

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

Энергетический институт

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Лабораторная электромеханическая установка активации тиксотропных жидкостей УДК 532:537.612	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Бушумбаев Р.З.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Данекер В.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ЭПЭО доцент	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт - Энергетический
Направление – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Бушумбаев Роман Зейнуллоевич

Тема работы:

Лабораторная электромеханическая установка активации тиксотропных жидкостей
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	1. Производительность обработки жидкости не менее 3 м³/час. 2. Наличие сменных емкостей объемом не менее 10 литров. 3. Возможность регулирования интенсивности обработки жидкостей
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	1. Обзор технической литературы, содержащий описание оборудования, применяемого для изменения свойств тиксотропных ЖС; 2. Модернизация конструкции активатора лабораторной установки, разработка конструкции лабораторной установки; 3. Оптимизация режимов работы установки на основе разработанной математической модели, учитывающей особенности конструкции активатора.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Общий вид установки; 2. Модифицированный активатор.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	

Раздел	Консультант
Основной общий и специальный разделы ВКР	Научный руководитель Данекер В.А.
Экономическая часть ВКР	Кузьмина Н.Г.
Раздел экология и техника безопасности	Дашковский А.Г.
Раздел на иностранном языке	Пташкин А.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная и специальная части, «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность» – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Введение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Данекер В.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Бушумбаев Р.З.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Бушумбаев Роман Зейнуллович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроприводы и системы управления электроприводов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения.	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет как искусственный, так и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – Лабораторная установка.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.1.005-88; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ 12.1.003-83; ГОСТ 12.1.012-90; ГОСТ 12.1.009-76; ГОСТ 12.1.033-81; ГОСТ 12.1.010 – 76.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Вредные факторы, возникающие из-за Лабораторной установки. - Негативные влияния: электромагнитное и ионизирующее излучения, шум, вибрация
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	Установлены удлинители в розетках (эл. сеть перегружена) Физические опасные факторы: электрический ток.
3. Охрана окружающей среды	Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке лабораторной установки
4. Безопасность в ЧС	Наиболее вероятная ЧС в здании - пожар
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Использовать оборудования и мебель согласно антропометрическим данным

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Бушумбаев Роман Зейнуллович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Бушумбаев Роман Зейнуллоевич

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад инженера 9р – 17000 руб. Оклад НР – 26300 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации – 20 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и их временной оценки
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проектирование
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Смета затрат на оборудование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ полученных результатов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Бушумбаев Р.З.		

Оглавление

РЕФЕРАТ	10
Введение.....	11
1. РЕОЛОГИЯ ЖИДКИХ СИСТЕМ, ОБЛАДАЮЩИХ ТИКСОТРОПНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	13
1.1. Примеры в природе.....	14
1.2. Методы и технологии изменения реологических свойств тиксотропных ЖС	16
1.3. Технология ВСМА.....	24
2. КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ	28
2.1. Состав установки, назначение основных элементов.....	28
2.2. Устройство лабораторной установки.....	29
2.2.1. Разработка отдельных узлов установки.....	32
2.2.2. Колебательный узел	33
2.3. Электропривод УЛУ	37
2.4. Основные правила эксплуатации лабораторной установки	40
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ.....	41
3.1. Электрическая схема замещения установки	41
3.2. Магнитная цепь установки.....	44
3.3. Система дифференциальных уравнений виброактиватора	47
3.3.1. Уравнение движения механической части	47
3.3.2. Система дифференциальных уравнений УЛУ	47
3.4. Алгоритм расчёта системы уравнений	48
4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	50
4.1. Анализ работы установки при изменении механического сопротивления R_m , начального зазора δ	50
4.1.1. Механическое сопротивление $R_m=303,9$ кг/с, плотность нефти $\rho_{ж}=870$ кг / м ³	50
4.1.2. Механическое сопротивление $R_m=338,2$ кг/с, плотность нефти $\rho_{ж}=870$ кг / м ³	55

4.1.3. Механическое сопротивление $R_m=372$ кг/с, плотность нефти $\rho_{ж}=870$ кг / м ³	59
4.2. Анализ работы установки при изменении плотности $\rho_{ж}$	63
4.2.1. Механическое сопротивление $R_m=280$ кг/с, плотность жидкости $\rho_{ж}=1030$ кг / м ³ (чистая вода)	63
4.2.2. Механическое сопротивление $R_m=303,9$ кг/с, плотность жидкости $\rho_{ж}=1870$ кг / м ³ (буровой раствор)	67
5. Социальная ответственность.....	74
5.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	74
5.1.1. Воздух рабочей зоны	76
5.1.2. Освещение.....	77
5.1.3. Защита от шума и вибрации.....	80
5.1.4. Состояние воздушной среды	81
5.1.5. Оценка уровней электромагнитных полей.....	83
5.1.6. Статическое электричество	83
5.2. Безопасность в ЧС	84
5.3. Охрана окружающей среды	85
5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях.....	87
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	92
6.1. Организация работ по НИР	92
6.2. Расчет затрат на научно-техническое проектирование	94
Материальные затраты	94
6.2.1. Затраты на амортизацию.....	94
6.2.2. Затраты на заработную плату	96
6.2.3. Затраты на социальные нужды.....	96
6.2.4. Прочие затраты	97
6.2.5. Накладные затраты	97
6.3. Смета затрат на оборудование и монтажные работы	98

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
Список использованной литературы.....	102
Приложение А	104
Приложение Б	124

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 131 страниц, 42 рисунков, 25 таблицы, 22 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ВСМА, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, АКТИВАТОР, РЕЗОНАНС, ВЯЗКОСТЬ, ТИКСОТРОПНАЯ ЖИДКОСТЬ.

Цель работы – разработка универсальной лабораторной электромеханической установки активации для исследования свойств тиксотропных жидкостей и выбор необходимого оборудования.

В работе произведены оценка производительности установки, модернизация конструкции активатора, математическое моделирование режимов работы установки, разработка конструкции универсальной лабораторной установки с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

На основе математической модели с помощью программы MATHCAD 15 произведены расчеты режимов работы лабораторной установки при обработке различных жидких систем, на базе которых разработаны практические рекомендации для условий эксплуатации установки.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

Введение

Жидкость в окружающем нас мире встречается повсеместно. Свойства жидкостей знакомы каждому и любой человек, взаимодействующий с ними, в той или иной степени может предугадать, как поведет себя какая-либо жидкость в конкретной ситуации. Жидкости, свойства которых мы привыкли наблюдать в ежедневном использовании, подчиняются закону Ньютона, называются ньютоновскими. Однако есть и другие жидкости, которые не поддаются законам указанных жидкостей, эти жидкости меняют свою плотность и вязкость при воздействии на них различных физических факторов, причем не только механических воздействий, но и других, таких как электрических, магнитных, волновых и т.д. Такие жидкости правильней отнести к системам и называть неньютоновскими. При физических воздействиях вязкость таких жидких систем (ЖС) может меняться в десятки раз с определёнными свойствами восстановления первоначальных значений.

Такие ЖС играют важную роль во многих технологических процессах. Особенности их применения во многом определяются их свойствами. Свойства ЖС могут быть естественными или специально создаваемыми. Для последних применяются многообразные устройства, в основе работы которых лежит использование физико-химических воздействий различной природы.

Цель работы: Разработка универсальной лабораторной установки исследования реологических свойств тиксотропных жидкостей с улучшенными эксплуатационными параметрами.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы:

1. Модернизация конструкции лабораторной установки с улучшенными эксплуатационными параметрами.
2. Построение математической модели лабораторной установки.
3. Проведение анализа режимов работы модернизированной установки.
4. Комплектование электропривода лабораторной установки и разработка основных правил работы.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Использование в конструкции активатора специальной вставки, исключающей образование к.з. витков в массиве активатора, позволило увеличить производительность установки до 30%.
2. Разработана математическая модель модернизированной универсальной лабораторной установки (МУЛУ), учитывающая наличие в магнитной цепи специальной вставки и позволяющая производить анализ режимов работы для различных ЖС.

Практическая значимость работы:

1. Разработана конструкция активатора со специальной вставкой, выполненной из материала, исключающего образование к.з. витков.
2. Проведённый анализ работы МУЛУ при изменении частоты питающего напряжения, показал, что применение специальной вставки обеспечивает работу установки с максимальной производительностью 3,67 м³/час при начальном зазоре 6 мм.
3. Разработаны правила работы на МУЛУ, позволяющие оперативно производить обработку разнообразных тиксотропных жидкостей.
4. Результаты расчётов режимов работы МУЛУ, полученные в работе, использованы при изготовлении экспериментального образца МУЛУ.

Результаты работы апробировались на II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции "Введение в энергетику".

1. РЕОЛОГИЯ ЖИДКИХ СИСТЕМ, ОБЛАДАЮЩИХ ТИКСОТРОПНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Тиксотропия — это способность вещества уменьшать свою вязкость при механическом воздействии и увеличивать вязкость в состоянии покоя.

Некоторые гели или жидкости, которые в нормальных условиях являются густыми (вязкими), становятся со временем текучими (менее вязкими) при встряхивании или другом механическом воздействии. Для того чтобы вернуться обратно в более вязкое состояние, им необходимо определенное время. Далее представлено объяснение более техническим языком: некоторые неньютоновские псевдопластичные жидкости демонстрируют зависимость от времени изменение вязкости — чем дольше жидкость подвергается механическому воздействию, тем меньшее становится ее вязкость. Тиксотропная жидкость — это жидкость, которой необходим конечный промежуток времени для достижения равновесной вязкости при пошаговом изменении скорости сдвига. Некоторые тиксотропные жидкости возвращаются в гелеобразное состояние практически мгновенно, как, например, кетчуп, и их называют псевдопластичными жидкостями. Другие жидкости, как, например, йогурт, требуют существенного большего времени и могут стать практически твердым телом. Многие гели и коллоиды являются тиксотропными материалами, демонстрирующими стабильную форму в состоянии покоя, но принимающими жидкую форму при механическом воздействии. Некоторые жидкости обладают свойством обратной тиксотропии: постоянное сдвиговое напряжение в течение некоторого времени вызывает увеличение вязкости или даже затвердевание. Постоянное сдвиговое напряжение можно реализовать путем встряхивания или перемешивания. Жидкости, обладающие таким свойством, обычно называют реопектическими. Они не так широко распространены [1].

1.1. Примеры в природе

Жидкости в чистом виде применяются достаточно редко. Как правило, в большинстве случаев мы имеем дело с растворами, суспензиями, гелями, приготовленными на базе чистых жидкостей и содержащих дополнительные компоненты. Поэтому в дальнейшем будем оперировать понятием жидкая система – ЖС.

Некоторые глины являются тиксотропными – данное свойство очень важно в геотехнической и архитектурной проектировке. Оползни, часто случающиеся, например, на утесах вокруг города Лайма-Реджиса и Дорсета, а также произошедшие во время обвала терриконов в Аберфале (Уэльс) – примеры этого явления. Аналогичным образом, лахар – это земляная масса, разжиженная при извержении вулкана, которая быстро твердеет в состоянии покоя.

Буровые растворы, используемые в геотехнических работах, также могут быть тиксотропными. Пчелиный мед также может проявлять это свойство в определенных условиях (вересковый мед).

Другим примером тиксотропной жидкости является синовиальная жидкость, находящаяся в суставах костей. Межуточное вещество в теле человека является тиксотропным, равно как и семенная жидкость.

Тиксотропную жидкость можно проще всего наблюдать, представив лопасть весла в глиняной массе. Оказание давления на весло зачастую приводит к увеличению вязкости (более твердой) тиксотропной массы на стороне лопасти, на которую оказывается сильное давление, и уменьшению вязкости (очень жидкой) массы на стороне лопасти, на которую оказывается малое давление. Поток со стороны с высоким давлением до стороны с низким давлением лопасти весла называется неньютоновским (то есть скорость жидкости не пропорциональна квадратному корню дифференциала давления на лопасть весла).

Явление тиксотропии можно демонстрировать на суспензии бентонита. Для этого мелко размельчают бентонит и, перемешивая сначала с небольшим количеством воды при растирании в фарфоровой ступке, готовят 15—20%-ную суспензию. Концентрация суспензии, при которой можно наблюдать явление тиксотропии, зависит от свойств бентонита и может (должна) быть установлена предварительными опытами.

Другим примером тиксотропных систем, имеющих практическое применение, могут служить обычные масляные краски, представляющие собой взвесь минеральных пигментов в олифе. Благодаря тиксотропным свойствам красок их можно наносить на вертикальные поверхности в виде жидкости после их механического перемешивания, при этом нанесенная краска не стекает в результате быстро наступающего структурирования.

Свойства нефтепродуктов определяются условиями их дальнейшей эксплуатации, хранения. Так, профилактические средства различного назначения должны характеризоваться высокими тиксотропными свойствами. Соответствующими исследованиями показано, что период восстановления полностью разрушенной структуры зависит от группового состава профилактического средства, температуры его применения. Кроме того, необходимо обеспечить определенный уровень агрегативной устойчивости профилактических средств с целью предупреждения расслоения нефтяной дисперсной системы на фазы при транспортировании и хранении.

Гели желатины обладают тиксотропными свойствами, но механические свойства разрушенных гелей восстанавливаются существенно медленней и не достигают первоначальных значений.

Тиксотропные свойства приписывают таким сложным физиологическим структурам, как протоплазма и мускульная ткань. Некоторые студни полимеров обладают явно выраженными тиксотропными свойствами. У таких студней прочность связей между макромолекулами должна быть достаточно малая, чтобы они могли легко разрушаться под действием приложенного усилия сдвига. Кроме того, у подобных студней должен быть достаточно узкий

спектр молекулярных контактов. Студни, у которых этот спектр размыт, обычно не проявляют тиксотропии.

