжения сдвига указанных жидкостей (термические, химические и механические) как раз и направлены на регулирование либо сил взаимодействия, либо размеров локальных структурированных образований, а в некоторых случаях на их полное устранение. Применение этих метода позволяет частично решить технические проблемы при транспортировке нефти трубопроводами, осуществлять эффективный забор нефтяных шламов и отстоя, повысить качество промывочных и цементных растворов. Однако, при всем при этом,

эти известные методы неоправданно энергоемки, дорогостоящи и имеют, как правило, ограниченные диапазоны действия [8].

Следует отметить, что на сегодняшний день запасы нефти нефтедобывающей отрасли пополняются за счет вовлечением в оборот высоковязких нефтепродуктов. Свойства высоковязких нефтепродуктов характеризуются содержанием в своём составе парафина с высокой температурой застывания (кристаллизации) и образованием асфальтосмолопарафиновых отложений. Вследствие этого возникают существенные проблемы при её добыче, хранении и транспортировке. Технология и оборудование ВСМА улучшают реологические свойства высоковязкого нефтепродукта, воздействуя на надмолекулярные структуры нефти и поддержания этого уровня в течение длительного времени [7].

Для разработки технологий и оборудования, позволяющего нужным образом менять реологические свойства таких нефтей, необходимо проводить большой объём лабораторных исследований с применением всех воздействующих факторов. Поэтому разработка такого оборудования является актуальной задачей. Причём желательно чтобы такое оборудование обладало универсальными характеристиками. Оборудование ВСМА, принцип работы которого основан на резонансных колебаниях, позволяет получать информацию о вязкости, плотности и напряжению сдвига вязких жидкостей.

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

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

Целью выпускной квалификационной работы является разработка лабораторного прибора для изучения реологических свойств вязких жидкостей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструкцию лабораторного прибора, с учетом универсальности применения.
2. Определить основные электрические и механические характеристики прибора.
3. Разработать математическую модель лабораторного прибора.
4. Провести анализ режимов работы прибора, с целью определения его технических и технологических параметров.

1. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРИБОРА

Лабораторный прибор для изучения реологических свойств предназначен для проведения оперативных исследований. Следовательно, он должен быть рассчитан на обработку небольшого количества исследуемых вязких жидкостей. В общем случае прибор должен состоять из ёмкости, которая заполняется исследуемой жидкостью, измерительного зонда, совершающего колебательные движения в жидкости, и привода, обеспечивающего создание колебаний зонда. Учитывая, что свойства большинства жидкостей зависят от температуры, в конструкции прибора необходимо предусмотреть возможность её регулирования.

На стадии разработки экспериментального образца прибора примем количество исследуемой жидкости в объёме не более 250 мл.

Регулирование температуры исследуемой жидкости можно обеспечить применением тепловой рубашки, по которой циркулирует теплоноситель.

В качестве привода измерительного зонда логично использовать электромагнитный привод, состоящий из электромагнита с подвижным якорем. Якорь электромагнита имеет жесткую механическую связь с измерительным зондом.

Зонд присоединен к ножке камертона в виде камертонного измерительного устройства, как показано на рис. 1.1. Зонд в виде прямоугольной пластины находится симметрично от стенок измерительного сосуда, не касаясь их, и совершает вынужденные вертикальные периодические колебания $y_0 e^{i\omega t}$, где y_0 — амплитуда колебаний; i — мнимая единица; $\omega = 2\pi\nu$ — круговая частота; ν — основная частота колебаний камертона; t — время. Внешним источником возбуждается колебание на частоте ν с постоянной амплитудой, при этом фиксируется затраченная энергия. Использование камертона дает возможность реализовать высокую чувствительность измерений и обеспечивает

возможность непрерывной регистрации изменяющейся вязкости и плотности в достаточно широком диапазоне[10].

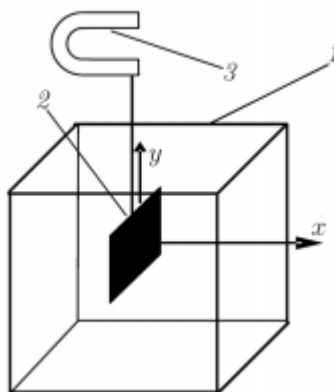


Рис. 1.1. Схема вискозиметрического прибора: 1 — измерительный сосуд с жидкостью; 2 — зонд; 3 — камертон

Датчик-зонд, который измеряет уровень жидкости, плотность, вязкость или комбинацию указанных параметров. Зонд представляет собой цилиндрическую трубку, установленную во фланце, которая подвергается вибрации. Внутри трубки эпоксидным клеем закреплены два пьезоэлектрических преобразователя, один из которых служит для получения вибрации, а другой - для восприятия. Недостатком датчика-зонда заключается в том, что чувствительный элемент (вибратор) омывается исследуемой жидкостью только с одной стороны, и при наличии давления в резонаторе появляются напряжения, приводящие к изменению частоты, а следовательно, к погрешности измерения параметров исследуемой среды (жидкости или газа) от давления. Основным недостатком датчика-зонда заключается в том, что пьезоэлементы для обеспечения функционирования вибратора требуют непосредственного соприкосновения с тонкостенной частью вибратора, что вносит дополнительную массу к вибратору и уменьшает чувствительность вибратора, т.е. увеличивает погрешность измерения. Кроме того, контакт пьезоэлементов с вибратором уменьшает его добротность, а следовательно, и точность измерения параметров исследуемой среды жидкости[9].

Измерительный зонд является основным элементом прибора. Конструкция зонда может быть выполнена различным образом, исходя из необходимости получения информации о том или ином параметре исследуемой жидкости.

При колебаниях в жидкости вместе с зондом колебания совершает и определённый объём жидкости, определяемой присоединённую массу. Следовательно, для определения плотности жидкости необходимо в приборе создать условия, когда параметры колебаний будут максимально зависеть от присоединённой массы жидкости при минимальной массе зонда. Таким условиям соответствует конструкция зонда, совершающего колебания по направлению перпендикулярно своей плоскости, что иллюстрируется Рис.1.2. При этом площадь зонда должна быть максимально большой.

Зонд, погружённый в жидкость, соединён с якорем электромагнитного привода, который совершает колебательные движения. Резонансная частота колебаний в жидкости определяется по выражению

$$\omega_{p.ж} = \sqrt{\omega_{0ж}^2 - \frac{R0^2}{2 \cdot (M_3 + M_{пр})^2}} \quad (1.1)$$

где $\omega_{0ж}$ – собственная частота колебаний, $R0$ – механическое сопротивление колебаний, M_3 - масса зонда, $M_{пр}$ – масса присоединённая.

Собственная частота, в свою очередь, также зависит от массы и определяется из соотношения

$$\omega_{0ж} = \sqrt{\frac{C}{M_3 + M_{пр}}} \quad (1.2)$$

где C – жёсткость пруженного подвеса.

Расчёт присоединённой массы для активатора прямоугольной формы с размерами основания $A \cdot B$ производится по выражению.

$$M_{пр} = \frac{\pi \rho A^2 B^2}{4 \sqrt{A^2 + B^2}} \left(1 - 0,425 \frac{AB}{A^2 + B^2} \right) \quad (1.3)$$

Механическое сопротивление R_0 , пропорциональное потерям на вязкое трение при расположении зонда по Рис. 1.2, составляет минимальную величину и поэтому процесс колебаний будет максимально зависеть от массы. Выполнение зонда из тонкой пластины обеспечивает его мизерную массу по отношению к массе присоединённой жидкости. Таким образом, резонансная частота и амплитуды колебаний зонда в исследуемой жидкости в существенной степени зависят от присоединённой массы. Фиксируя эти показатели, можно однозначно определять плотность исследуемой жидкости.

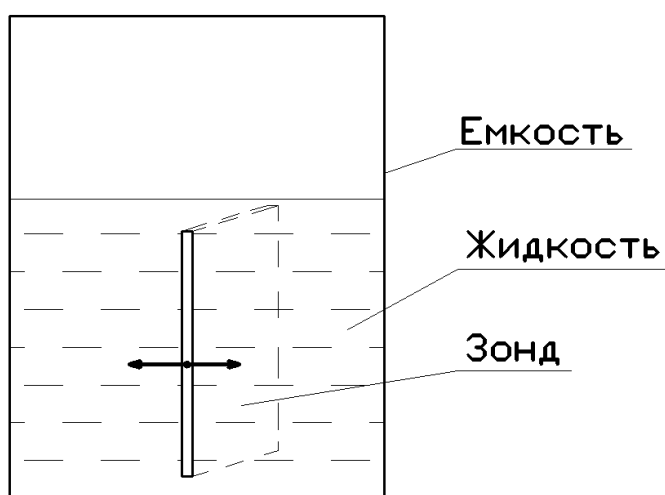


Рис.1.2. Принцип измерения плотности жидкости

В отличие от измерения плотности для измерения вязкости измерительный зонд (пластину) надо развернуть на 90 градусов Рис. 1.3. Масса присоединённая при этом будет минимальная, а колебания будут зависеть от потерь на трение, так как площадь соприкосновения зонда с жидкостью максимальная. На основании уровня изменения амплитуды сигнала можно оценить такой параметр, как вязкость. Измеренная максимальная амплитуда сравнивается с эталонными калибровочными точками и пересчитывается в абсолютные единицы вязкости.

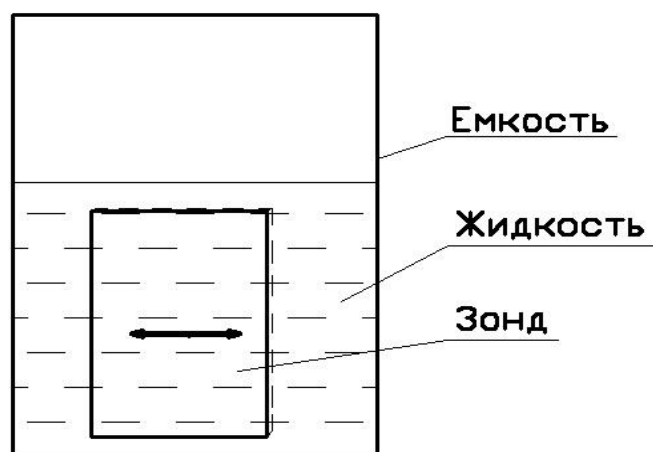


Рис. 1.3. Принцип измерения вязкости

1.1 Конструкция модуля виброобработки

Как показывает опыт разработок устройств ВСМА, использование модульного подхода лучше всего подходит для разработки конструкции устройства для снижения вязкости нефти. Он позволяет оптимально решать поставленные в работе задачи: в заданных габаритах обеспечить требуемую производительность и обеспечить надежность и высокую работоспособность.