1.2. Методы и технологии изменения реологических свойств тиксотропных ЖС

В основных направлениях экономического и социального развития страны, предусматривается обеспечить дальнейшее укрепление и расширение минерально-сырьевой базы страны, повышение эффективности и качества подготовки к освоению разведанных запасов полезных ископаемых [2].

Однако, в течение последних двух десятилетий в России наблюдается тенденция ухудшения качественно-количественного состояния сырьевой базы нефтяной промышленности. Это происходит за счет изменения структуры и уменьшения запасов нефти, что связано в основном со значительной выработкой многих высокопродуктивных месторождений. Поэтому возникает необходимость ввода в эксплуатацию низкорентабельных мелких месторождений и месторождений с трудно-извлекаемыми запасами.

Особый интерес представляют ресурсы высоковязких нефтей, которые вследствие особых реологических параметров являются фактически неиспользованными энергетическими ресурсами. Кроме того, высоковязкие нефти обладают уникальным химическим составом и являются ценным сырьем для нефтехимической промышленности.

Существует множество способов влиять на свойства ЖС, которые можно разделить по категориям: тепловые, механические, химические.

Тепловой способ заключается в изменении температуры жидкости, благодаря чему она способна изменять свои реологические свойства, но это, как правило, не всегда приемлемо, т.к. объемы жидкости могут быть велики, и на нагрев всего объема может быть потрачено много времени и энергии [3].

В химическом способе в жидкость добавляются различные присадки, вещества, в взаимодействии с которыми жидкость изменяет свои реологические

свойства. Химические реакции происходят не мгновенно и на это может уйти много времени. К тому же производство химических реагентов является достаточно дорогостоящим. Такая технология иногда применяется в нефтедобывающей отрасли для снижения вязкости.

Применение этих способов позволяет частично решить технические проблемы при транспортировке ЖС. Однако, при всем при этом, эти известные способы неоправданно энергоемки, дорогостоящи и имеют, как правило, ограниченные диапазоны действия.

Существуют установки, использующие механическую энергию для изменения реологических свойств ЖС. Такие установки не занимают большой объем, не требуют больших энергозатрат и обладают достаточной производительностью.

Реологические свойства высоковязких и высокозастывающих нефтей (вязкости, напряжения сдвига, температура застывания), оказывающие непосредственное влияние на процесс их транспортировки по трубопроводам, в существенной степени зависят от компонентного состава.

Кроме трех основных классов углеводородов (парафиновых, нафтеновых и ароматических) практически всегда в нефти содержатся в значительных количествах смолы и асфальтены.

Наличие парафина в нефти приводит при понижении температуры к структурообразованию и проявлению неньютоновских свойств. Кристаллы парафина образуют пространственную структурную сетку коагуляционного типа. Структурная сетка иммобилизует жидкую фазу, и нефть приобретает свойства гелеобразных систем. Дальнейшее понижение температуры приводит к полной потере подвижности - «застыванию» нефти. С увеличением содержания парафина в нефти ее реологические свойства ухудшаются, и процесс структурообразования смещается в сторону более высоких температур.

Следует отметить, что высоковязкие беспарафинистые нефти остаются ньютоновскими жидкостями в широком диапазоне температур.

Высокопарафинистые нефти имеют аномальную вязкость при сравнительно высоких температурах.

Учитывая выше изложенные характеристики вязких и высоковязких нефтей, очевидно имеет место задача поиска и разработки наиболее результативных методов, технологий и оборудования для эффективного воздействия на такие нефти, с целью снижения характеристик вязкости и напряжений сдвига. Данное обстоятельство является актуальным для большого количества жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами.

Известно множество способов обработки нефти с целью уменьшения ее вязкости. Все известные способы можно разделить на несколько групп:

1. Термический нагрев.
2. Создание эмульсии нефти в воде при помощи веществ-эмульгаторов.
3. Воздействие на жидкость различными видами электромагнитного излучения и их комбинациями.
4. Обработка нефти с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Одним из основных 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 термообработки заключается в нагреве нефти до температуры, при которой растворяются содержащиеся в ней твердые парафиновые углеводороды, и охлаждении с заданной скоростью в определенных условиях(в движении или покое) [4].

Следующим методом снижения 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. Снижение прочности и увеличение 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 [5].

В самом деле, воздействие акустическими колебаниями на трубопровод в одной точке с незначительной мощностью позволяет практически мгновенно существенно уменьшить 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 снижается вязкое сопротивление движению нефти, что, в свою очередь, снижает пусковое давление и увеличивает скорость перекачки нефтепродукта. Этот способ, в отличие от применяемых в настоящее время, различных видов разогрева трубопровода, намного экономичнее и существенно менее трудоемок. Поэтому данному способу уделим отдельное внимание.

Вибротехнологии нашли широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве, поскольку позволяют в значительной мере интенсифицировать технологические процессы.

Существует многочисленные вибротехнологии и эффекты, связанные с вибровоздействием, например, виброперемешивание и вибропросеивание сыпучих материалов, вибродробление и вибротранспортирование, диспергирование, виброочистка поверхностей и полостей сложной формы,

вибролитье, вибродегазация жидкостей, виброуплотнение и т.д., причем некоторые из них могут быть объединены в одном технологическом цикле, что позволяет повысить эффективность производственного процесса по сравнению с обычными безвибрационными.

Эффективность вибротехнологий в значительной мере определяется техническими характеристиками вибрационных машин (вибраторов), чем и объясняется их непрерывное совершенствование. Повышение технических характеристик виброприводов достигается как за счет разработок новых конструктивных решений, так и за счет применения современных систем управления с широким использованием электроники.

Эти машины сочетают в едином узле элементы механики, электротехники и электронных систем управления, что позволяет добиться повышения энергетических и динамических характеристик этих машин, что способствует расширению возможностей применения в технике.

На современном этапе развития техники имеется большое многообразие типов преобразователей, отличающихся как по принципу преобразования того или иного вида энергии в энергию механических колебаний, так и по их параметрам (частоте, амплитуде, форме). Поэтому для конкретных технологий предпочтительнее использование того или иного типа вибраторов.

Сдерживанием в применении вибротехнологий до недавнего времени было то, что при их перспективности вопросам проектирования вибраторов уделяется недостаточное внимание. Плохо спроектированная машина может быть ненадежной в эксплуатации и сама по себе быть источником звуко- и вибро-загрязнения, что негативно влияет на уровень производства и в конечном счете на стоимость продукции. Также на ограничения в использовании вибротехнологий влияет сложность в управлении вибраторами в технологическом цикле. Например, для вибраторов, использующих в качестве первичной энергии электрическую, до недавнего времени (до начала девяностых прошлого века), таким фактором было отсутствие надежной силовой и микроэлектронной базы. Поэтому

зачастую электротехнологические установки работали в фиксированных или слабoreгулируемых режимах, не позволяющих максимально использовать возможности вибромашины [6].

Одними из получивших наиболее широкое применение в промышленности стали виброустановки, в которых создаваемая гармоническая сила, обеспечивающая технологический процесс, формируется за счет потребления электрической энергии. К таким виброустановкам можно отнести установки с использованием вибраторов электромагнитного, электродинамического и электрогидравлического типов для создания колебаний с частотой в пределах десятков и сотен герц. Наиболее подходящими из них по ряду параметров для общепромышленного и специального применения являются электромагнитные вибраторы.

Вибратор электродинамического типа

Виброустановка электродинамическая предназначена для воспроизведения механических колебаний синусоидальной формы в заданных диапазонах частот и амплитуд при поверке (калибровке) виброизмерительных устройств а также может применяться для вибрационных испытаний изделий.

Область применения: поверка и калибровка в лабораторных и заводских условиях вибропреобразователей и виброизмерительной аппаратуры, используемых для измерения и контроля вибрации энергетического оборудования электростанций и других аналогичных агрегатов в различных областях промышленности.

Вибратор электрогидравлического типа.

Вибратор электрогидравлический содержит возвратно-поступательный насос, всасывающую и напорную гидролинии с установленными в них клапанами прямого и обратного действия, силовой гидроцилиндр,

электромеханический преобразователь. Электромеханический преобразователь содержит электродвигатель, мультипликатор, на выходном валу которого закреплен эксцентриковый кулачковый механизм, контактирующий с тарельчатым толкателем, поджимаемым пружиной возврата, установленной на штоке насоса. Изобретение направлено на увеличение точности позиционирования при статических и динамических нагрузках и сохранение линейной зависимости амплитуды колебаний от задаваемой электродвигателем частоты, а также на повышение надежности и долговечности вибратора электрогидравлического [7].

Вибратор электромагнитного типа

Колебательные системы таких вибраторов обычно выполняются двухмассовыми. Взаимные колебания происходят благодаря периодическому преобразованию кинетических энергий масс в потенциальную энергию механического упругого элемента, соединяющего массы, и наоборот.

Работа вибратора в близком к резонансному режиму работы позволяет наиболее эффективно осуществлять преобразование потребляемой из сети электрической энергии в энергию механических колебаний в нагрузке.

При всём многообразии существующие технологии и оборудования для изменения свойств ЖС обладают рядом недостатков: имеют не достаточную производительность, они неоправданно энергозатратны, дорогостоящи, требуют большего времени на проведение эксперимента и имеют, как правило, ограниченные диапазоны действия.

Обобщая выше изложенное, изменение тиксотропных свойств ЖС под воздействием каких либо физических факторов можно представить как показано на рисунке 1.1 а) и б).

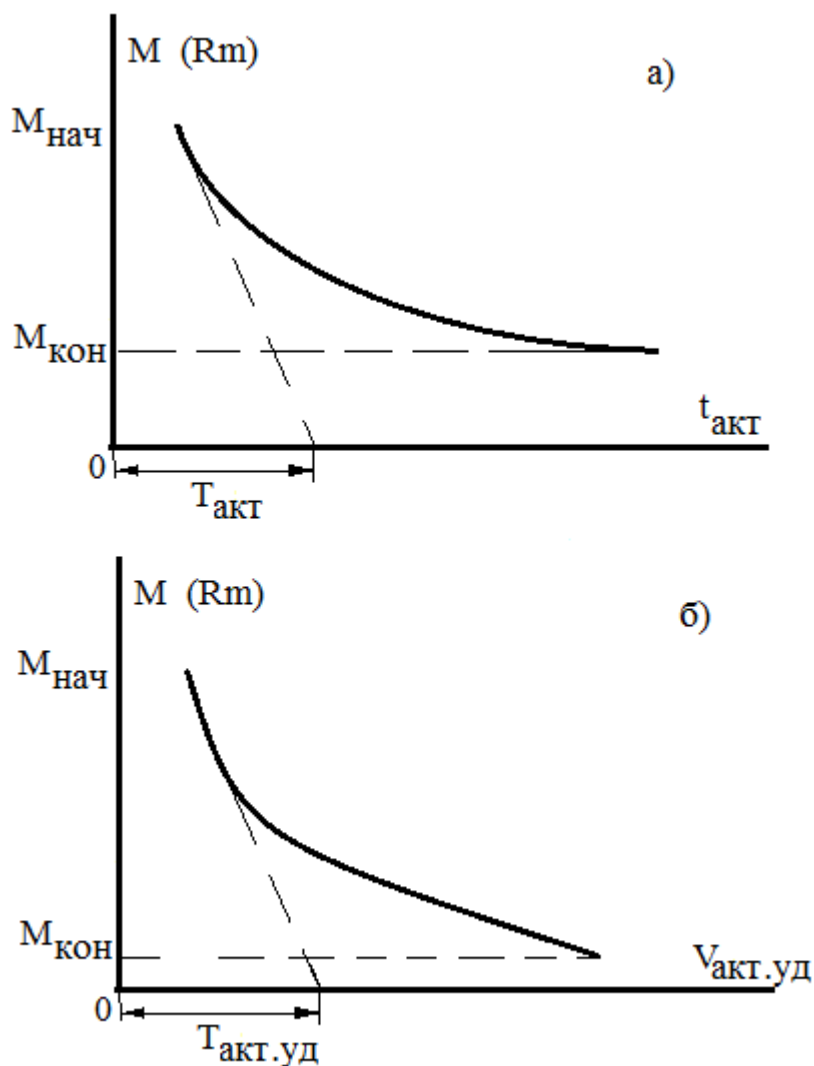


Рисунок 1.1- а) Изменение показателей вязкости от времени активации.

б) Изменение показателей вязкости от интенсивности активации.

При обработке ЖС различными технологиями наблюдается изменение вязкости, темпы снижения которого зависят от времени обработки рисунок 1.1 а) и интенсивности воздействующих факторов рисунок 1.1 б). Эффективной технологией обработки тиксотропных ЖС является технология виброструйной магнитной активации (ВСМА). При проведении лабораторных исследований на установках ВСМА появляется возможность определить показатели динамики изменения вязкости ЖС, которые могут быть использованы при проектировании промышленных устройств, использующих технологию ВСМА.

Параметры тиксотропных свойств таких ЖС и, особенно, динамика их изменений колеблются в широких пределах, и поэтому требуется проведение большого объема лабораторных исследований для определения конкретных индивидуальных показателей, которые могут быть положены в основу проектирования промышленных установок для обработки тиксотропных ЖС.