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью вибрационного прибора для исследования реологических свойств жидкостей и осуществляет непосредственное виброструйное магнитное воздействие на жидкость. Принципиальное конструктивное решение общего вида МВО приведено на рисунке 1.1.1.

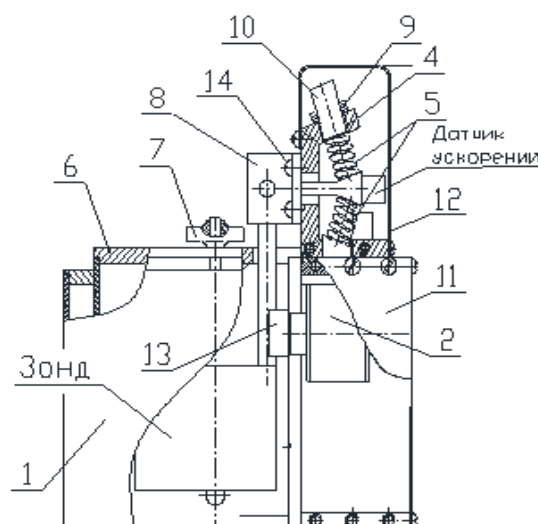


Рис. 1.1.1. - Конструкция модуля виброобработки

Модуль виброобработки состоит:

- 1-корпус;
- 2- электромагнита;
- 4-кронштейн;
- 5-пружина;
- 6-крышка;
- 7-барашек;
- 8-уголок;
- 9-гайка фиксатор;
- 10-винт регулировочный;
- 11-кожух мотор;
- 12-кожух пружин;
- 13-активатор.

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

Электромагнита 2 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жестко связан с телом, поэтому в этой конструкции колебания совершает активатор 13, являющийся якорем электромагнита. Сердечник электромагнита изготовлен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет.

Одинаковые катушки расположены на обоих стержнях сердечника. Активатор выполнен круглой формы из цельной заготовки. В корпусе активатора создается специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Возвращающую силу колебательной системы МВО формируют упругости 5, представляющие из себя цилиндрические пружины.

Регулировочный винт 10 предназначен для регулировки начального зазора между активатором и стенкой корпуса МВО.

МВО, представляющий собой колебательную систему, работает в резонансном режиме, что позволяет осуществлять комплексное вибрационное магнитное воздействие с минимальным потреблением энергии. Это связано с тем, что амплитуда колебаний активатора при резонансе максимальна. Резонансный режим обеспечивается соответствующим соотношением значений массы колеблющихся элементов и жесткости пружин. Начальным значением для определения жесткости пружины является масса активатора.

Режим работы модуля обработки на воздухе соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери на вязкое трение среды практически отсутствуют. В таком случае, при известной массе активатора и частоте колебаний, можно расчётным путём определить жёсткость пружин. Практикой разработки устройств ВСМА установлено, что частота собственных колебаний ЭМП должна находиться в пределах, от 60 до 70 Гц. По условиям задания на выполнение ВКР собственная частота колебательной системы установлена 70 Гц. Масса активатора определяется из его геометрических размеров. Размер активатора выбирается исходя из размеров магнитопровода, в общем виде приведенным на рисунке 1.1.2. Размеры магнитопровода, определенные заданием на ВКР, представлены в таблице 1.1.1.

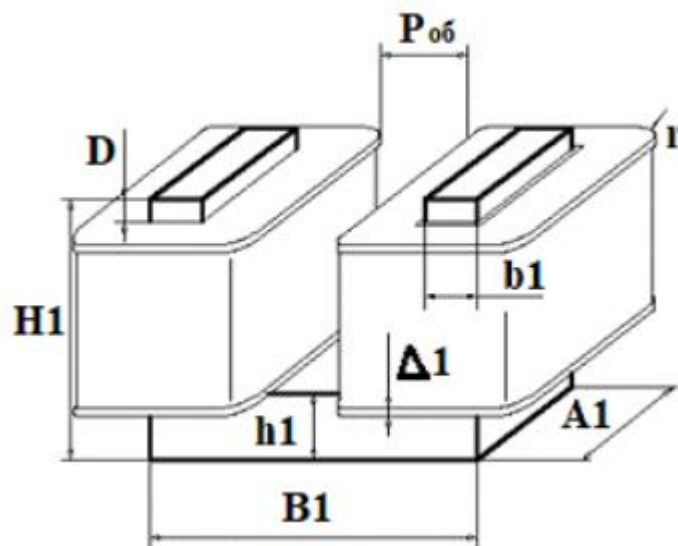


Рисунок 1.1.2 - Общий вид конструкции магнитопровода

Таблица 1.1.1 – размеры магнитопровода

Расстояние между обмотками	$P = 2 \text{ мм}$
Зазор между обмоткой и стенкой корпуса	$D = 4 \text{ мм}$
Высота спинки	$h1 = 7,8 \text{ мм}$
Высота стержня	$H1 = 34 \text{ мм}$
Ширина полюса	$b1 = 5,6 \text{ мм}$
Длина полюса	$A1 = 12 \text{ мм}$
Длина спинки	$B1 = 33 \text{ мм}$
Толщина стенки каркаса обмотки	$\Delta 1 = 2 \text{ мм}$

Определение обмоточных данных катушек электромагнитного привода

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

$$\begin{aligned}
 S_{\text{окн}} &= (H1 - h1 - D - 2\Delta 1) \cdot (B1 - 2b1 - 2\Delta 1 - P) = (0,034 - \\
 &0,0078 - 0,004 - 2 \cdot 0,002) \cdot (0,033 - 2 \cdot 0,0056 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) = \\
 &= 0,00028 \text{ м}^2
 \end{aligned}
 \tag{1.1.1}$$

Исходя из технологических соображений, для обмоток устройств ВСМА рекомендуется выбирать обмоточный провод диаметром в диапазоне от 0,2 до 2 мм. Выбираем диаметр обмоточного провода равным 0,2 мм.

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

Расчётное количество витков равно:

$$K = \frac{S_{\text{окн}} \cdot k_{\text{зап}}}{\pi \cdot d_{\text{пр.и}}^2} = \frac{0,00028 \cdot 0,55}{3,14 \cdot 0,00023^2} = 1900 \quad (1.1.2)$$

$k_{\text{зап}}$ -коэффициент заполнения. Выбирается в пределах от 0,45 до 0,6.

Расчётная толщина обмотки, м:

$$Q = \frac{(B1-2b1-2\Delta1-P)}{2} = \frac{(0,033-2 \cdot 0,0056-2 \cdot 0,002-0,002)}{2} = 0,0079 \text{ м} \quad (1.1.3)$$

Расчётное количество слоёв обмотки:

$$N_{\text{сл.об}} = \frac{Q}{d_{\text{пр.и}}} = \frac{0,0079}{0,00023} = 34 \quad (1.1.4)$$

Расчётное количество рядов обмотки:

$$N_{\text{р.об}} = \frac{K}{N_{\text{сл.об}}} = \frac{1900}{34} = 56 \quad (1.1.5)$$

Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита

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

Длина среднего витка катушки равна:

$$L_{\text{ср}} = 2A1 + 2b1 + 4\Delta1 + 2\pi R_{\text{скр}} = 2 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,0056 + 4 \cdot 0,002 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,004 = 0,0685 \text{ м} \quad (1.1.6)$$

где: $R_{\text{скр}} = \frac{(N_{\text{сл.об}}+1) \cdot d_{\text{пр.и}}}{2} = \frac{(5+1) \cdot 0,00023}{2} = 0,004$ Средний радиус скругления обмотки, м

Расчётная длина провода обмотки, м:

$$L_{\text{пр.об}} = L_{\text{ср}} \cdot K = 0,0685 \cdot 1900 = 130 \text{ м} \quad (1.1.7)$$

Активное сопротивление обмотки, Ом:

$$R_{\text{об}} = 4\rho_{\text{м}} \cdot \frac{L_{\text{пр.об}}}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2} = 4 \cdot 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{130}{3,14 \cdot 0,0002^2} = 72,64 \text{ Ом} \quad (1.1.8)$$

где: $\rho_{\text{м}}$ - удельное сопротивление меди, $\rho_{\text{м}} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии:

$$R_{\text{об.гор}} = R_{\text{об}} \cdot (1 + \tau_{\text{м}} \cdot \Delta T) = 72,64 \cdot (1 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 70) = 91,96 \text{ Ом} \quad (1.1.9)$$

где: $\tau_{\text{м}}$ —температурный коэффициент электрического сопротивления, $\text{Ом} \cdot ^\circ\text{C}$

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

Допустимый ток в обмотке, А:

$$I_{\text{доп}} = j_{\text{доп}} \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{пр}}^2}{4} = 2,4 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,0002^2}{4} = 0,0754 \text{ А} \quad (1.1.10)$$

где: $j_{\text{доп}} = 2,4 \cdot 10^6$ -допустимая плотность тока в обмотке , $\text{А} / \text{м}^2$.