1.3. Технология ВСМА

Существует проблема обработки тиксотропных жидкостей, но достаточно эффективного и универсального способа решения этих проблем нет. Стоит задача, поиска решения этих вопросов. Технология ВСМА - это запатентованный способ многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные ЖС, применяемый для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров. Вибратор электромагнитный активационный предназначен для активации (перемешивания, разжижения, диспергации) нефтепродуктов, содержащих парафины, асфальтены и т.п., и других высоковязких жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами [8].

В ОАО НПФ «Геофит» и Томском политехническом университете разработана оригинальная технология – технология ВСМА жидких сред и устройства ВСМА для обработки неньютоновских жидкостей. Активными факторами воздействия на жидкости являются модулированная вибрация, как фактор разрушения, и турбулизованные затопленные струи, как фактор комплексный фактор разрушения и увеличения объема активации с преобладанием последнего [9].

Основой для конструкций различных устройств ВСМА является единичный модуль, представляющий собой электромеханическое устройство с широким диапазоном регулирования частоты и величины питающего напряжения. Уникальное сочетание факторов активации в одном устройстве и

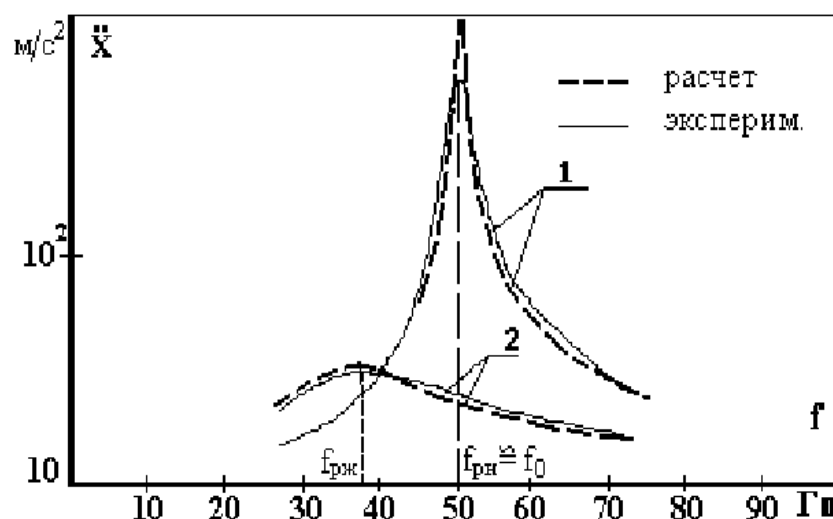
высокие удельные характеристики достигаются оригинальными конструкциями отдельных узлов модуля.

Оригинальная конструкция рабочих органов оборудования ВСМА обеспечивает наличие в среде замкнутых потоков жидкости, которые, в свою очередь, создают условия для многократного попадания отдельных порций жидкости в зону активации. Применение оборудования ВСМА для активации природных сапропелей сопровождается, во-первых, диспергирование исходного материала, а, во-вторых, приводит к определенным изменениям его химического состава.

Необходимость создания лабораторных установок обусловлена, во-первых, проведением большого объема работ исследовательского и поискового характера, а, во-вторых, и что наиболее важно, работ аналитического характера, являющихся одним из первоначальных этапов определения технологических параметров разработки и применения промышленных устройств.

Виброструйная магнитная активация с определенной энергией в следствие разрушению кристаллизационных структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств ЖС, например, нефти.

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



1.

Рисунок 1.2. Частотные характеристики колебания активатора.

1 - частотная характеристика колебаний активатора на воздухе.

2 - частотная характеристика колебаний активатора в ЖС (вода).

Применение такого устройства виброструйной магнитной активации жидкостей и растворов позволяет существенно сократить потребление электроэнергии за счет реализации в нем резонансно-колебательного режима работы, характеризующегося малым потреблением энергии.

Образцы оборудования ВСМА имеются. Оно обладает определёнными преимуществами и недостатками. В результате многочисленных экспериментов выявлено ряд недоработок этого оборудования, влияющих на корректность переноса результатов на показатели проектируемых промышленных установок. Кроме этого желательно улучшить мобильность и удобство обслуживания таких устройств. Однако стоит задача увеличения производительности обработки. Производительность зависит от расхода обрабатываемой жидкости, который в свою очередь зависит от амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний активатора в жидкости во многом определяется величиной гидравлического сопротивления, которое зависит от формы сопла активатора.

Основным недостатком существующей конструкции ВСМА является массивный активатор. Решая задачу увеличения производительности обработки

жидкостей, необходимо рассмотреть влияние формы струеобразователя на эксплуатационные характеристики установки, а также на проблему существования дополнительных потерь в активаторе за счёт наличия короткозамкнутых витков. В имеющейся лабораторной установке форма сечения струеобразователя трапецеидальная.

Очевидно, что при колебаниях активатора в зонах резких конструктивных переходов имеет место образование зон турбулизации потока жидкости, что сопровождается увеличением гидравлических сопротивлений, а, следовательно, и уменьшением амплитуд колебаний активатора. Большое значение имеют длина и форма внутреннего канала сопла, определяющие скорость частиц жидкости. Выбор правильного сопла для конкретной ситуации зависит от правильного понимания различных эффектов воздействия каждого вида на характер очистки и стоимость производимых работ.

Так же было решено применить активатор со специальной вставкой, исключающей образование к.з. контуров.

Указанные особенности технологии ВСМА создают предпосылки для разработки универсального и эффективного метода обработки тиксотропных ЖС, позволяющего определять численные значения таких параметров:

- механическое сопротивление и динамику его изменения движению тел в среде;
- время активации и релаксации тиксотропных параметров ЖС.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ

2.1. Состав установки, назначение основных элементов

В настоящее время существует лабораторное оборудование для активации тиксотропных ЖС, которое используется уже более десяти лет. В результате многочисленных экспериментов был выявлен ряд недостатков этого оборудования, влияющих на результаты исследований. Было решено улучшить мобильность и удобство её обслуживания. В существующей лабораторной установке было необходимо предусматривать специальные мероприятия по недопущению протекания жидкости из кюветы, так как струи потока жидкости были направлены вверх. Используемая кювета была объёмом один литр, и выполнена вместе с электромагнитным приводом, в следствие чего, после каждого эксперимента, требовалось тщательно промывать кювету, что увеличивало время исследования. Вариант со сменной кюветой более практичен. Увеличение объёма жидкости, заполняемой кювету, будет способствовать получению на лабораторной установке гарантированных результатов, которые можно будет использовать для разработки промышленных установок [10].

Таким образом, проектируемая лабораторная установка должна иметь несколько сменных кювет объёмом не менее десяти литров.

Среди способов реализации вибрационного движения наиболее перспективным (в сравнении с кинематическим или динамическим) с точки зрения надёжности и управляемости, соответственно, является силовое возбуждение колебаний при помощи электромагнитного вибропривода.

Основой электропривода является единичный колебательный модуль электромагнитного типа, в качестве якоря которого использован активатор специальной формы.

Принцип работы колебательного электромагнитного модуля следующий. Одну из кювет, заполненную исследуемой жидкостью, размещают в лабораторной установке. На катушки электромагнитного вибропривода по

устройству ввода электропитания через диод подается напряжение переменного тока. При поступлении пропускаемой диодом одной полуволны напряжения переменного тока на катушки электромагнитов по ним протекает ток, пластина-активатор под действием электромагнитной силы притягивается через перегородки к магнитопроводам, пружины деформируются. При этом жидкость, находящаяся под пластиной-активатором, сжимается и под большим давлением выталкивается через круговое трапециидальное отверстие, в направлении от корпуса, образуя поток ЖС.

Во второй полупериод, когда диод не пропускает ток, ток по катушкам электромагнитов не протекает, электромагнитная сила равна нулю, пластина-активатор под действием силы упругости пружины отходит от перегородки и очередной объем технологической жидкости подтекает под пластину-активатор. При постоянной подаче напряжения переменного тока на катушки электромагнитного вибропривода пластина-активатора совершает колебания, формируя постоянный поток ЖС, тем самым активируя (перемешивая и разжижая) ее. Частота напряжения переменного тока должна быть равна собственной частоте колебаний пластины-активатора в жидкости.

Таким образом, общие требования к проектируемой универсальной лабораторной установке можно сформулировать следующим образом:

1. Возможность быстрой замены ёмкостей с исследуемыми ЖС
2. Регулирование частоты и уровня воздействий
3. Визуальное наблюдение за ходом активации ЖС

2.2. Устройство лабораторной установки

Учитывая вышеизложенные обстоятельства, была разработана универсальная лабораторная установка (УЛУ). Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 2.1. Для обеспечения оперативности проведения экспериментов с различными жидкостями, как это было отмечено ранее, кювета с жидкостью должна быть сменной, а их количество

соответствовать числу одновременно исследуемых жидкостей. Для разрабатываемой лабораторной установки прием количество кювет равным трём. Опыт эксплуатации имеющейся установки показал, что объём обрабатываемой жидкости один литр не достаточен для объективности распространения результатов на промышленные устройства, большой производительности. Нами было принято условие, что объём кюветы равный или более десяти литров был бы вполне достаточен для выработки практических рекомендаций. Поэтому принимаем объём кюветы, равным десяти литрам. Общий вид кюветы приведён на рисунке 2.2.

Учитывая, что в основе принципа действия лабораторной установки лежит вибрационное воздействие, кювета должна быть массивной, надёжно размещаться в лабораторной установке. При этом кюветы должны обеспечивать простую и лёгкую сменяемость.

В предлагаемой установке с помощью поворотного устройства (ворот), электромагнит с рычагом и активатором, сдвигаются, что позволят поместить их внутрь кюветы с жидкостью.

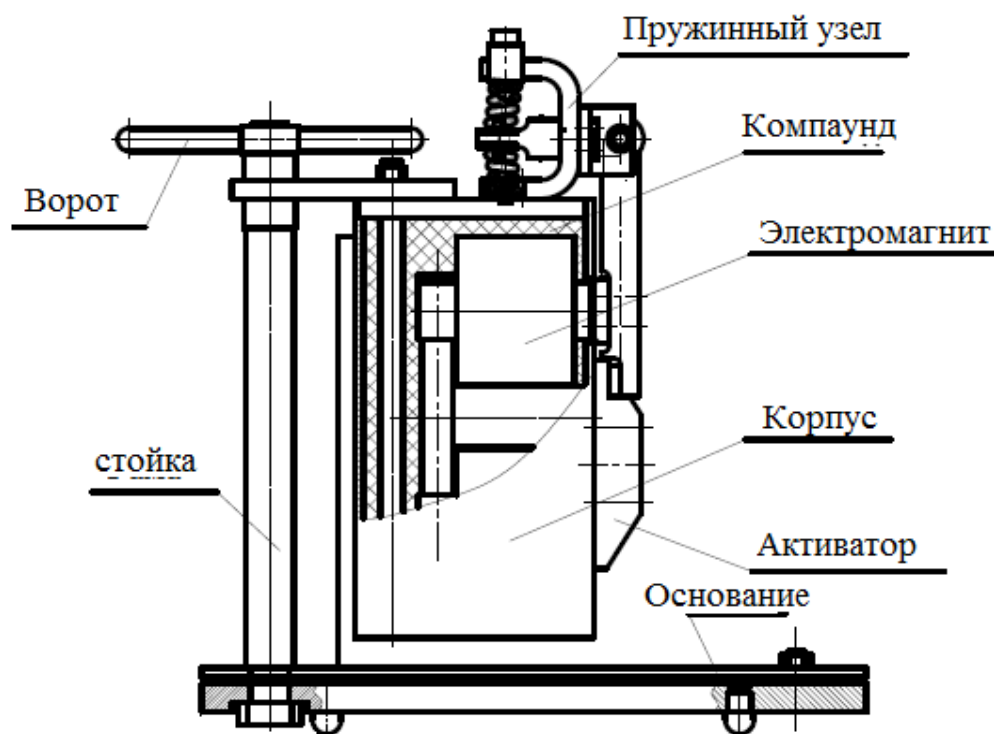


Рисунок 2.1 – Общий вид УЛУ

Стойка установки выполнена из трубы. Стойка закреплена на массивном основании. В верхней части рамы расположен поворотный механизм.

Для смены кюветы используется специальный поворотный механизм, которые позволяют быструю замену. С помощью поворотного механизма, электромагнит и колебательный узел, поворачиваются, что позволяет поместить их в кювету с исследуемой жидкостью, далее мы закрепляем кювету к основанию. Что уменьшает время, затраченное на исследования различных ЖС. После обработки исследуемой жидкости кювета отправляется в лабораторию, для дальнейшего исследования. Произведя замену, мы можем производить опыты с другими жидкостями.

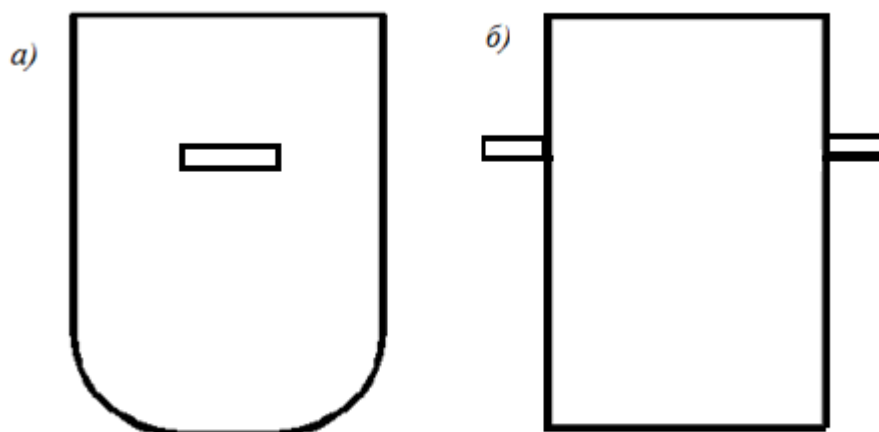


Рисунок 2.2 – Кювета: а) вид с боку, б) вид спереди.