Дополнительные расчётные данные:

Сечение полюсного наконечника, м^2 :

$$S_{\text{пол}} = A1 \cdot b1 = 0,012 \cdot 0,0056 = 6,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \quad (1.1.11)$$

Диаметр к.з витка:

$$D_{\text{к.з}} = \sqrt{A1^2 + b1^2} = \sqrt{0,012^2 + 0,0056^2} = 0,0132 \text{ м} \quad (1.1.12)$$

Длина контура к.з витка:

$$l_{к.з} = 1,1\pi \cdot D_{к.з} = 1,1 \cdot 3,14 \cdot 0,0132 = 0,0458 \text{ м} \quad (1.1.13)$$

Толщина к.з витка, образованного корпусом:

$$\tau_{к.з} = 0,001 \text{ м} \quad (1.1.14)$$

Толщина к.з витка, образованного массивным якорем:

$$H_a = 0,01 \text{ м} \quad (1.1.15)$$

Средняя длина магнитной цепи:

$$l_{ср} = 2(B1 - b1) + 2\left(H1 - \frac{h1}{2}\right) + \tau_{к.з} + H_a = 2(0,033 - 0,0056) + 2\left(0,034 - \frac{0,0078}{2}\right) + 0,001 + 0,01 = 0,126 \text{ м} \quad (1.1.16)$$

Число витков в катушке:

$$W = K = 1900 \quad (1.1.17)$$

Сечение к.з витка якоря:

$$S_{к.з} = \tau_{к.з} \cdot 0,1 \cdot D_{к.з} \cdot 10^6 = 0,001 \cdot 0,1 \cdot 0,0132 \cdot 10^6 = 1,3242 \text{ мм}^2 \quad (1.1.18)$$

Сечение к.з витка якоря:

$$S_{к.з} = H_a \cdot 0,1 \cdot D_{к.з} \cdot 10^6 = 0,01 \cdot 0,1 \cdot 0,0132 \cdot 10^6 = 13,2424 \text{ мм}^2 \quad (1.1.19)$$

Активное сопротивление основного контура(одной катушки):

$$R_k = R_{о6} = 72,64 \text{ Ом} \quad (1.1.20)$$

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

2.1 Электрические контуры

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

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

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

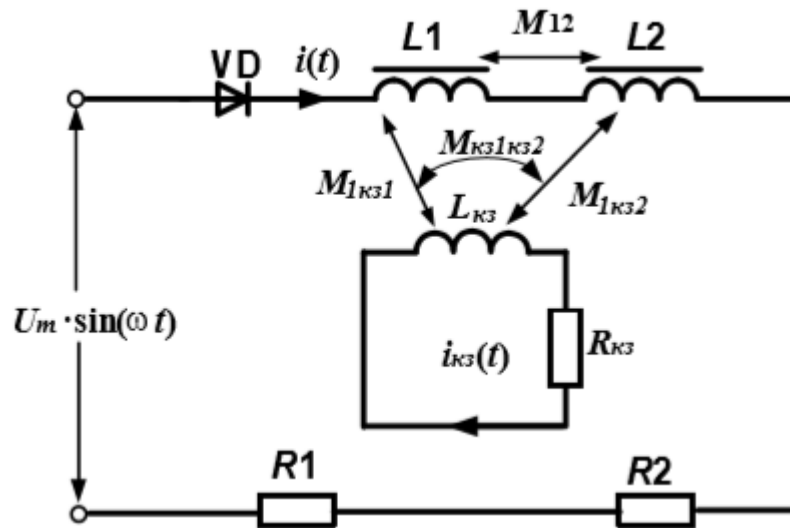


Рис.2.1.1 – Схема замещения электрической части устройства
Схема (рисунок 2.1.1) включает в себя следующие элементы:

M_{12} – индуктивность взаимная между катушками;

L_1, L_2 – индуктивности катушек;

$L_{к.з}, R_{к.з}$ – активное и индуктивное сопротивление короткозамкнутого контура соответственно;

R_1, R_2 – активные сопротивления катушек;

$M_{к.з1к.з2}$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми катушками;

$M_{1к.з1}, M_{1к.з2}$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и катушками.

Рассчитаем параметры электрического контура для начального зазора.

Активное сопротивления катушек по заданию:

$$R_1 = R_2 = R_{об} = 72,64 \text{ Ом} \quad (2.1.1)$$

Активное сопротивление к.з контура корпуса:

$$R_{к.з} = \rho_{ст} \cdot \frac{\pi}{0,1 \cdot \tau_{к.з}} \cdot 10^{-6} = 4,75 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3,14}{0,1 \cdot 0,001} \cdot 10^{-6} = 1,49 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \quad (2.1.2)$$

Активное сопротивление к.з контура якоря:

$$R_{к.з} = \rho_{ст} \cdot \frac{\pi}{0,1 \cdot H_a} \cdot 10^{-6} = 4,75 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3,14}{0,1 \cdot 0,01} \cdot 10^{-6} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Ом} \quad (2.1.3)$$

где : $\rho_{ст}$ - удельное электрическое сопротивление (стали), Ом·м;

Рассчитаем значений индуктивность обмотки основной:

$$L1 = L2 = L_{об} = \frac{W^2 \cdot \mu_{ст} \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{2,5(2X_0 \cdot \frac{\mu_{ст}}{10} + l_{ср} + 10 \cdot Q)} = \frac{1900^2 \cdot 500 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 6,72 \cdot 10^{-5}}{2,5(2 \cdot 0,005 \cdot \frac{500}{10} + 0,126 + 10 \cdot 7,9 \cdot 10^{-3})} = 0,0865 \text{ Гн} \quad (2.1.4)$$

где : X_0 - воздушный зазор $X_0=0,005$ м;

μ_0 -магнитная проницаемость вакуума (воздуха) $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$;

$\mu_{ст}$ -относительная магнитная проницаемость стали $\mu_{ст}=500$;

Индуктивность условного витка к.з контура:

$$L_{к.з} = 2 \cdot 10^{-7} \pi \cdot D_{к.з} \cdot \left(\ln \left(8 \cdot \frac{D_{к.з}}{\sqrt{2 \cdot h_{к.з} \cdot \frac{(D_{к.з}-A1)}{\pi}}}} \right) - 1,75 \right) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14 * \\ * 0,0132 \cdot \left(\ln \left(8 \cdot \frac{0,0132}{\sqrt{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(0,0132-0,012)}{3,14}}}} \right) - 1,75 \right) = 2,8096 \cdot 10^{-8} \text{ Гн} \quad (2.1.5)$$

где : $D_{к.з}$ - Диаметр к.з витка $D_{к.з} = 0,0132$ м;

$h_{к.з}$ - Высота условного витка к.з контура: $h_{к.з} = \frac{\tau_{к.з}}{2} = \frac{0,01}{2} = 5 \cdot 10^{-4}$ м;

Рассчитываем значения взаимных индуктивностей:

$$M_{12} = \frac{W^2 \cdot \mu_{ст} \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{5(2X_0 \cdot \frac{\mu_{ст}}{10} + l_{ср} + 10 \cdot Q)} = \frac{1900^2 \cdot 500 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 6,72 \cdot 10^{-5}}{5(2 \cdot 0,005 \cdot \frac{500}{10} + 0,126 + 10 \cdot 7,9 \cdot 10^{-3})} = 0,0433 \text{ Гн} \quad (2.1.6)$$

Взаимоиндуктивность между короткозамкнутыми витками:

$$M_{к.з} = \frac{W \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{X_0 + H1 - h1} = \frac{1900 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 6,72 \cdot 10^{-5}}{0,005 + 0,034 - 0,0078} = 5,144 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (2.1.7)$$

Диаметр условного витка:

$$d_a = \sqrt{4 \cdot \frac{S_{к.з}}{\pi}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{4 \cdot \frac{13,2424}{3,14}} \cdot 10^{-3} = 4,1062 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \quad (2.1.8)$$

Уравнение равновесия напряжений для основного контура:

$$U_m \sin(\omega t) = I_{\text{доп}} \cdot R_k + \frac{d\Psi_{\Sigma}}{dt} \quad (2.1.9)$$

где: $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток в обмотке;

Ψ_{Σ} – суммарное потокосцепление катушек L1, L2;

R_k – Активное сопротивление основного контура.

суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\Psi_{\Sigma} = \Psi_1 + \Psi_2 \quad (2.1.10)$$

Ψ_1 – суммарное потокосцепление катушки L1, которая является сумму потокосцеплений этой катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

Ψ_2 – суммарное потокосцепление катушки L2, которая является сумму потокосцеплений этой катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

Ψ_1 – суммарное потокосцепление катушки L1 определяется как:

$$\Psi_1 = \Psi_{\text{соб.инд1}} + \Psi_{\text{вз.инд1}} + \Psi_{\text{вз.инд.к.з1}} \quad (2.1.11)$$

где: $\Psi_{\text{соб.инд1}} = I_{\text{доп}} \cdot L_1$ – собственное потокосцепление катушки L1;

$\Psi_{\text{вз.инд1}} = I_{\text{доп}} \cdot M_{12}$ – потокосцепление катушки L1 с катушкой L2;

$\Psi_{\text{вз.инд.к.з}} = I_{\text{к.з}} \cdot M_{\text{к.з1}}$ – потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Ψ_2 – суммарное потокосцепление катушки L2 определяется как:

$$\Psi_2 = \Psi_{\text{соб.инд2}} + \Psi_{\text{вз.инд2}} + \Psi_{\text{вз.инд.к.з2}} \quad (2.1.12)$$

где: $\Psi_{\text{соб.инд2}} = I_{\text{доп}} \cdot L_2$ - собственное потокоцепление катушки L_2 ;

$\Psi_{\text{вз.инд2}} = I_{\text{доп}} \cdot M_{12}$ - взаимная потокоцепление катушки L_1, L_2 ;

$\Psi_{\text{вз.инд.к.32}} = I_{\text{к.3}} \cdot M_{\text{к.32}}$ - потокоцепление с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение;

$$U_m \sin(\omega t) = I_{\text{доп}} \cdot R_{\text{к}} + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{d\Psi_2}{dt} \quad (2.1.13)$$

где: потокоцепление Ψ_1, Ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{вз.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{вз.инд.к.31}}}{dt} = \frac{I_{\text{доп}} \cdot L_1}{dt} + \frac{I_{\text{доп}} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{I_{\text{к.3}} \cdot M_{\text{к.31}}}{dt} \quad (2.1.14)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{вз.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{вз.инд.к.32}}}{dt} = \frac{I_{\text{доп}} \cdot L_2}{dt} + \frac{I_{\text{доп}} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{I_{\text{к.3}} \cdot M_{\text{к.32}}}{dt} \quad (2.1.15)$$

Используя выражение получим общую расчетную формулу:

$$U_m \sin(\omega t) = I_{\text{доп}} \cdot R_{\text{к}} + I_{\text{доп}} \cdot \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{dM_{\text{к.31}}}{dt} + \frac{dM_{\text{к.32}}}{dt} \right) + \frac{dI_{\text{доп}}}{dt} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\text{к.31}} + M_{\text{к.32}}) \quad (2.1.16)$$

Упростим уравнение, заменив дифференциал произведение на суммы двух дифференциалов:

$$U_m \sin(\omega t) = U_m \sin(\omega t) - I_{\text{доп}} \cdot R_{\text{к}} - I_{\text{доп}} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\text{к.31}-1} + M_{\text{к.32}-1} - M_{\text{к.32}-2} + M_{\text{к.31}-2}) = \frac{dI_{\text{доп}}}{dt} \cdot \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{dM_{\text{к.31}}}{dt} + \frac{dM_{\text{к.32}}}{dt} \right); \quad (2.1.17)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура:

$$0 = I_{\text{к.3}} \cdot R_{\text{к.3}} + \frac{d\Psi_{\text{к.31}}}{dt} \quad (2.1.18)$$

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

2.2 Механические контуры

Схема устройства механического контура, учитывающая массу колебательной системы, жёсткость пружины представлена на рисунке 2.2.1.