Одной из основных частей лабораторной установки является колебательный узел. Он закреплен к поворотному механизму, располагающейся в верхней части стойки лабораторной установки. Конструкция колебательного узла состоит из пружин, рычага, кронштейна и пластины-активатор, которая выполнена в виде конусного диска с круговым отверстием. В случае выхода из строя пружин происходят беспорядочные колебания активаторов с малыми амплитудами, сопровождающиеся резким ухудшением активации. Причинами выхода пружин из строя является

нарушение их целостности (образование трещин) и, как следствие, потеря ими необходимых упругих свойств. Ухудшение активации (струеобразования) регистрируется визуально. При резком ухудшении струеобразования производят замену неисправных пружин на исправные из запасного комплекта.

Основой электромагнитного вибропривода является электромагнит, который крепится к установке и состоит из магнитопровода и двух катушек, соединенных последовательно. Напротив полюсов электромагнита установлена пластина-активатор, совершающая колебательные движения в жидкой среде с собственной частотой, равной частоте напряжения питания электромагнитного вибропривода.

2.2.1. Разработка отдельных узлов установки

Активатор является основной частью лабораторной установки. Он закреплен на корпусе с помощью регулируемых узлов крепления и пружин на заданном расстоянии от стенки кюветы, прилегающей к полюсам магнитопровода. В пластине-активаторе выполнены специальные отверстия, через которые нефтепродукт или другая обрабатываемая жидкая среда, заключенные в пространстве между активатором и стенкой оболочки, проходит, образуя затопленные струи.

Конструкция активатора приведена на рисунке 2.3.

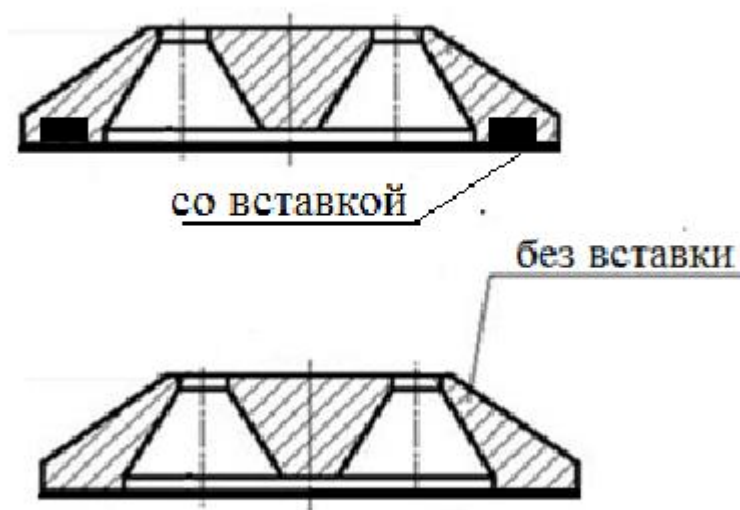


Рисунок 2.3 – Общий вид активатора

Образование к.з. витков может приводить к разным явлениям: образуют паразитные токи, которые приводят к образованию противо-МДС, и росту электрических потерь. Существуют способы борьбы с образованием к.з. контуров: в электрических машинах и трансформаторах используют прессованный материал или шихтованный из магнитопроводящего материала.

2.2.2. Колебательный узел

Конструкция колебательного узла приведена на рисунке 2.4.

Электромагнит, состоящий из П-образного сердечника, набранного из пластин электротехнической стали толщиной 0,35 мм и намотанной обмоткой с количеством витков равным 1000. Сердечник магнитопровода расположен в силовой части корпуса лабораторной установки. Якорем данного электромагнита является активатор.

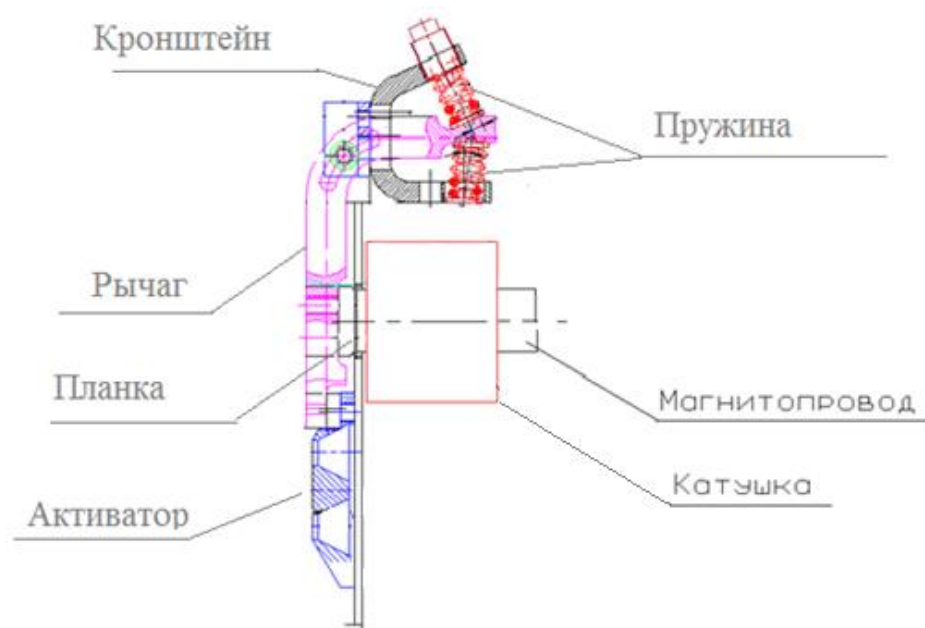


Рисунок 2.4 – Конструкция колебательного узла

Таким образом, модернизированная УЛУ должна иметь следующие основные технические характеристики, приведённые в таблице 1.1.

Таблица 2.1 - Основные параметры.

Номинальное напряжение питания		220 кВ, 50 Гц
Размеры модуля виброобработки		0,3 x 0,3 x 0,3 м
Размеры магнитопровода	Сечение	$S = 45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$
	Поперечное сечение	0,03 x 0,015 м
	Длина	$l = 0,39 \text{ м}$
Количество витков в катушке		$N = 1000$
Сопротивление катушки активное		15.2 Ом
Жёсткость пружины		88700 Н/м
Диапазон тока		1,5-2,5 А
Диапазон регулирования частоты		20 Гц-30Гц
Диапазон регулирования начального зазора		0,005-0,006 м

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, — это клепка, штамповка, испытание авиамоторов, работа на ткацких станках и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Источником производственного шума и вибрации являются колебательная система.

При применении оборудования ВСМА следует учитывать параметры вибрации и шума, создаваемые установкой. В случае, когда величина вибрации и шума на рабочих местах превышает нормативные, следует применять глушители, гибкие вставки, амортизаторы и т.д. Уровень шума, создаваемый установкой на рабочих местах, должен соответствовать ГОСТ 12.1.003-83.

Таблица 2.2 - Уровни звукового давления.

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Измерительные и аналитические работы в лаборатории	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93

Вибрация установки, может оказать влияние на степень комфорта и эффективность работы, а в некоторых случаях на его здоровье и безопасность. В ГОСТ 12.1.012-2004 установлено, что изделия должны быть спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы риск вследствие создаваемой ими вибрации был сведен к минимуму, а в случаях когда, несмотря на принимаемые меры, полностью избежать вредного воздействия вибрации невозможно,

изготовитель должен проинформировать об этом потенциального потребителя. Там же установлено, что в технических документах на потенциально виброопасную машину должна быть определена характеристика производимой машиной вибрации. Настоящий стандарт посвящен методам измерения таких характеристик для самоходных машин.

При работе лабораторной установки основным требованием является обеспечение максимальной допустимой амплитуды колебаний, т.к. при этом будем иметь максимальную производительность и максимальный эксплуатационный эффект. Благодаря этому, могут быть получены максимальные значения основных параметров ВСМА, таких как скорость затопленных струй, сдвиговая скорость, ускорение рабочего органа, перепад давления в зоне активации, частота основного воздействия, частота модуляции основного воздействия.

Таким образом, (разработанная УЛУ, состоящая из блока питания, диода, преобразователя частоты и установки УЛУ) должна иметь следующие технические характеристики:

1. Напряжение питания 220В;
2. Диапазон изменения:
 - напряжения 100В-300В;
 - частоты 20Гц-60Гц;
3. Объем обрабатываемой ЖС 10 литров;
4. Производительность обработки, не менее $0,2 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Выбранные общие узлы и параметры УЛУ позволяют выстроить принципиальные электрические и механические цепи установки, параметры и режимы работы которых можно исследовать на основании математического моделирования.

2.3. Электропривод УЛУ

Для обеспечения изменяемых режимов работы УЛУ электропривод должен содержать следующие основные элементы:

- Преобразователь частоты.
- Блок питания, который должен включать в себя диод.
- Автоматический выключатель
- Виброактиватор.

Общая схема подключения лабораторной установки к электрической сети приведена на рисунке 2.5

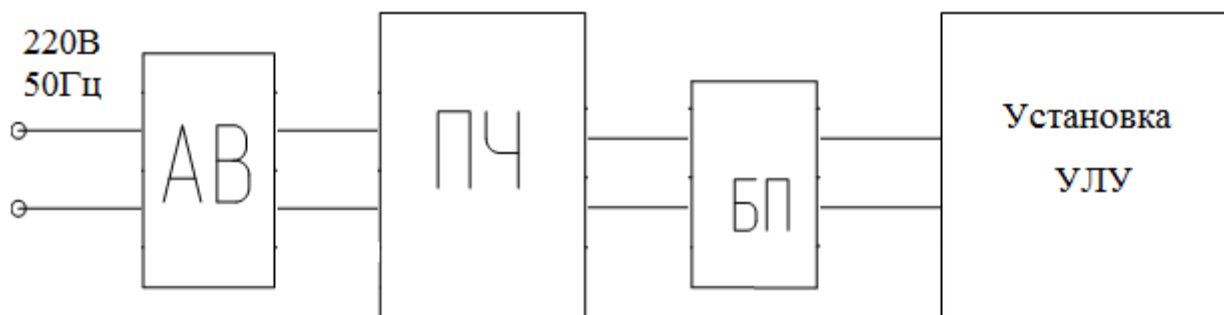


Рисунок 2.5 – Функциональная схема регулируемого электропривода.

Исходя из общих рекомендаций по составу электропривода и полученных ранее экспериментальных результатов эксплуатации предыдущего варианта лабораторной установки, наиболее подходящим является выбор частотного преобразователя с параметрами, приведёнными в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Параметры схемы регулирования.

Диапазон регулирования частот, Гц	от 20 до 70
Номинальное напряжение сети, В	$U = 220$.
Ток фазы, А	$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \times k_3 = 2,38 \times 1,2 = 2,85$ I_{max} - максимальный ток, протекающий в катушке; k_3 - коэффициент запаса примем равным 1,2;

Преобразователь частоты необходим, чтобы мы могли регулировать частоту и напряжение. Для данной УЛУ мы можем использовать преобразователь частоты фирмы MITSUBISHI ELECTRIC серия FR-E720S-030-EC. На рисунке 3.1 представлен преобразователь частоты FR-E720S-030-EC.



Рисунок 2.6– Преобразователь частоты FR-E720S-030-EC.

В таблице 2.4 приведены паспортные данные преобразователя частоты FR-E720S-030-EC.

Таблица 2.4 - Паспортные данные преобразователя частоты.

Номинальная мощность, кВт	0.4
Выходная мощность, кВА	1.2
Номинальный ток, А *	3
Напряжение питания	1-фазное, 200-240В AC, -15% / +10%

Частота напряжения питающей сети	50 / 60 Гц $\pm$ 5%
Способ управления	U/f -регулирование, оптимальное управление возбуждением, векторное управление (или расширенное управление вектором потока
Диапазон выходной частоты, Гц	0.2...400
Класс защиты	IP 20

Управление электромагнитным вибратором активатора осуществляется в ручном режиме. Управление преобразователем частоты осуществляется по двум каналам регулирования U и f. Так же в качестве аппарата защиты может быть использован автоматический выключатель типа ВА47-29. Его параметры приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Параметры выключателя ВА47-29

Количество полюсов	1
Номинальный ток, А	6
Номинальное напряжение, В	220
Номинальная отключающая способность, А	4500
Время срабатывания, с	0,004
Вес брутто, кг	0,088
Гарантийный срок, лет	5
Степень защиты выключателя	IP20

Мы можем использовать диод типа КД203А параметры которого:

- $U_{об.мах} = 600 \text{ В.}$
- $I_{пр.мах} = 10 \text{ А.}$
- диапазон рабочих температур $-60...+125 \text{ С}^{\circ}$
- гарантийная наработка не менее – 8000 ч.

Таким образом, в результате определены основные элементы электрической схемы электропривода установки и их эксплуатационные параметры, позволяющие обеспечить функционирование лабораторной

установки во всём возможном диапазоне режимов работы при исследованиях реологических свойств различных жидких систем.

2.4. Основные правила эксплуатации лабораторной установки

Для начала работы, выбираем исследуемую ЖС, наливаем эту ЖС в кювету. Устанавливаем кювету с исследуемым веществом в лабораторную установку, а именно с помощью поворотного механизма, поворачиваем электромагнит с колебательным узлом. Далее располагаем кювету так, чтобы электромагнит и колебательный узел погрузились в исследуемое вещество. Затем с помощью поворотного механизма, возвращаем части в исходное положение и закрепляем блок виброобработки.

С помощью регулировочного винта устанавливаем начальный зазор.

Проверка целостности узлов.

Далее включаем установку, а именно:

- Включаем автоматический выключатель QF;
- Включаем преобразователь частоты

На преобразователе частоты, устанавливаем необходимое значение частоты и напряжения питания.

Далее проводим визуальный анализ работы установки, по достижению результата, выключаем установку в обратном порядке, снимаем кювету с исследованной жидкостью, а на ее место помещаем другую кювету. Обработанная ЖС передаётся в лабораторию для определения параметров вязкости и времени восстановления свойств вплоть до первоначальных или промежуточных.

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ

3.1. Электрическая схема замещения установки

Электрическая схема модернизированной и имеющейся лабораторных установок представляет собой главный и три короткозамкнутых (КЗ) контура. Основной электрический контур включает в себя электромагнит (индуктивности $L1$ и $L2$, активные сопротивления катушек $R1$ и $R2$, и диод VD). Энергия распространения колебаний в пространстве, как известно, зависит от частоты возмущений. Причём, чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии колебаний в среде. Использование диода VD позволило обеспечить частоту возмущающей силы 50 Гц при частоте питающего напряжения 50 Гц.

Короткозамкнутый контур, создаваемый конструктивными элементами пластин, на схеме замещения представлен индуктивностью L_{K3} и активным сопротивлением R_{K3} .

Так как КЗ контуры идентичны друг другу, учтем влияние на катушки только одного КЗ контура.

Расчетная схема замещения электрической части ЭМП со вставкой представлена на рисунке 3.1.

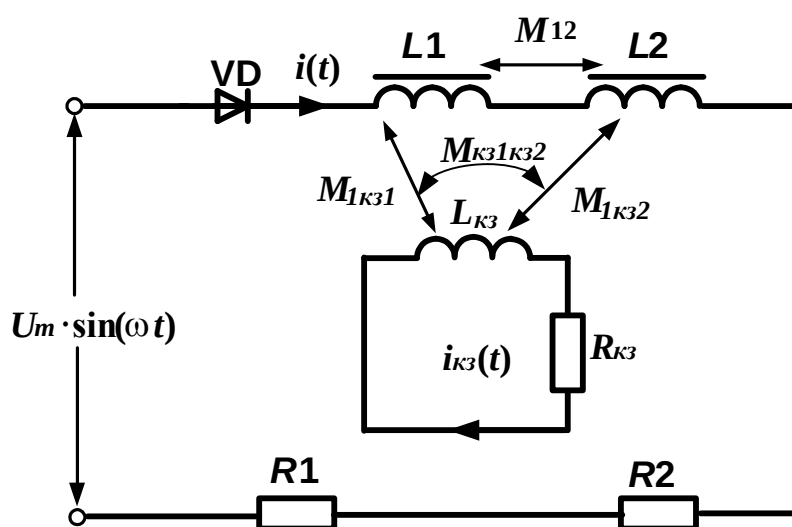


Рисунок 3.1 – Схема замещения электрической части установки с активатором со вставкой

Схема замещения (Рисунок 3.1) включает в себя следующие элементы

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

контура за счет стенки разделяющий электромагнит и жидкой среды.

$M_{кз}$ – взаимная индуктивность короткозамкнутого контура;

Определим параметры электрической системы ЭМП.

Активное сопротивление КЗ контура:

$$R_{кз} = \rho_{кз} \frac{l_{кз}}{S_{кз}}, \quad (3.1)$$

где: $\rho_{кз}$ – проводимость материала к.з витка

$l_{кз}$ – длина короткозамкнутого витка

$S_{кз}$ – сечение короткозамкнутого витка

$$L_{кз} = L_{кз1} = L_{кз2} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W_{кз}^2}{\frac{2 \cdot l_{маг} + x \cdot \mu_{ст.10}}{\delta}}, \quad (3.2)$$

Взаимоиндуктивность основных контуров:

$$M_{12} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W_1 \cdot W_2}{\frac{2 \cdot l_{маг} + x \cdot \mu_{ст.10}}{\delta}}, \quad (3.3)$$

$$(3.4)$$

Взаимоиндуктивность между основным и короткозамкнутым контуром:

$$M_{кз} = \frac{\mu_{ст.10} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot W_{кз} \cdot W_{кз}}{\frac{2 \cdot l_{маг} + X_0 \cdot \mu_{ст.10}}{\delta}}, \quad (3.5)$$

Активное сопротивление КЗ контура принимаем:

$$R_{кз} = 4,778 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

где $N=1000$ – число витков катушки;

$l = 0,152 \text{ м}$ - длина средней линии магнитопровода;

$S = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 450 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения сердечника;

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$ – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{ст.10} \approx 5000$ – относительная магнитная проницаемость стали 10;

$\sigma = 1,5$ - коэффициент рассеивания;

$k=1$ – коэффициент, учитывающий отношение длины намотки к диаметру соленоида ($l/d \gg 10$).

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{кз} = 2,828 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Принимаем следующие значения взаимных индуктивностей:

$$M_{12} = 0,065 \text{ Гн;}$$

$$M_{кз} = 2,071 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.}$$

Расчетная схема замещения электрической части ЭМП без вставки представлена на рисунке 3.2.

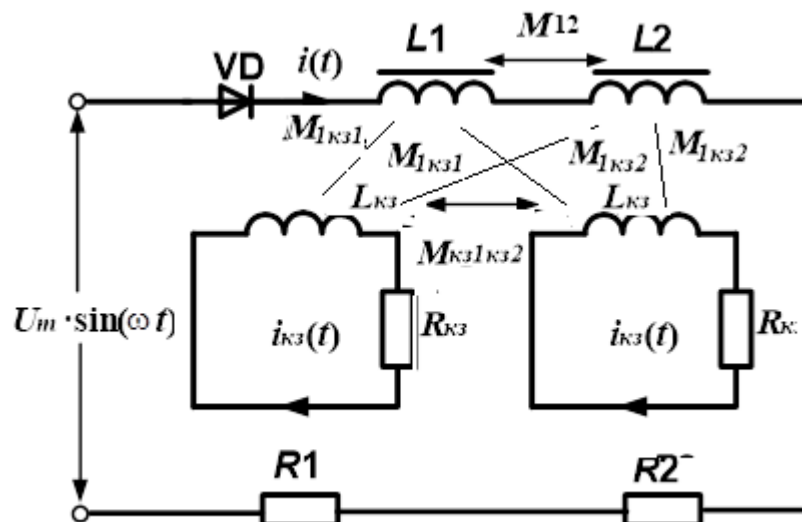


Рисунок 3.2 – Схема замещения электрической части установки с активатором без вставки

Активное сопротивление КЗ контура принимаем:

$$R_{кз} = 2,172 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{кз} = 2,828 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Принимаем следующие значения взаимных индуктивностей:

$$M_{12} = 0,065 \text{ Гн;}$$

$$M_{кз} = 2,071 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.}$$

3.2. Магнитная цепь установки

Схема замещения магнитной цепи УЛУ со вставкой представлена на рисунке 3.3

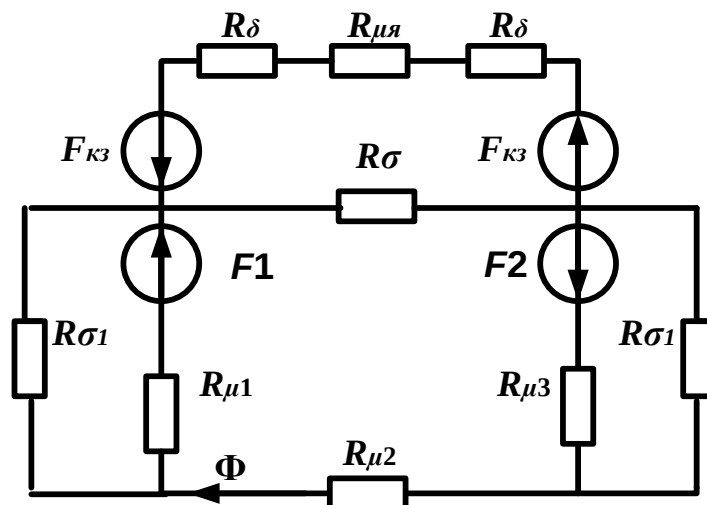


Рисунок 3.3 – Схема замещения магнитной цепи УЛУ с активатором со вставкой

В схеме замещения рисунка 4.3 учтено наличие двух КЗ витков в виде МДС $F_{кз} = I_{кз}$, направленных встречно основным МДС $F_1 = F_2 = F = W \cdot I = 1000 \cdot I$,

Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для магнитной цепи:

$$F_1 + F_2 - 2 \cdot F_{\text{кз}} = 2 \cdot F - 2 \cdot F_{\text{кз}} = \\ = \Phi \cdot (R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + R_{\mu \text{я}} + 2 \cdot R_{\delta} + 2 \cdot R_{\sigma 1} + R_{\sigma}),$$

Откуда магнитный поток:

$$\Phi = \frac{2 \cdot F - 2 \cdot F_{\text{кз}}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + R_{\mu \text{я}} + 2 \cdot R_{\delta}} = \frac{3200 \cdot I - 2 \cdot I_{\text{кз}}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + R_{\mu \text{я}} + 2 \cdot R_{\delta} + 2 \cdot R_{\sigma 1}}. \quad (3.6)$$

Рассчитаем величины магнитных сопротивлений участков магнитной цепи УЛУ по формуле:

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu_0 \cdot S \cdot \mu_{\text{ст.10}}}$$

где: l – длина участка магнитопровода;

S – площадь поперечного сечения участка магнитопровода.

Тогда, руководствуясь геометрией устройства, определим магнитные сопротивления участков магнитопровода:

Магнитное сопротивление стали стержня

$$R_{\mu 1} = R_{\mu 3} = \frac{81 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 5000 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3}} = 28570 \text{ Ом}$$

Магнитное сопротивление спинки магнитопровода равно

$$R_{\mu 2} = \frac{65 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 5000 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 17200 \text{ Ом}$$

Величина сопротивление в магнитом цепи якоря

$$R_{\mu \text{я}} = \frac{65 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 5000 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^{-3}} = 64480 \text{ Ом.}$$

Магнитное сопротивление воздушного зазора

$$R_{\delta} = \frac{X_0}{\mu_0 \cdot S_{\delta}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 450 \cdot 10^{-3}} = 14,11 \cdot 10^6 \text{ Ом.}$$

Магнитное сопротивление рассеивание

$$R_{\sigma 1} = \frac{l_{\text{маг}}}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{воздуха}} \cdot S} = \frac{0,065}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 450 \cdot 10^{-6}} = 114,6 \cdot 10^6 \text{ Ом.}$$

Для исследования электрической части виброактиватора со вставкой:

$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{S} = \frac{3.37 \cdot 10^{-4}}{450 \cdot 10^{-6}} = 0.75 \text{ Тл}$$

Схема замещения магнитной цепи УЛУ без вставки представлена на рисунке 3.4

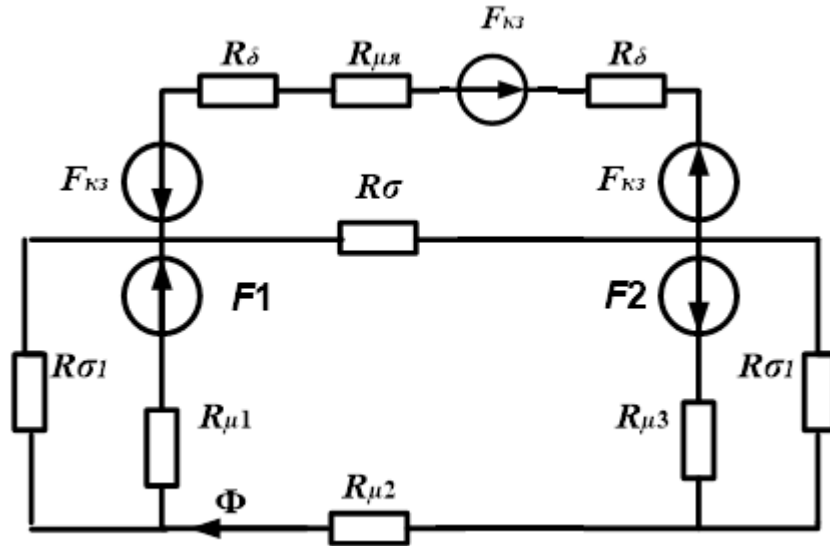


Рисунок 3.4 – Схема замещения магнитной цепи УЛУ без вставки

В схеме замещения рисунка 3.4 учтено наличие двух КЗ витков в виде МДС $F_{K3}=I_{K3}$, направленных встречно основному МДС $F_1=F_2=F=W \cdot I=1000 \cdot I$,

Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для магнитной цепи:

$$\begin{aligned} F_1 + F_2 - 2 \cdot F_{K3} &= 2 \cdot F - 2 \cdot F_{K3} + F_{K3} = \\ &= \Phi \cdot (R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + 2 \cdot R_{\delta} + 2 \cdot R_{\sigma 1} + R_{\sigma}), \end{aligned}$$

Откуда магнитный поток:

$$\Phi = \frac{2 \cdot F - 2 \cdot F_{K3} + F_{K3}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + 2 \cdot R_{\delta} + 2 \cdot R_{\sigma 1}} = \frac{3200 \cdot I - 2 \cdot I_{K3} + I_{K3}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} + 2 \cdot R_{\delta} + 2 \cdot R_{\sigma 1}}. \quad (3.7)$$

Для исследования механической части виброактиватора без вставки:

$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{S} = \frac{3.003 \cdot 10^{-4}}{450 \cdot 10^{-6}} = 0.667 \text{ Тл}$$

3.3. Система дифференциальных уравнений виброактиватора

Система дифференциальных уравнений работы виброактиватора приведенная ниже состоит из уравнений электрических контуров УЛУ (виброактиватора) и уравнения механического контура. Данные уравнения должны иметь вид, удобный для решения численными методами.