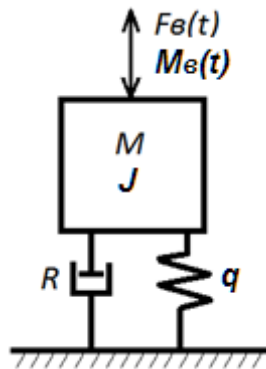


Рисунок 2.2.1 – Расчётная схема устройства

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

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

$$m \cdot \frac{d^2x(t)}{dt^2} + R \cdot \frac{dx(t)}{dt} + k \cdot x(t) = F(t) \quad (2.2.1)$$

где: $m = m_a + m_{пр}$, – общая масса;

m_a – масса активатора;

$m_{пр}$ – присоединенная масса;

k – коэффициент жесткости;

$F(t)$ – возмущающая сила.

2.3 Система уравнений математической модели устройства

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

Группируем однородные члены выражения 2.1.9, чтобы составить систему управления для основного контура, удобную для решения системы численного метода.

$$\frac{dI_{\text{доп}}}{dt} = \frac{U_m \sin(\omega t) - I_{\text{доп}} \cdot R_k - I_{\text{доп}} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{dM_{k.31}}{dt} + \frac{dM_{k.32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}} \quad (2.3.1)$$

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

$$\frac{I_{k.3}}{dt} = \frac{-I_{k.3} \cdot R_{k.3} - I_{k.3} \left(\frac{L_{k.3}}{dt} + \frac{M_{k.31k.32}}{dt} + \frac{M_{k.31}}{dt} + \frac{M_{k.32}}{dt} \right)}{L_{k.3}} \quad (2.3.2)$$

Запишем уравнение для механического контура:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + R \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F(t) \quad (2.3.3)$$

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

$$\frac{dx}{dt} = y \quad (2.3.4)$$

Тогда перепишем общее уравнение движения колебательного контура:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t)}{m} - \frac{R}{m} y - \frac{kx}{m} \quad (2.3.5)$$

где: $F(t)$ - возмущающая сила;

y - скорость колебаний активатора;

x – амплитуда колебаний активатора.

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{\text{доп}}}{dt} = \frac{U_m \sin(\omega t) - I_{\text{доп}} \cdot R_k - I_{\text{доп}} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{dM_{k.31}}{dt} + \frac{dM_{k.32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}} \\ \frac{I_{k.3}}{dt} = \frac{-I_{k.3} \cdot R_{k.3} - I_{k.3} \left(\frac{L_{k.3}}{dt} + \frac{M_{k.31k.32}}{dt} + \frac{M_{k.31}}{dt} + \frac{M_{k.32}}{dt} \right)}{L_{k.3}} \\ \frac{dy}{dt} = \frac{F(t)}{m} - \frac{R}{m} y - \frac{kx}{m} \\ \frac{dx}{dt} = y \end{array} \right. \quad (2.3.6)$$

2.4 Алгоритм расчёта системы уравнений

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

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

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

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

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

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

Расчеты выполняются путем расчетов, когда они принимаются дискретно во времени. Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ I_{i+1} \\ t_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_i + h \\ if(I_i + K(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, I_i + K(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ I_{k_i} + M(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ if(x_i + C(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq \delta 0, \delta 0, x_i + C(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$

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

3. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

3.1 Анализ режимов работы при разных показателях вязкости и плотности

Соблюдая условие не превышения допустимой плотности тока в проводнике катушек, который составляет не более 0,0754 А, необходимо при уменьшении частоты снижать и величину питающего напряжения, соблюдая постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$.

Произведем расчет частотных характеристик на математической модели при разных значениях вязкости и плотности. Расчёт будем производить с постоянным начальным зазором $X_0=0,005$ м и собственной частотой системы $f_0=51$ Гц, при разных механических сопротивлениях.

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

На рисунки 3.1.1 и 3.1.2 приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: амплитуда колебаний, начальный зазор, тока в основной цепи и тока в короткозамкнутых контурах в зависимости от времени.

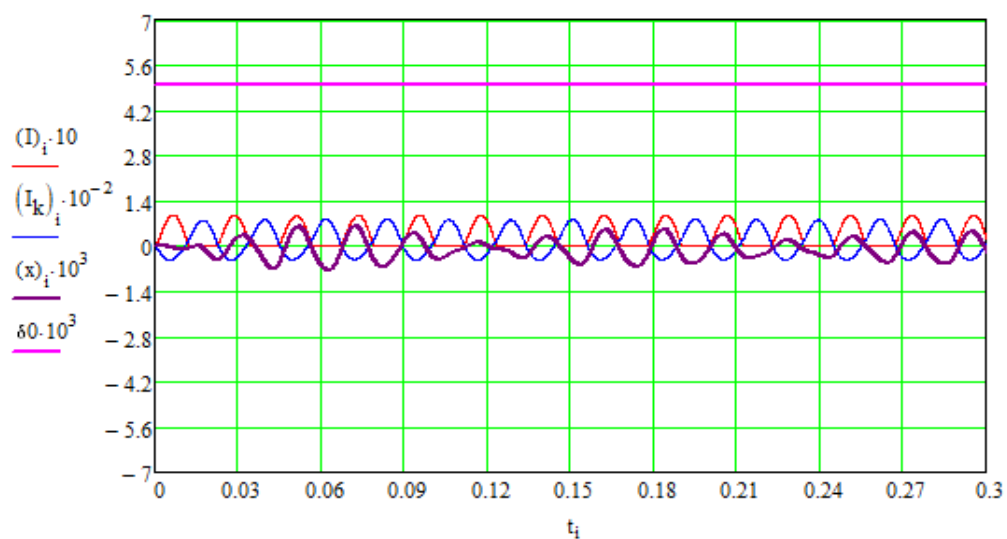


Рисунок 3.1.1 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц,
 $U=19$ В, $R_m=0,5$ кг/с.

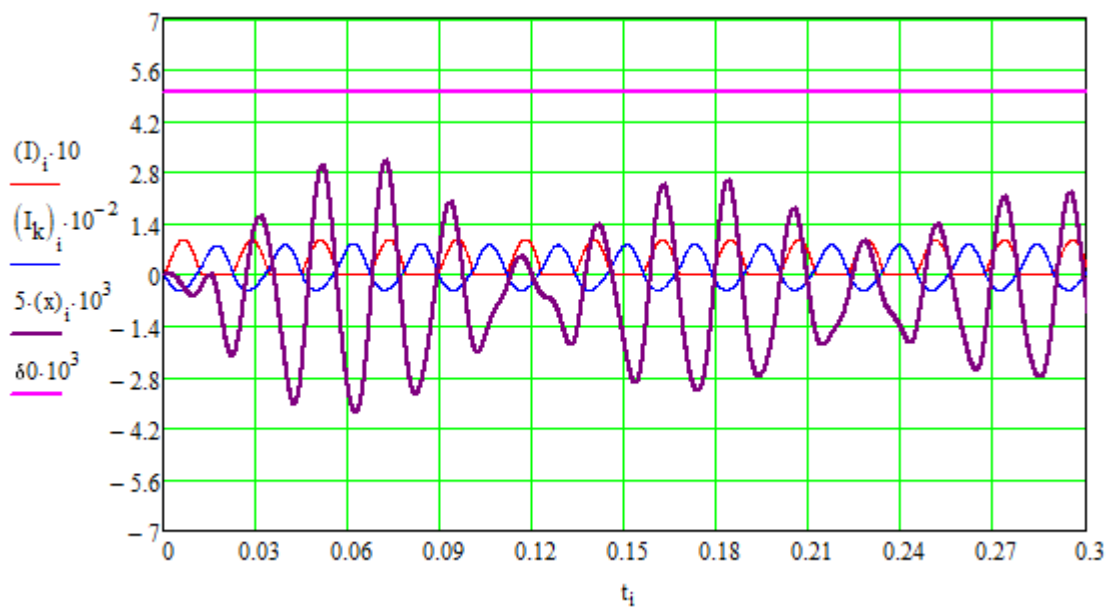


Рисунок 3.1.2 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц,
 $U=19$ В, $R_m=0,5$ кг/с, $\rho=800$ кг/м³.

X_i – амплитуда колебаний активатора;

X_o – начальный зазор;

I – ток в основной цепи;

I_k – ток в короткозамкнутых контуре.

Из рисунка 3.1.1 следует, что при частоте питающего напряжения 45 Гц, механическом сопротивлении $R_m=0,5$ кг/с и напряжении 19 В амплитуда колебаний зонда не превышает начальному зазору 0,005 м.

Как видно из рисунка 3.1.2 при плотности $\rho=800$ кг/м³, частоте питающего напряжения 45 Гц и напряжении 19 В амплитуда колебаний зонда не превышает начальному зазору 0,005 м.

Изменения тока в основном контуре практически не значительны. В обоих случаях амплитуда находится в допустимых пределах начального зазора.

Данные расчетов частотных характеристик работы установка при изменении частоты питающего напряжения сведены в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1. Данные расчетов вязкости и плотности при механическом сопротивлении $R_{m0}=0,5$ кг/с

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Δx , мм	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$7,59 \cdot 10^{-4}$
I_d , А	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,058	0,063	0,067	0,072
$I_{кз}$, А	29,782	35,108	40,49	46,054	52,885	48,275	58,433	64,309	70,005
U, В	13	15	17	19	21	23	26	28	30

Расчет при значениях механического сопротивления $R_{m0}=1,5$ кг/с, и плотность $\rho=1200$ кг/м³, полученные данные заносятся в таблицу 3.1.2.