3.3.1. Уравнение движения механической части

Уравнение, описывающее динамику механической системы:

$$M \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + Rm \cdot \frac{dx(t)}{dt} + q \cdot x(t) = F(t). \quad (3.9)$$

При этом крутильный момент $M(t)$, прикладываемый к механической части:

$$F(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_{\delta}^2 \cdot S_{\Phi}}{\mu_0} \quad (3.10)$$

Площадь магнитопровода, через которую замыкается магнитный поток, создающий механическое усилие, определим как площадь двух воздушных зазоров, так как в каждом зазоре действует сила, следовательно суммарная сила равна двойному значению:

$$S_{\Phi} = 2 \cdot S_{\delta} = 2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

3.3.2. Система дифференциальных уравнений УЛУ

Запишем систему уравнений всех контуров УЛУ:

- со вставкой

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_K}{dt} &= \frac{U_m \sin \omega t - 2i_K(R_K + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dL_K}{dt}) - 2M_{K312} \frac{di_{K3}}{dt} - 2i_{K3} \frac{dM_{K312}}{dt}}{2(L_K + M_{12})} \\ \frac{di_{K3cm}}{dt} &= \frac{-i_{K3}(R_{K3} + \frac{dL_{K3cm}}{dt} + 2\frac{dM_{K312}}{dt}) - 2i_K \frac{dM_{K312}}{dt} - 2M_{K312} \frac{di_K}{dt}}{(L_{K3cm} + 2M_{K312})} \\ \frac{di_{K3актив}}{dt} &= \frac{-i_{K3}(R_{K3} + \frac{dL_{K3актив}}{dt} + 2\frac{dM_{K312}}{dt}) - 2i_K \frac{dM_{K312}}{dt} - 2M_{K312} \frac{di_K}{dt}}{(L_{K3актив} + 2M_{K312})} \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{F(t) - R_m \cdot y - q \cdot x}{M_a} \\ \frac{dx}{dt} &= y \end{aligned} \right.$$

Без вставки

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_K}{dt} &= \frac{U_m \sin \omega t - 2i_K(R_K + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dL_K}{dt}) - 2M_{K312} \frac{di_{K3}}{dt} - 2i_{K3} \frac{dM_{K312}}{dt}}{2(L_K + M_{12})} \\ \frac{di_{K3}}{dt} &= \frac{-i_{K3}(R_{K3} + \frac{dL_{K3}}{dt} + 2\frac{dM_{K312}}{dt}) - 2i_K \frac{dM_{K312}}{dt} - 2M_{K312} \frac{di_K}{dt}}{(L_{K3} + 2M_{K312})} \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{F(t) - R_m \cdot y - q \cdot x}{M_a} \\ \frac{dx}{dt} &= y \end{aligned} \right.$$

3.4. Алгоритм расчёта системы уравнений

Система уравнений, состоящая из основного контура, короткозамкнутого контура, уравнения механического контура и скорости амплитуды, не может быть решена аналитическими методами, поэтому для расчёта режимов работы приведенные системы уравнений, рассчитанные методом Рунге-Кутты четвертого порядка, составим алгоритм расчета системы.

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

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

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

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

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

Алгоритм расчетов будем производить, учитывая соответствующие коэффициенты во времени. Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом:

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

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

4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

ЖС играют важную роль во многих технологических процессах. Особенности применения жидкостей во многом определяются их свойствами. Одним из важнейших свойств является вязкость. Она определяется как способность оказывать сопротивление перемещению одной из частей относительно другой-то есть как внутреннее трение. Так же важнейшим свойством является плотность. Плотность жидкости – это отношение массы жидкости к объёму, который она занимает. Рассмотрим примеры плотности некоторых жидкостей. Первое вещество, которое приходит в голову при слове «жидкость» — это вода. И это вовсе не случайно, ведь вода является самой распространённой субстанцией на планете. Для проведения более качественного расчетного эксперимента так же были взяты две ЖС, нефть и буровой раствор.

Важным параметром, определяющим производительность обработки (активации) ЖС является начальный зазор активатора. Его определение требует создание определённой методики. В работе выбор начального зазора, осуществляется следующим образом, в алгоритм расчета для резонансной частоты, подставляется значение начального зазора, далее проводится анализ данных, которые показывают, нужно ли корректировать значение начального зазора.

4.1. Анализ работы установки при изменении механического сопротивления R_m , начального зазора δ

4.1.1. Механическое сопротивление $R_m=303,9$ кЗ/с, плотность нефти

$$\rho_{ж}=870 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Проанализируем работу активатора со специальной вставкой, обеспечивающей отсутствие к.з. витков. Необходимо отметить, что в ходе анализа должно соблюдаться постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$ при частотах менее 50 Гц.

Для начала моделирования было выбрано значение механического сопротивления $R_m=303,9$ кг/с для плотности жидкости $\rho_{жс}=870 \text{ кг} / \text{м}^3$. Указанное значение механического сопротивления соответствует нефти, имеющей средние значения вязкости в начале обработки. Также был выбран начальный зазор исходя из получаемой производительности и характера колебательной системы $\delta=6,2$ мм. Для обеспечения оптимальной производительности, необходимо корректировать частоту питающего напряжения, обеспечивая резонансный режим.

Учитывая тот факт, что принцип работы установки резонансный, очевидно, что необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения.

Типичные кривые амплитуды колебаний, тока и силы на резонансной частоте приведены на рисунках Рисунок 4.1 и Рисунок 4.2.

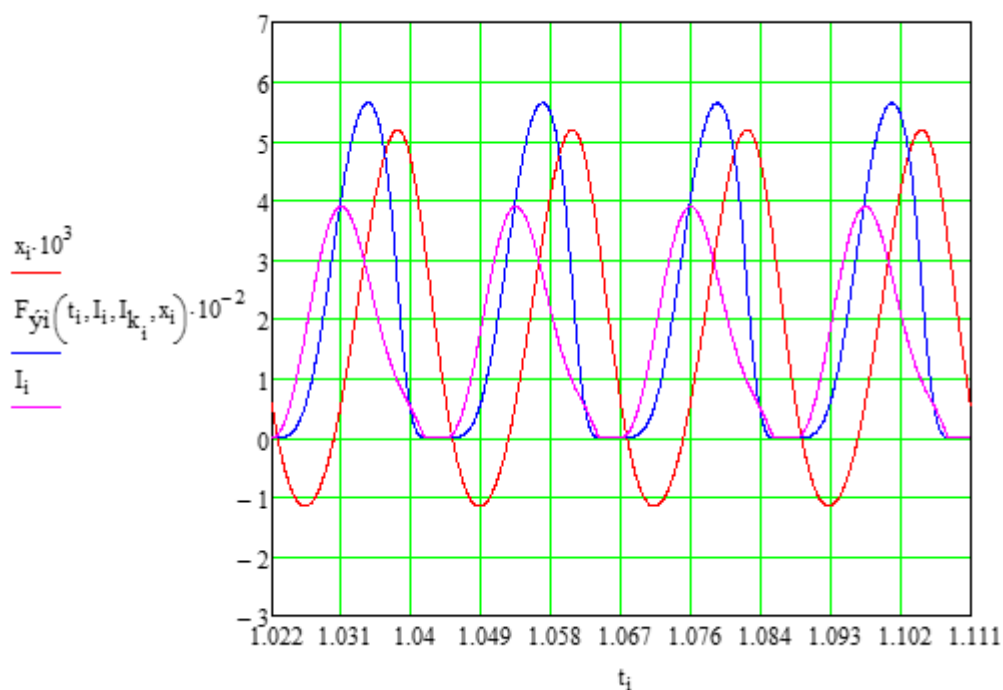


Рисунок 4.1 – График амплитуды колебаний со вставкой при $R_m=303,9$ кг/с,

$$\rho_{\text{ж}}=870 \text{ кг} / \text{м}^3, f=45 \text{ Гц}$$

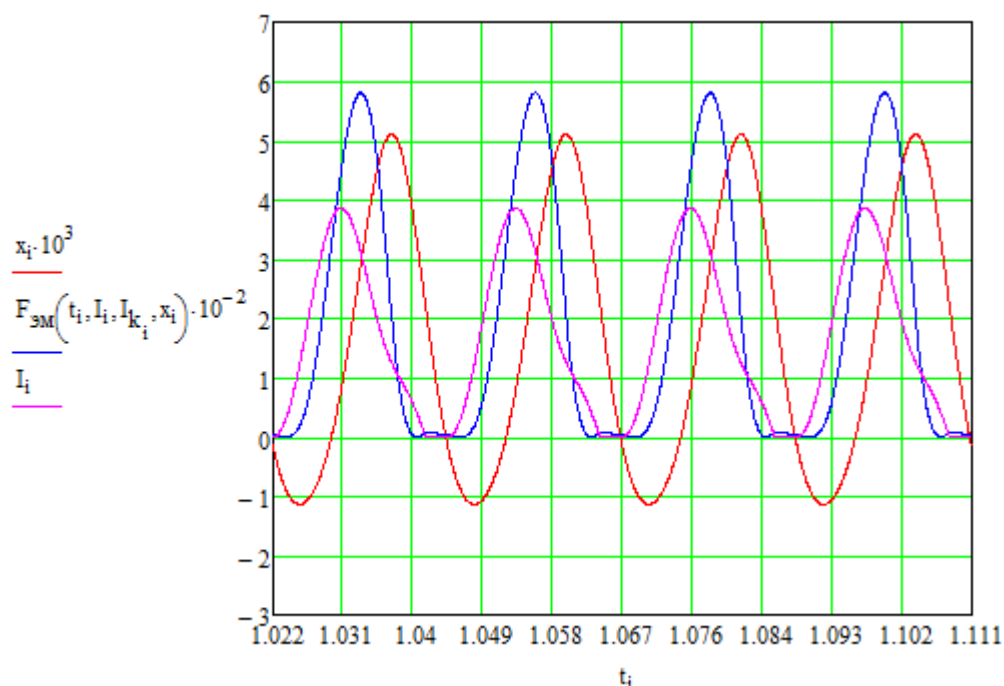


Рисунок 4.2 – График амплитуды колебаний без вставки при $R_m=303,9$ кг/с,

$$\rho_{\text{ж}}=870 \text{ кг} / \text{м}^3, f=45 \text{ Гц}$$

В ходе моделирования были получены значения действующего тока, тока короткого замыкания, производительность активации и амплитуда колебаний. Сведем полученные результаты в таблицу (таблица 4.1 и 4.2) для построения частотных характеристик. В таблице 4.1 представлены значения для активатора со вставкой.

Таблица 4.1 - Полученные данные при $R_m=303,9$ кг/с, $\rho_{\text{ж}}=870 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=45$ Гц.

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{\text{кз}}$ А	δ мм
303,9	30	4,1	4,65	1,74	26,5	6,2
303,9	35	5,38	4,86	1,86	30,8	6,2
303,9	40	5,66	4,65	2,03	36,3	6,2
303,9	45	4,7	4,16	2,13	42,2	6,2
303,9	50	3,7	3,7	2,27	48,2	6,2
303,9	55	1,58	2,7	2,2	47,5	6,2
303,9	60	0,8	2,1	2,1	47,6	6,2
303,9	65	0,44	1,67	1,99	47,6	6,2
303,9	70	0,26	1,4	1,88	47,4	6,2

В таблице 4.2 представлены значения для активатора без вставки.

Таблица 4.2 - Полученные данные при $R_m=303,9$ кг/с, $p_{ж}=870$ кг / м³, $f=45$ Гц.

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
303.9	30	3	4,22	1,77	222	6,2
303.9	35	3,45	4,36	1,86	246	6,2
303.9	40	3,91	4,17	1,97	276	6,2
303.9	45	3,65	3,89	2,1	306	6,2
303.9	50	3,33	3,62	2,29	331	6,2
303.9	55	1,69	2,8	2,26	303	6,2
303.9	60	0,9	2,22	2,1	276	6,2
303,9	65	0,52	1,78	2	250	6,2
303,9	70	0,33	1,49	1,89	227	6,2

На рисунках Рисунок 4.3 и Рисунок 4.4 приведены частотные характеристики производительности активации и амплитуды колебаний активатора для нефти в зависимости от частоты питающего напряжения.

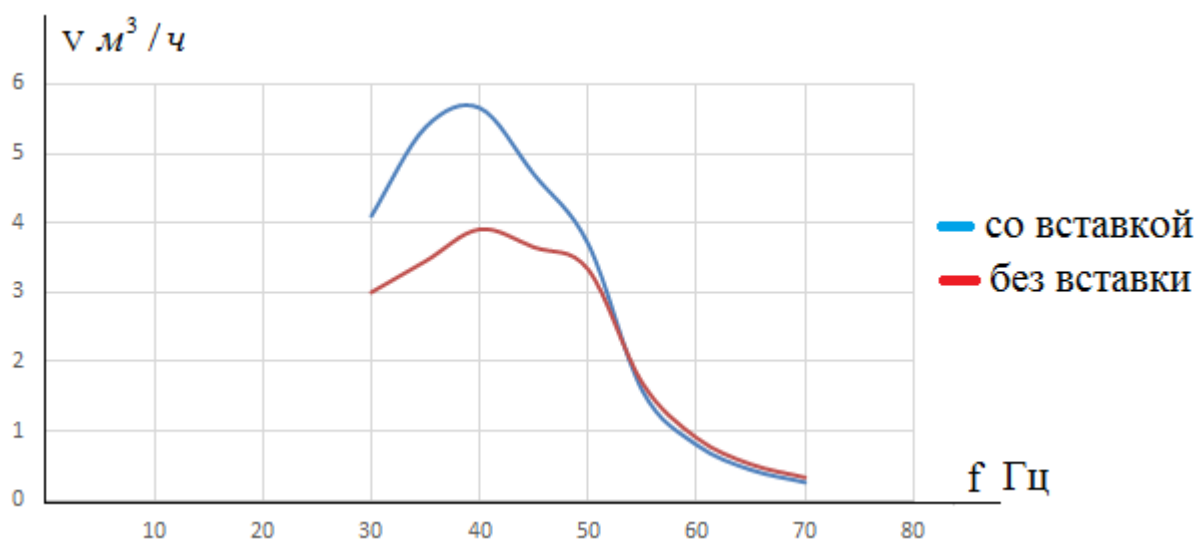


Рисунок 4.3 – Частотная характеристика производительности от частоты питающего напряжения при $R_m=303,9$ кг/с и $p_{жс}=870$ кг / м³

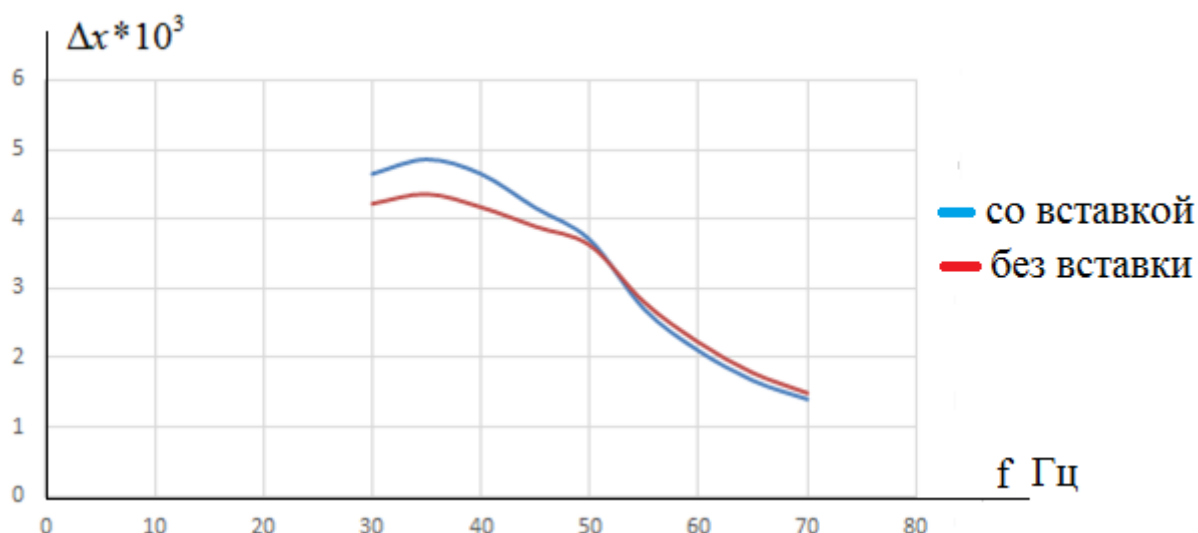


Рисунок 4.4 – Частотная характеристика амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $R_m=303,9 \text{ кг/с}$ и $\rho_{ж}=870 \text{ кг/м}^3$

На рисунках Рисунок 4.3, Рисунок 4.4 представлены частотные характеристики изменения амплитуды колебаний активатора и производительности в установившихся режимах при изменении частоты питающего напряжения от 30 до 70 Гц. При механическом сопротивлении $R_m=303.9 \text{ кг/с}$ и плотности жидкости $\rho_{ж}=870 \text{ кг/м}^3$

Как видно из графиков во всём диапазоне изменения частоты питающего напряжения производительность активации установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 28,8% наблюдается в зоне резонанса при частоте 39 Гц. Аналогичный вывод следует и для амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 11,5% наблюдается в зоне резонанса при частоте 39 Гц.

4.1.2. Механическое сопротивление $R_m=338,2$ кг/с, плотность нефти $\rho_{ж}=870$ кг / м³

Для моделирования работы установки было выбрано значение механического сопротивления $R_m=338,2$ кг/с для плотности жидкости $\rho_{ж}=870$ кг / м³. Указанное механическое сопротивление соответствует нефти с большим значением вязкости ориентировочно на 50 мПа*с по отношению к предыдущему случаю. Также был выбран начальный зазор исходя из получаемой производительности и характера колебательной системы $\delta=6$ мм.

Для обеспечения оптимальной производительности необходимо, изменяя частоту питающего напряжения, определить зону резонанса. Для указанных значений плотности нефти, механического сопротивления и массы колебательной системы резонансная частота должно находиться в пределах от 48 до 50 Гц.

Типичные кривые амплитуды колебаний, тока и силы на резонансной частоте приведены на рисунках Рисунок 4.5 и Рисунок 4.6.

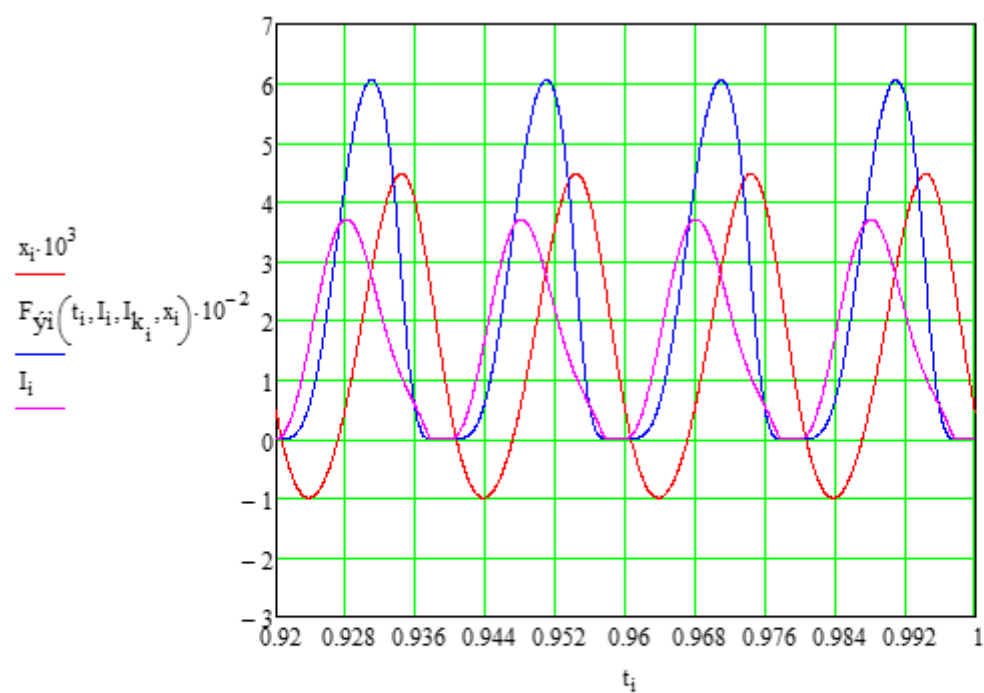


Рисунок 4.5 – График амплитуды колебаний со вставкой при $R_m=338,2$ кг/с,
 $\rho_{ж}=870 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=50$ Гц

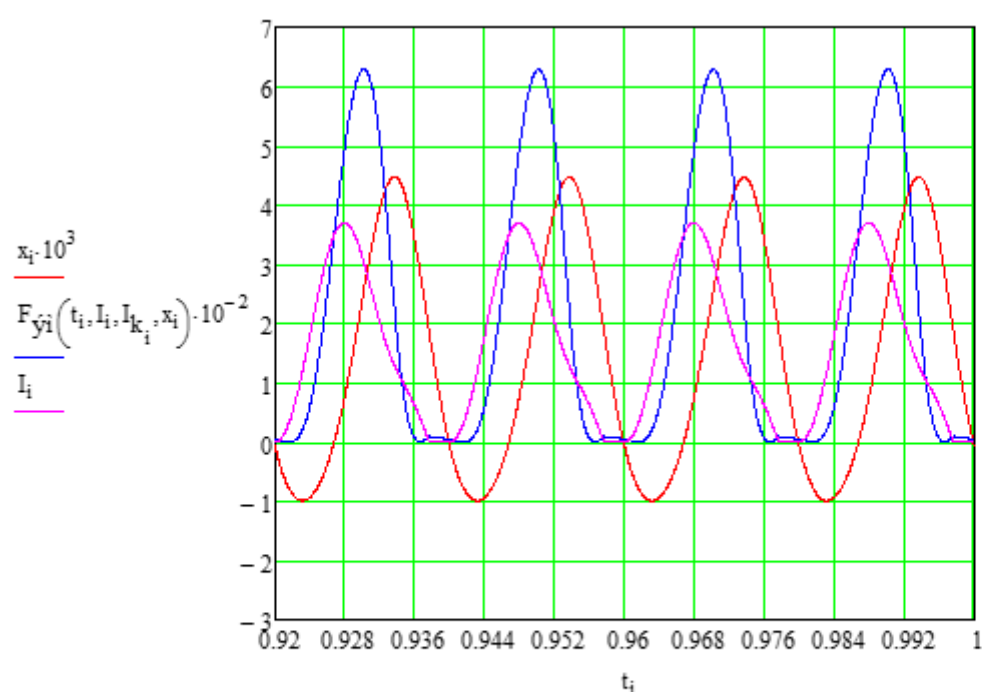


Рисунок 4.6 – График амплитуды колебаний без вставки при $R_m=338,2$ кг/с,
 $\rho_{ж}=870 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=50$ Гц

В ходе моделирования были получены значения действующего тока, тока короткого замыкания, производительность и амплитуда колебаний. Сведем полученные результаты в таблицу (таблица 4.3 и 4.4) для построения частотных характеристик. В таблице 4.3 представлены значения для активатора со вставкой.

Таблица 4.3 – Полученные данные при $R_m=338,2$ кг/с, $\rho_{ж}=870$ кг / м³, $f=50$ Гц.

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
338.2	30	1,4	3,12	1,88	23,2	6
338.2	35	1,8	3,27	1,9	26,8	6
338.2	40	2,15	3,45	2	31,2	6
338.2	45	2,48	3,55	2,1	36,9	6
338.2	50	3,62	3,67	2	42,8	6
338.2	55	1,8	2,8	2	42,7	6
338.2	60	0,77	1,95	1,97	43,6	6
338.2	65	0,42	1,55	1,88	44,8	6
338.2	70	0,24	1,26	1,8	44,6	6

В Таблице 4.4 представлены значения для активатора без вставки.

Таблица 4.4 - Полученные данные при $R_m=338,2$ кг/с, $\rho_{ж}=870$ кг / м³, $f=50$ Гц

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
338.2	30	1,28	3	1,88	209	6
338.2	35	1,67	3,2	1,93	226	6
338.2	40	1,99	3,25	2	248	6
338.2	45	2,18	3,3	2,1	274	6
338.2	50	3,35	3,38	2	293	6
338.2	55	1,67	2,6	2	273	6
338.2	60	0,91	2,07	2	254	6
338.2	65	0,52	1,67	1,92	235	6
338.2	70	0,24	1,26	1,8	44,6	6

На рисунках Рисунок 4.7 и Рисунок 4.8 приведены частотные характеристики производительности активации и амплитуды колебаний активатора для нефти в зависимости от частоты питающего напряжения.

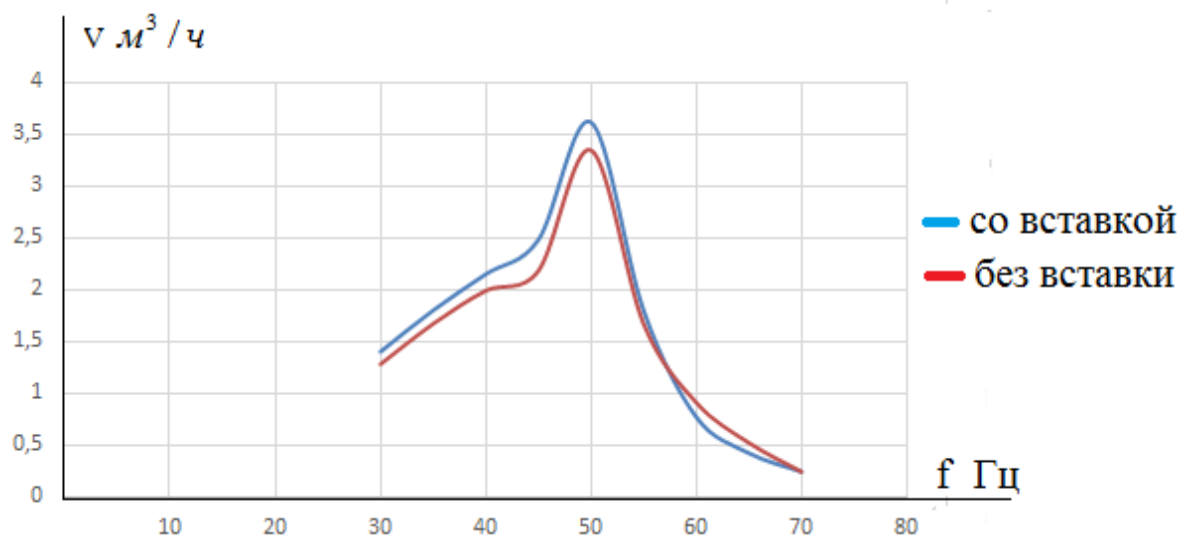


Рисунок 4.7 – Частотная характеристика производительности от частоты питающего напряжения при $R_m=338,2$ кг/с и $\rho_{ж}=870$ кг / м³.