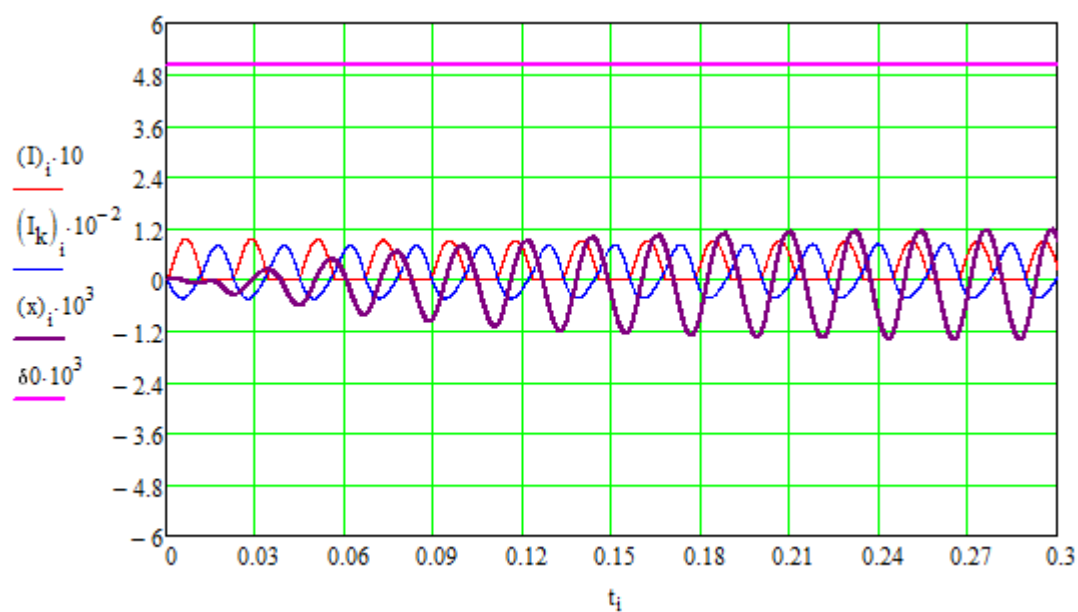


Рисунок 3.1.3 - График частотных характеристик вязкости при $f=30$ Гц, $U=51$ В, $R_m=1,5$ кг/с.

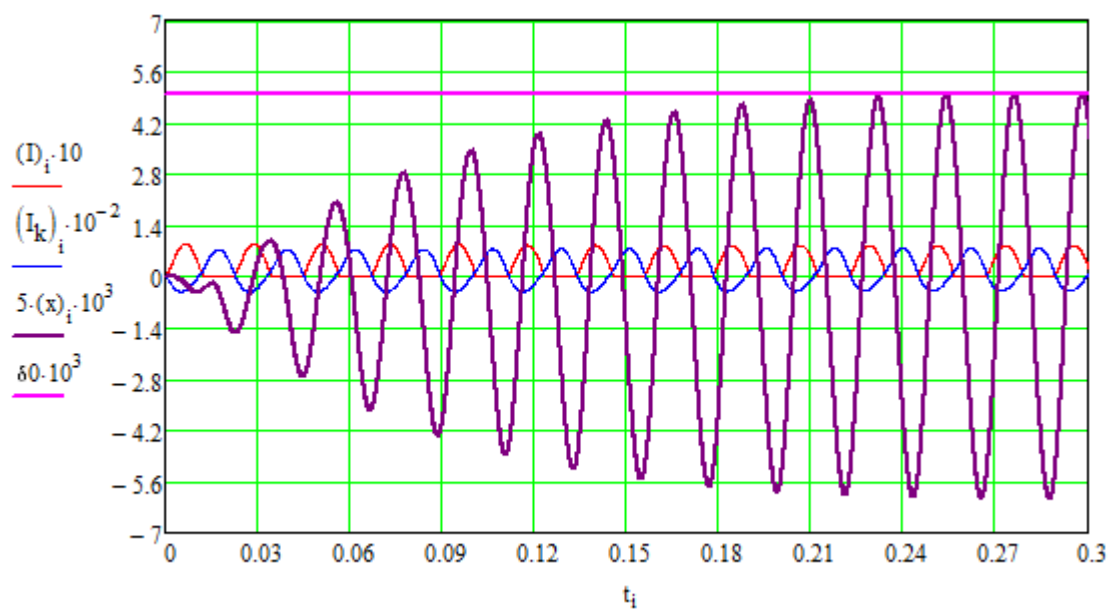


Рисунок 3.1.4 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц, $U=18$ В, $R_m=1,5$ кг/с, $\rho=1200$ кг/м³.

X_i – амплитуда колебаний активатора;

X_0 – начальный зазор;

I – ток в основной цепи;

I_k – ток в короткозамкнутых контуре.

Как видно из рисунков 3.1.3 и 3.1.4 в режиме пуска происходит плавное изменение амплитуда колебаний зонда, и, через несколько периодов работает в установившемся режиме. Амплитуда колебаний зонда не превышает начальному зазору 0,005 м.

Таблица 3.1.2. Данные расчетов вязкость при механическом сопротивлении

$$Rm0=1,5 \text{ кг/с}$$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Δx , мм	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$4,46 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
I_d , А	0,03	0,035	0,04	0,044	0,053	0,053	0,063	0,067	0,072
I_{k3} , А	28,015	32,886	37,956	43,131	48,524	54,423	59,857	65,166	70,434
U, В	12	14	16	18	21	23	25	28	30

Расчет при значениях механического сопротивления $Rm0=2,5 \text{ кг/с}$ и плотность $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$, и полученные данные заносятся в таблицу 3.1.3.

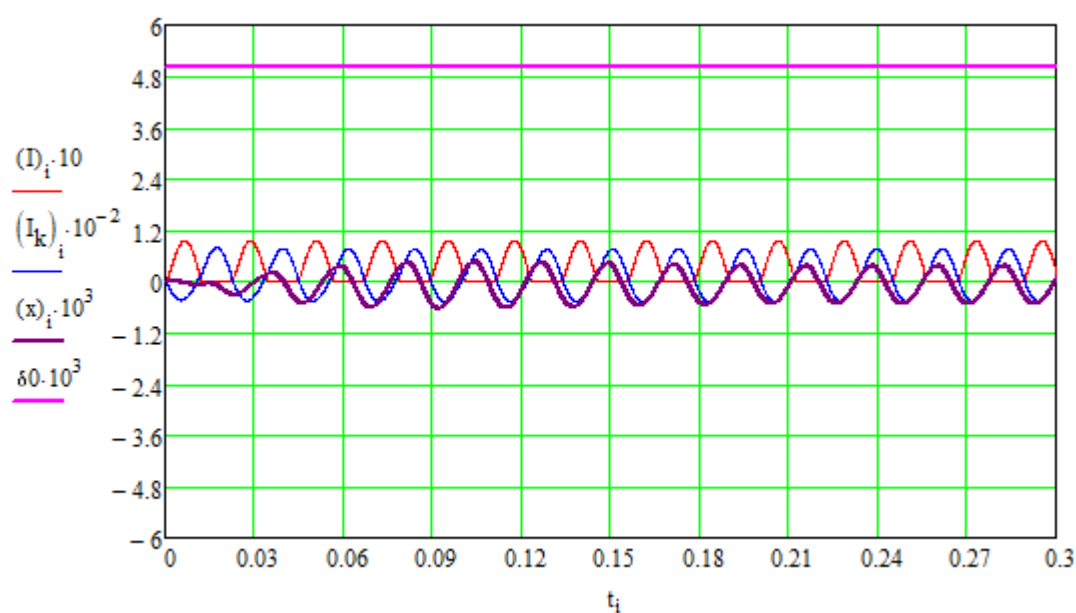


Рисунок 3.1.5 - График частотных характеристик плотности при $f=45 \text{ Гц}$,
 $U=19 \text{ В}$, $Rm=2,5 \text{ кг/с}$.

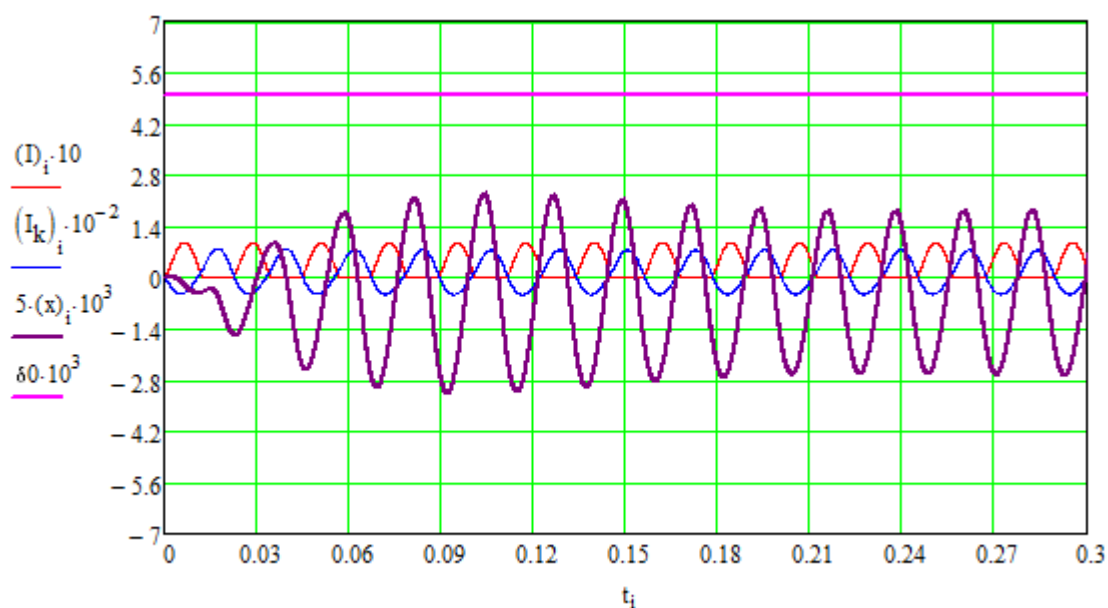


Рисунок 3.1.6 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц,
 $U=19$ В, $R_m=2,5$ кг/с, $\rho=1600$ кг/м³.

Как видно из рисунков 3.1.5 и 3.1.6 амплитуда находится в допустимых пределах начального зазора. Изменения тока в основном контуре практически не значительны. Ток в короткозамкнутом контуре при механическом сопротивлении равном 2,5 кг/с немного больше за счет увеличения потерь при нагреве элементов, но на параметры работы устройства это никак не повлияет.

Таблица 3.1.3. Данные расчетов вязкость при механическом сопротивлении

$R_{m0}=2,5$ кг/с

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Δx , мм	$1,86 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$7,16 \cdot 10^{-4}$	$5,45 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$3,56 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
I_d , А	0,033	0,038	0,042	0,048	0,053	0,058	0,063	0,067	0,073
I_{k3} , А	30,11	35,42	40,474	44,159	49,652	54,961	60,213	65,447	70,674
U, В	13	15	17	19	21	23	25	28	30

Расчет при значениях механического сопротивления $R_{m0}=4,0$ кг/с и плотность $\rho=2000$ кг/м³, полученные данные заносятся в таблицу 3.1.4.

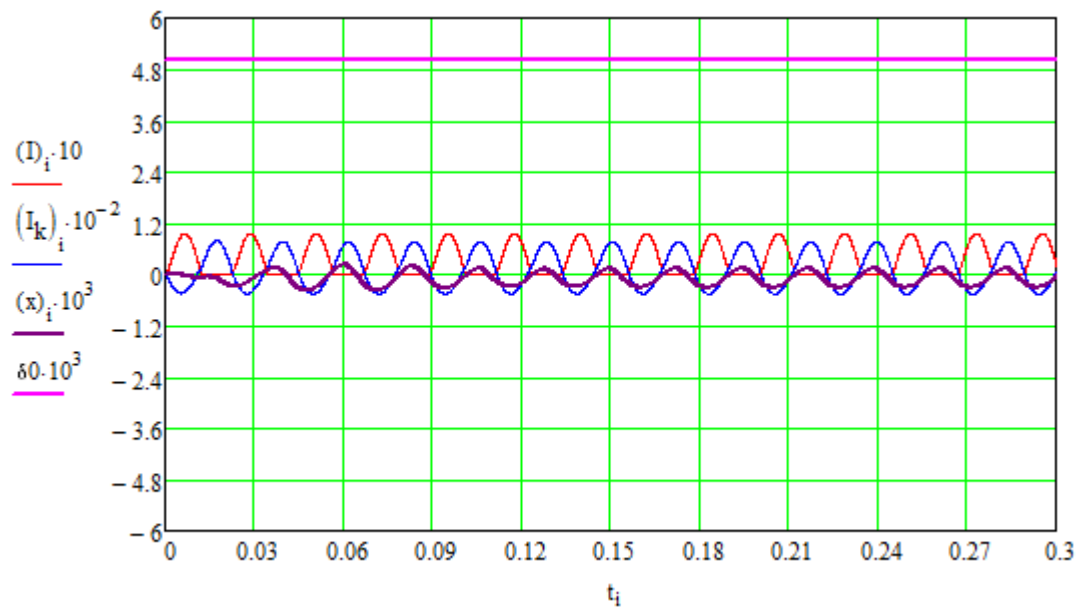


Рисунок 3.1.7 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц,
 $U=19$ В, $R_m=4,0$ кг/с.

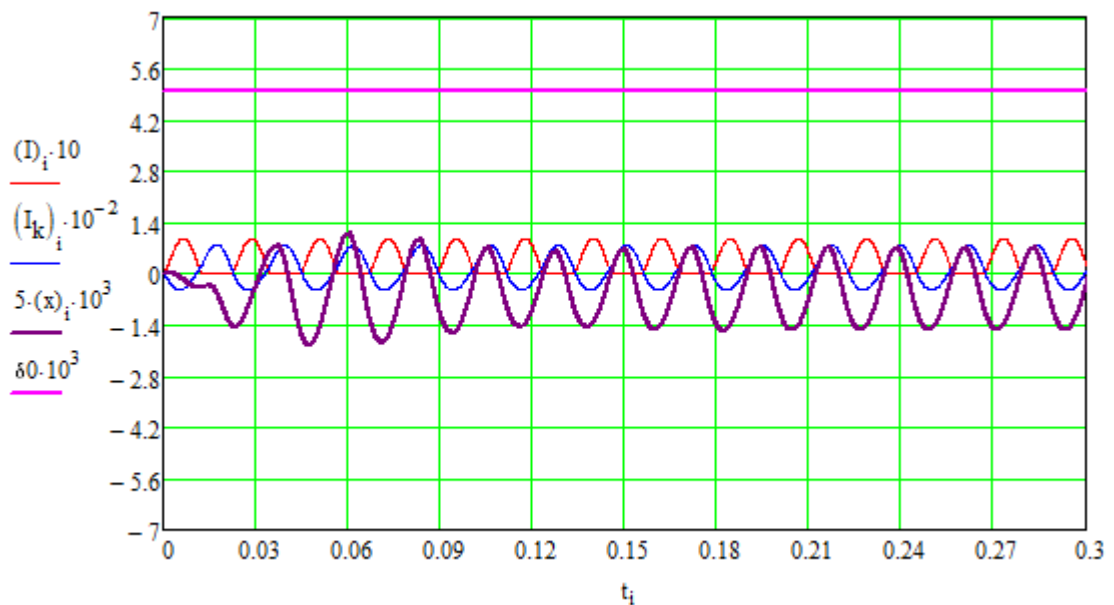


Рисунок 3.1.8 - График частотных характеристик плотности при $f=45$ Гц,
 $U=19$ В, $R_m=4,0$ кг/с, $\rho=2000$ кг/м³.

Из рисунков 3.1.7 и 3.1.8 видно, что амплитуда находится в допустимых пределах начального зазора. При увеличении механического сопротивления, плотности, и при неизменном напряжении амплитуда колебаний зонда уменьшается. Ток в основном контуре не превышает допустимого.

Таблица 3.1.4. Данные расчетов вязкость при механическом сопротивлении

$$Rm0=4,0 \text{ кг/с}$$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Δx , мм	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$	$2,68 \cdot 10^{-4}$	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$2,75 \cdot 10^{-4}$	$2,76 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
I_d , А	0,033	0,038	0,043	0,048	0,053	0,058	0,062	0,067	0,072
$I_{кз}$, А	30,152	35,319	39,499	44,71	49,952	55,166	60,375	65,587	70,802
U, В	13	15	17	19	21	23	25	28	30

Таким образом, для обеспечения максимальной производительности активации установки необходимо:

- для все значения вязкости и плотности ориентироваться на следующие параметры: резонансная частота в диапазоне 45-50 Гц; напряжение питания 19-21 В; начальный зазор 0,005 м; при величине тока до 0,048-0,053 А.

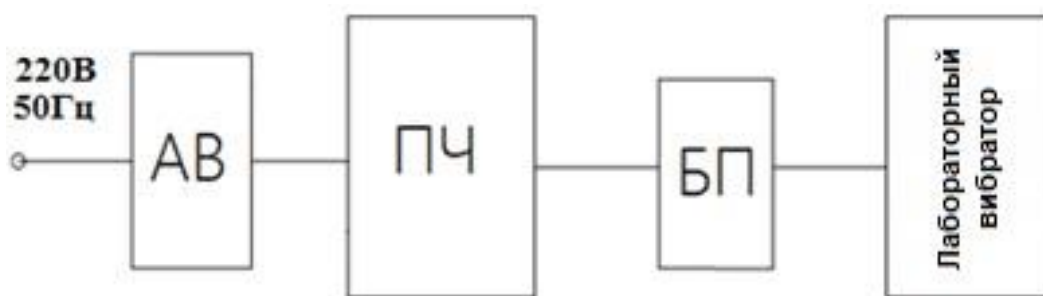
4. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

4.1 Разработка схемы подключения установки

Виброактиватор подключают в промышленную энергосистему, как на однофазную сеть, так и на трехфазную. Важно деталью при разработке схемы питания блока виброобработки является рабочая нейтраль, которая необходима для работы установки в трехфазном режиме, а также необходимо наличие диода, препятствующего прохождению тока и позволяющего создавать колебания активатора на частоте 45 Гц с максимальной амплитудой с достаточно удалённой зоной действия.

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

Таким образом, учитывая три блока виброобработки подключаем схемы электропитания с использованием двухфазной системы. Схема питания прибора показана на рисунке 4.1.1



исунок 4.1.1 –Схема подключения

Для приведённой схемы подключения устройства ВСМА значение тока в фазе будет равняться 0,15 А.

Полный ток будет равным:

$$I_{\text{полный}} = I_{\text{макс}} \cdot n = 0,15 \cdot 3 = 0,45$$

4.2 Выбор преобразователя частоты

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

Согласно справочным данным выбираем частотный преобразователь марки Q2V-A2001-AAA[11]. Этот преобразователь частоты позволит равномерное и экономичное регулирование производительности путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены на рисунке 4.3.1 и таблице 4.3.1.



Рисунок 4.3.1 - Внешний вид преобразователя частоты Q2V-A2001-AAA.

Таблица 4.3.1. Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Выходная мощность максимальная ПЧ (кВт)	0,1
Ток максимальный нагрузки (А)	0,8

Напряжение номинальное на входе (В)	380 (+10 % - 15 %)
Диапазон регулирования напряжения (В)	0 - 380
Частота сети питающей (Гц)	$50 \pm 5\%$
Диапазон регулирования частоты (Гц)	1 - 590

4.3 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 50 Гц выбираем диод марки Д237Б[12]. Характеристики диода приведены:

- $U_{об.мах} = 400 \text{ В.}$

- $I_{пр.мах} = 0,3 \text{ А.}$

- диапазон рабочих температур $-60 \dots +125 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- гарантийная наработка не менее – 10000 ч.

4.4 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель должен быть предусмотрен в схеме подключения вибрационного активатора. Учитывая параметры работы вибрационного активатора для его подключения к промышленной сети. выбираем автоматический выключатель типа SCHNEIDER ELECTRIC ACTI 9 IC60N [13]. Характеристики данного выключателя приведены в таблице 4.5.1.

Таблица 4.5.1 - Характеристики автоматического выключателя

Модель	Acti 9 iC60N 3P D1A
Номинальный ток	1 А
Максимальная отключающая способность	6 кА

Количество полюсов	3
Сечение проводника	до 16мм ²
Наименование продукта	Acti 9 iC60

4.5 Выбор кабеля сети

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

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{0,45}{1} = 0,45 \text{ А}$$

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

Где;

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

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

Выбираем трехжильный кабель марки МКШ (установочный провод, с медными жилами, поливинилхлоридная изоляция, поливинилхлоридная оболочка. Используется для прокладки в сухих и влажных помещениях). Сечение жилы $S = 0,35 \text{ мм}^2$ с $I = 2 \text{ А}$ [14].

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является выполнение анализа конкурентоспособности Лабораторный электромагнитный вибратор, и планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

На данный момент этот раздел считается один из значимых в современном проектирование каких либо отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из их рабочих характеристик, но и по экономической оценки, выбирается наиболее выгодный вариант.

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

А) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность;
- правовая защищенность и др.

Б) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 5.1.1).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

*Таблица 5.1.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)*

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Мах. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)*100%
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,07	80	100	0,8	5,6
2. Помехоустойчивость	0,11	85	100	0,85	9,35
3. Надежность	0,04	80	100	0,8	3,2
4. Унифицированность	0,05	75	100	0,75	3,75
5. Уровень материалоемкости разработки	0,05	85	100	0,85	4,25
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,03	90	100	0,9	2,7
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,7	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	85	100	0,85	4,25
10. Простота эксплуатации	0,06	85	100	0,85	5,1
11. Качество Интеллектуально интерфейса	0,04	75	100	0,75	3
12. Ремонтопригодность	0,06	80	100	0,8	4,8
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	85	100	0,85	4,25
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	70	100	0,7	4,2
3. Цена	0,06	85	100	0,85	5,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	85	100	0,85	3,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	80	100	0,8	4,8
6. Финансирование научной разработки	0,04	70	100	0,7	2,8
7. Срок выхода на рынок	0,05	75	100	0,75	3,75
8. Наличие сертификации разработки	0,03	85	100	0,85	2,55
Итого	1				80,75

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot b_i = 0,08 \cdot 80 + 0,11 \cdot 85 + \dots + 0,03 \cdot 85 = 80,75$$

Где:

$П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

b_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $П_{ср}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя $П_{ср}$ получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

1.2 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. С помощью SWOT-анализа возможно определить внутренние сильные и слабые стороны проекта, что позволяет оптимальным образом оценить его преимущества и недостатки. Кроме того, по своей структуре, SWOT-анализ позволяет сформулировать внешние факторы, влияющие на развитие проекта.

Возможности представляют собой предпочтительные ситуации в настоящем и в будущем, возникающие в окружающей среде проекта. В

противовес возможностям определяются угрозы, представляющие нежелательную ситуацию в окружающей среде проекта, способствующую его разрушению или препятствующие развитию.

Пересечения внутренних и внешних факторов позволяют определить основные исходы их сочетания, а также продемонстрировать корреляцию тех или иных внутренних факторов с различными условиями внешней, для проекта, среды. В таблице 2 представлены основные факторы, которые целесообразно учитывать в SWOT-анализе данного исследования:

Таблица 5.1.2 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и Энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Наличие устаревших данных.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4.Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В2В3С1С2С4С6С7</p> <p>В1В2С2С3С5С7С8</p> <p>В4С1С2С4С5С6С8</p>	<p>В4Сл1</p>

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии и производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Изменение законодательства</p>	<p>У3С1С3С4С6 У2С8 У5С6</p>	<p>У1Сл1 У2Сл2 У3Сл1Сл2 У4У5Сл1Сл</p>
--	---------------------------------------	---

Таким образом в ходе SWOT-анализа были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны проекта, а также их зависимости.

Из анализа видно, что потенциально сильные стороны проекта преобладают над слабыми сторонами.

5.2. Планирование и формирование бюджета научных исследований

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ (табл.5.2.1)

Таблица 5.2.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Исследование технологии лабораторный электромагнитный вибратор	Инженер
	6	Разработка конструкции рабочего органа	Инженер
	7	Математическое моделирование устройства	Инженер
	8	Анализ режимов работы вибратора	Инженер
	9	Выбор элементов электропривода установки	Инженер
	10	Разработка общей схемы подключения вибратора	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Социальная ответственность	Инженер
	14	Финансовый менеджмент	Инженер
	15	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мин i} + 2t_{маx i}}{5},$$

где $t_{ожи}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мин i}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{маx i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожи}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

Пример расчета:

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i}$$

- Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2.8 \text{ чел. – дн}$$

$$T_{pi} = \frac{2.8}{1} = 2.8 \text{ дн}$$

- Инженер – подбор, изучение материалов и нормативных документов:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3.8 \text{ чел. – дн}$$

$$T_{pi} = \frac{3.8}{1} = 3.8 \text{ дн}$$

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

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

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

В соответствии с производственным календарем на 2020 год, суммарное количество выходных и праздничных дней в 2020 году составляет при работе по шестидневной рабочей неделе – 66 дней; при работе по пятидневной рабочей неделе – 118 дней.

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

Пример расчета:

Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1.22$$

$$T_{Ki} = 2.8 \cdot 1.22 = 3.42 \approx 3 \text{ дн}$$

Инженер – подбор и изучение материалов и нормативных документов:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48$$

$$T_{Ki} = 3.8 \cdot 1.48 = 5.6 \approx 6 \text{ дн}$$

Полученные результаты сведены в таблицу 5.2.3.1, на основании которой построен календарный план-график, представленный в таблицу 5.2.3.2.

Таблица 5.2.3.1- Временные показатели проведения научного исследования







Название работы	Трудоёмкость работ						Длительнос ть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожсi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		4		2.8		3		3	
Подбор и изучение материалов по теме		4		5		4.4		4		7
Календарное планирование работ по теме	2		3		2.4		2		3	
Исследование технологии лабораторный электромагнитный вибратор		5		7		3.4		3		8
Разработка конструкции рабочего органа		4		6		4.8		5		7
Математические моделирование устройства		4		8		5.6		5		8
Анализ режимов работы вибратора		10		13		11.2		11		17
Выбор элементов электропривода установки		9		12		8.2		8		15
Разработка общей схемы подключения вибратора		4		5		4.4		4		7


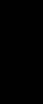





Продолжение таблицы 5.2.3.1

Оценка эффективности полученных результатов	4		6		4.8		5		6	
Социальная ответственность		3		5		3.8		4		6
Финансовый менеджмент		3		5		3.8		4		6
Составление пояснительной записки		7		10		8.2		8		12


На основе табл. 5.2.3.1 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно- исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5.2.3.2 Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Раб-от	Вид работ	Исполнители	T_{Ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	7														
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	3														
4	Исследование технологии лабораторный электромагнитный вибратор	Инженер	8														
5	Разработка конструкции рабочего органа	Инженер	7														
6	Математические моделирование устройства	Инженер	8														

7	Анализ режимов работы вибратора	Инженер	17												
8	Выбор элементов электропривода установки	Инженер	15												
9	Разработка общей схемы подключения вибратора	Инженер	7												
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	6												
11	Социальная ответственность	Инженер	6												
12	Финансовый менеджмент	Инженер	6												
13	Составление пояснительной записки	Инженер	12												
	Общее время на проект		105												
	Время работы инженера		93												
	Время работы руководителя		12												

 - инженер

 -руководитель

5.2.4 Бюджет научно-исследовательской (НИ)

При планировании бюджета НИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 5.2.4.1.

Таблица 5.2.4.1 - Расчет основной заработной платы

№п/п	Наименование этапов	Исполните ли по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	2308	6924
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	7	1455	10185
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	3	2308	6924

Продолжение таблицы 6

4	Исследование технологии лабораторный электромагнитный вибратор	Инженер	8	1455	11640
5	Разработка конструкции рабочего органа	Инженер	7	1455	10185
6	Математические моделирование устройства	Инженер	8	1455	11640
7	Анализ режимов работы вибратора	Инженер	17	1455	24735
8	Выбор элементов электропривода установки	Инженер	15	1455	21825
9	Разработка общей схемы подключения вибратора	Инженер	7	1455	10185
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	6	2308	13848
11	Социальная ответственность	Инженер	6	1455	8730
12	Финансовый менеджмент	Инженер	6	1455	8730
13	Составление пояснительной записки	Инженер	12	1455	17460
Итого:					163011

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

Где: $З_{осн}$ - основная заработная плата;

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

Где: $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата одного работника;

T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (табл. 5.2.3.2):

$Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{52594 \cdot 10,4}{237} = 2308 \text{ руб},$$

где $Z_{\text{м}}$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн. (табл.5.2.4.2).

Таблица 5.2.4.2- Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 26971 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 52594 \text{руб.}$$

где $З_{\text{тс}}$ - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 –0,5
(в НИИ и напромышленных предприятиях – 3 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{сi}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.5.2.4.3.

Таблица 5.2.4.3- Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26971	0,3	0,2	1,3	52594	2308	12	27696
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1455	93	135315
Итого $З_{\text{осн}}$								163011

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 27696 = 3323 \text{руб.}$$

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

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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (27696 + 3323) = 8406,$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды представляем в табличной форме (табл.5.2.4.4).

Таблица 5.2.4.4- Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	27696	3323
Студент-дипломник	135315	16238
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого		
Руководитель	8406	
Инженер	41071	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 \\ &= (163011 + 19561 + 49477) \cdot 0,16 = 37128, \end{aligned}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Амортизация

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

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

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

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

где: n – срок полезного использования в годах.

Амортизация будет равна:

$$A = \frac{K \cdot N}{12 \cdot 3} \cdot m_p$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40}{12 \cdot 3} \cdot 75 = 2750 \text{ руб}$$

где: I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Формирование бюджета затрат 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 табл.5.2.4.5.

Таблица 5.2.4.5 - Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	163011	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19561	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	49477	Пункт
4. Накладные расходы	37128	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НИ	269177	Сумма ст.

5.3. ресурсоэффективность

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

Где: $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Оценка при помощи интегрального финансового показателя приведен в табл.5.3.1.

Таблица 5.3.1– Оценка характеристик проекта

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,4$$

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

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был выполнен анализ конкурентоспособности. Оценка коммерческого потенциала проекта показала, что проект является перспективным.

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

Общая сумма проекта составила 269177 руб. Наиболее затратной статьей оказалась оплата труда исполнителей.

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

Выполнение данного проекта и его реализацию можно считать значимыми и эффективными. Необходимо вводить новые установки для лабораторный электромагнитный вибратор. В ходе выполнения данного проекта произведен оптимальный выбор электрооборудования для установки лабораторный электромагнитный вибратор, это позволит заказчику закупить оборудование, необходимое для исправной, надежной, экономичной работы установки.

6. Социальная ответственность

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

В настоящей выпускной квалификационной работе ведется исследование установки - лабораторный электромагнитный вибратор.

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

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

На работах с вредными и опасными условиями труда запрещается применение труда женщин и лиц в возрасте до восемнадцати лет. Перечни работ с вредными и опасными условиями труда, на которых запрещается применение труда женщин и лиц в возрасте до восемнадцати лет, утверждаются в установленном порядке. Режимы труда и отдыха работников устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка и иными локальными нормативными актами работодателя в соответствии с трудовым законодательством.

Российским законодательством работникам за тяжелые работы и работы с вредными и опасными условиями предусмотрены следующие льготы и компенсации:

- ежегодный дополнительный отпуск минимальной продолжительности 7 календарных дней (ст.117 ТК РФ, Постановление правительства РФ от 20.11.2008 г. №870 «Об установлении сокращенной

продолжительности рабочего времени, ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска, повышенной оплаты труда работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда»);

- повышение оплаты труда - не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда (ст. 147 ТК РФ, Постановление правительства РФ от 20.11.2008 г. №870);

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно с ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ стандарт устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении стоя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Стандарт не устанавливает требования к рабочим местам транспортных средств, машин и оборудования, перемещающихся в процессе работы, а также на рабочие места для учащихся, проходящих производственную практику, и военнослужащих.

На основе общих требований настоящего стандарта должны разрабатываться стандарты и нормативно-технические документы, устанавливающие требования эргономики к конкретным рабочим местам.

Рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя. Категория работ - по ГОСТ 12.1.005-88.

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

6.2. Производственная безопасность

6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при эксплуатации лабораторного электромагнитного вибратора.

Таблица 6.2.1.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготов- -лени	Эксплуа -таци	
1. Повышенный уровень шума	+	+	+	Требования к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011.
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548-96
3. Повышенный уровень вибрации	+	+	+	Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ПУЭ, утвержденный министром энергетики России от 08..07.2002, №204, Глава 1.7.
5. Опасность поражения электрическим током	+	+	+	Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. - СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

При работе в цехе человек может быть подвергнут действию следующих опасных факторов:

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

Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками [21]. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [23].

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

6.2.2. Повышенный уровень шума.

Технологический процесс рассматриваемой среды основан на работе с электроприводом, который является источником повышенного уровня шума, который является одним из вредных факторов производственной среды.

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды, который ухудшает условия труда, оказывая на организм вредное воздействие. Из-за шума у работающих возникает более быстрое утомление, которое приводит к снижению производительности на 10...15%, увеличению числа ошибок при выполнении операций трудового процесса и, следовательно, к повышенной опасности возникновения травм. При длительном воздействии шума снижается чувствительность слухового аппарата, возникают патологические изменения в нервной и сердечно-сосудистой системах, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности[15].

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

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются [16]:

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

Для профилактики воздействия шумов необходимо проводить постоянные медосмотры и освидетельствования.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 6.2.2.1.

Таблица 6.2.2.1 - Допустимые уровни шума

Рабочее мест	Уровни звукового давления, дБ, в октивных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									По шкале, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управлен ия	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

6.2.3. Повышенный уровень вибрации.

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

Основные параметры вибрации: частота (Гц), амплитуда колебания (м), период колебания (с), виброскорость (м/с), виброускорение (м/с²) .

В зависимости от характера контакта работника с вибрирующим оборудованием различают локальную и общую вибрацию. Локальная вибрация передается в основном через конечности рук и ног. Общая — через опорно-двигательный аппарат. Существует еще и смешанная вибрация, которая воздействует и на конечности, и на весь корпус человека. Локальная вибрация имеет место в основном при работе с вибрирующим ручным

инструментом или настольным оборудованием. Общая вибрация преобладает на транспортных машинах, в производственных цехах тяжелого машиностроения, лифтах и т. д., где вибрируют полы, стены или основания оборудования [17].

Воздействие вибрации на организм человека. Тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами, имеющими собственные частоты, которые для плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности (положение "стоя") составляют 4~6 Гц, головы относительно плеч (положение "сидя") — 25-30 Гц. Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6—9 Гц. Общая вибрация с частотой менее 0,7 Гц, определяемая как качка, хотя и неприятна, но не приводит к вибрационной болезни. Следствием такой вибрации является морская болезнь, вызванная нарушением нормальной деятельности вестибулярного аппарата по причине резонансных явлений.

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

Технические нормы вибрации представлены в таблице 6.2.3.1.

Таблица 6.2.3.1- Нормы вибрации

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

Санитарные нормы устанавливают предельно допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий (табл.6.2.3.2).

Таблица 6.2.3.2- Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-72
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
*1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

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

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

Методы снижения воздействия вибрации на человека. Для снижения воздействия вибрирующих машин и оборудования на организм человека применяются следующие меры и средства [17]:

- замена инструмента или оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах, где это возможно (например, замена электромеханических кассовых машин на электронные);

- применение виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);
- использование дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления вибротранспортером из соседнего помещения);
- использование автоматики в технологических процессах, где работают вибрирующие машины;
- использование ручного инструмента с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

6.2.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

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

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

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП 23-05-95. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Так же необходимо проводить контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения, и использовать светлые отделочные материалы в помещениях. Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека,

необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

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

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

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

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов – от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 6.2.4.1 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 6.2.4.1- Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом

Продолжение таблицы 6.2.4.1

Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственног о процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

6.2.5. Отклонение параметров микроклимата

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду. Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

В соответствии с Сан-ПиН 2.2.4.548 – 96 [18] при нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 6.2.5.1.

Таблица 6.2.5.1 – Оптимальные нормы микроклимата

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,2
Тёплый	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96 [18], следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 41-01-2003 установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией.

6.2.6. Опасность поражения электрическим током

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

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

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

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

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в

нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

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

6.3. Экологическая безопасность

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

6.3.1. Охрана атмосферного воздуха от загрязнений

Загрязнение воздуха происходит на всех этапах переработки нефти и ее компонентов. Основными выбросами нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) в атмосферу являются углеводороды и сернистый газ. Перед выбросом воздух помещению подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

6.3.2. Охрана поверхностных вод от загрязнения.

В результате очистки нефтепродуктов получается большое количество отходов - кислых гудронов, щелочных сточных вод. Их обезвреживание и утилизация довольно сложный процесс.

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

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде.

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте: возникновение пожара и электропоражение.

6.4.1. Пожар (загорание) – как источник ЧС

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

Согласно [19-21], к мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления), применение искробезопасного оборудования, устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³ [20].

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы

действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания работающий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

6.4.1. Электропоражение как источник ЧС

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

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

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

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [22] служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: УЗО и защитное заземление и зануление [23].

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший

должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована лабораторная установка для исследований влияния технологии ВСМА на реологические свойства жидкостей. Была составлена математическая модель, которая позволяет анализировать режимы работы вибратора при работе его на различных частотах. Произведен выбор преобразователя частоты марки Q2V-A2001-AAA, автоматического выключателя типа SCHNEIDER ELECTRIC ACTI 9 IC60N, трехжильного кабеля марки МКШ, диода марки Д237Б.

2. Разработанная конструкция прибора, позволяет производить измерение плотности и вязкости различных жидкостей. Модификации прибора включают в себя два вида зондов для измерения указанных параметров.

3. Обоснован выбор элементов электропривода, преобразователя частоты, активатора и защитной аппаратуры. Был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода.

4. Произведен анализ вредных и опасных факторов, анализ воздействия объекта на окружающую среду, а также разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. Произведен расчет защитного заземления.

Список источников

1. Литература компании: «A&D Company, Limited». Серия SV. Синусоидальный вибровискозиметр. Справочник пользователя. [Текст]/ A&D Company, Limited, 2017. – 56с.
2. Сайт компании ЗАО «Спектроскопические системы» [Электронный ресурс]. Вискозиметрия. - Режим доступа: <http://www.spectrosystems.ru> , свободный. – Яз. Рус. (дата обращения 14.02.2020)
3. G.E. Leblanc, et. al.. «Viscosity Measurement.» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/charles-assuncao/wp-content/uploads/sites/33/2016/07/Leitura-complementar-Viscosidade.pdf> . свободный. – Яз. Англ. (дата обращения 18.03.2020)
4. Мячугин, А. Н. Пути и методы снижения вязкости / Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfukras.ru/sites/mn2011/section02.html> , свободный. – яз.рус. (дата обращения 02.04.20)
5. VISCOSITY AND DENSITY OF REFERENCE FLUID / Masaed Moti Almotari, University of Canterbury, 2006
6. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.И. Теплов, Особенности электромагнитного расчета вибратора струйного погружного ВСП-0,25. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.
7. С.П. Гузеев, В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Виброструйный перемешиватель и разжижитель жидкостей и суспензий, Патент № 2128547, Бюл. № 10, 1999 г.
8. И.В. Прозорова, Ю.В. Лоскутова, Н.В. Юдина, С.В. Рикконен, В.А. Данекер, Изменение реологических свойств нефтей под воздействием виброструйной магнитной активации. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.
9. Кевин Смит "Вибрационный датчик с цифровым выходом", Электроника "(Elektronics)", 1980, № 16, с.15-16.
10. В. М. Галкин, А. В. Богословский, Ю. С. Волков, Вибрационная вискозиметрия и численный метод определения динамики гелеобразования, Сиб. журн. индустр. матем., 2016, том 19, номер 4, 22–30.

11. OMRON промышленная автоматизация. [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://industrial.omron.ru/ru/home> , свободный. – яз.рус. (дата обращения 30.05.20).
12. КОМПАНИЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ. [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://eandc.ru/company/> , свободный. – яз.рус. (дата обращения 30.05.20).
13. Schnieder Electric. [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/> , свободный. – яз.рус. (дата обращения 30.05.20).
14. Система поиска кабельной продукции. [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://k-ps.ru/> , свободный. – яз.рус. (дата обращения 30.05.20).
15. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
16. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
17. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
18. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
19. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
20. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
21. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
22. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током»
23. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.