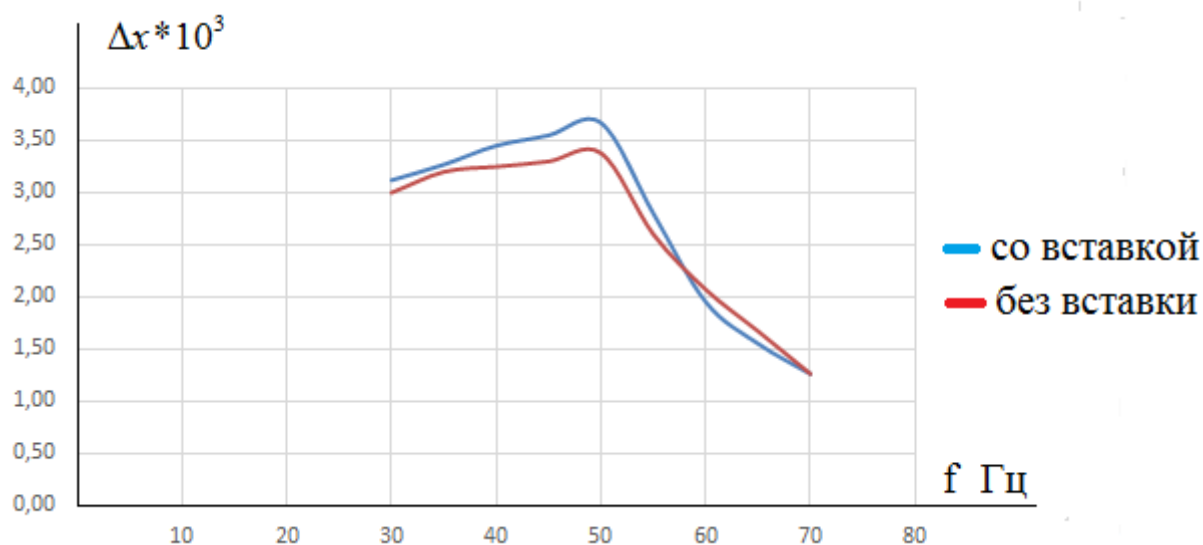


Рисунок 4.8 – Частотная характеристика амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $R_m=338,2$ кг/с и $\rho_{ж}=870$ кг / м³

На рисунках Рисунок 4.7, Рисунок 4.8 представлены частотные характеристики изменения амплитуды колебаний активатора и производительности в установившихся режимах при изменении частоты питающего напряжения от 30 до 70 Гц. При механическом сопротивлении $R_m=338,2$ кг/с и плотности жидкости $\rho_{ж}=870$ кг / м³

Как видно из графиков во всём диапазоне изменения частоты питающего напряжения производительность активации установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 10% наблюдается в зоне резонанса при частоте 49 Гц. Аналогичный вывод следует и для амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 8,5% наблюдается в зоне резонанса при частоте 49 Гц.

4.1.3. Механическое сопротивление $R_m=372$ кг/с, плотность нефти $\rho_{жс}=870$ кг / м³

Для моделирования работы установки было выбрано значение механического сопротивления $R_m=338,2$ кг/с для плотности жидкости $\rho_{жс}=870$ кг / м³. Указанное механическое сопротивление соответствует нефти с большим значением вязкости ориентировочно на 50 мПа*с. Также был выбран начальный зазор исходя из получаемой производительности и характера колебательной системы $\delta=6$ мм. Для обеспечения оптимальной производительности необходимо, изменяя частоту питающего напряжения, определить зону резонанса. Для указанных значений плотности нефти, механического сопротивления и массы колебательной системы резонансная частота должно находиться в пределах от 48 до 50 Гц.

Типичные кривые амплитуды колебаний, тока и силы на резонансной частоте приведены на рисунках Рисунок 4.9 и Рисунок 4.10.

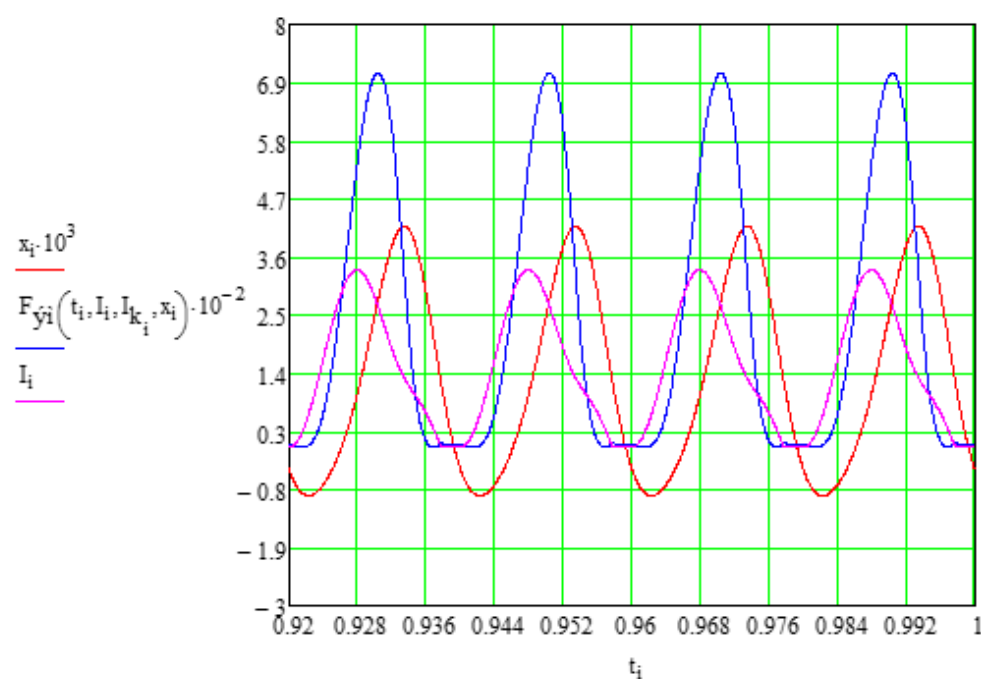


Рисунок 4.9 – График амплитуды колебаний со вставкой при $R_m=372$ кг/с,

$$\rho_{\text{ж}}=870 \text{ кг} / \text{м}^3, f=50 \text{ Гц}.$$

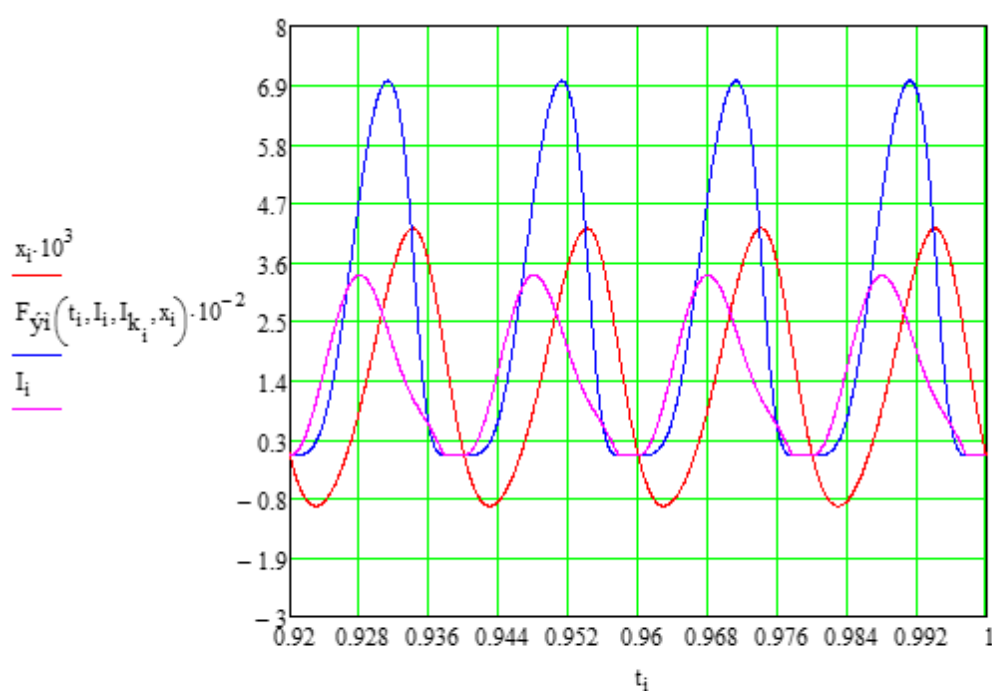


Рисунок 4.10 – График амплитуды колебаний без вставки при $R_m=372$ кг/с,

$$\rho_{\text{ж}}=870 \text{ кг} / \text{м}^3, f=50 \text{ Гц}$$

В ходе моделирования были получены значения действующего тока, тока короткого замыкания, производительность и амплитуда колебаний. Сведем полученные результаты в таблицу (таблица 4.5 и 4.6) для построения частотных характеристик. В Таблице 4.5 представлены значения для активатора со вставкой.

Таблица 4.5 – Полученные данные при $R_m=372$ кг/с, $\rho_{ж}=870$ кг / м³, $f=50$ Гц

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
372	30	1,83	3,14	1,67	21,7	5,5
372	35	2,25	3,21	1,72	24,7	5,5
372	40	3,1	3,38	1,75	28,2	5,5
372	45	3,64	3,4	1,8	32,9	5,5
372	50	3,67	3,25	1,9	38,1	5,5
372	55	1,45	2,33	1,88	38,1	5,5
372	60	0,75	1,82	1,83	39,4	5,5
372	65	0,42	1,46	1,76	40,5	5,5
372	70	0,25	1,19	1,68	41,2	5,5

В Таблице 4.6 представлены значения для активатора без вставки.

Таблица 4.6 - Полученные данные при $R_m=372$ кг/с, $\rho_{ж}=870$ кг / м³, $f=50$ Гц

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
372	30	1,6	3	1,69	184	5,5
372	35	2,2	3,17	1,7	200	5,5
372	40	2,75	3,25	1,75	217	5,5
372	45	2,9	3,28	1,82	237	5,5
372	50	3,26	3,1	1,89	260	5,5
372	55	1,58	2,4	1,89	243	5,5
372	60	0,88	1,9	1,85	230	5,5
372	65	0,51	1,56	1,79	217	5,5
372	70	0,31	1,28	1,71	202	5,5

На рисунках Рисунок 4.11 и Рисунок 4.12 приведены частотные характеристики производительности активации и амплитуды колебаний активатора для нефти в зависимости от частоты питающего напряжения.

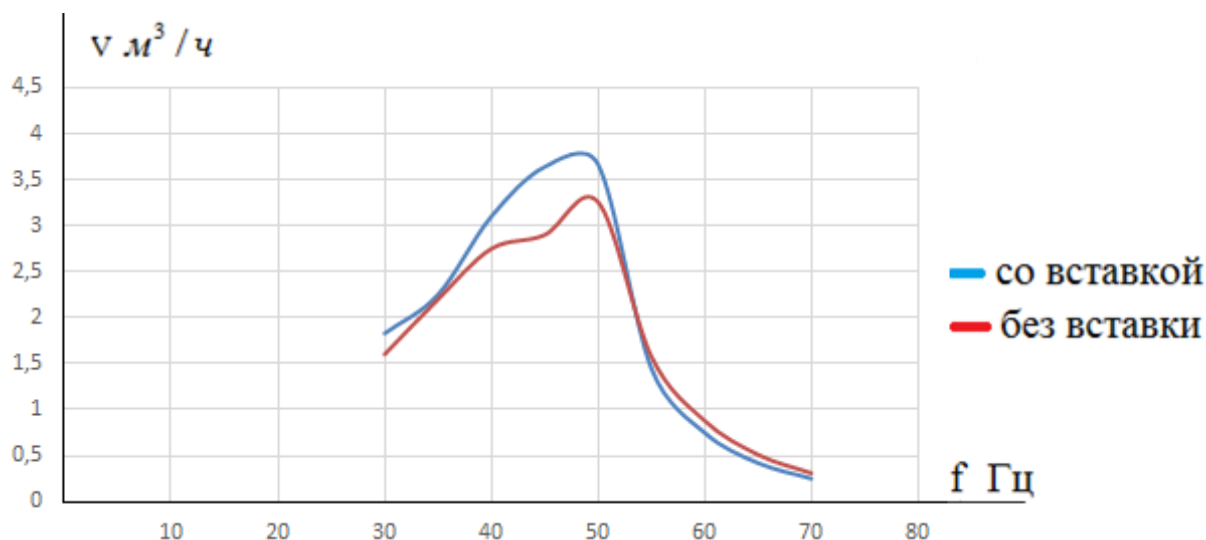


Рисунок 4.11 – Частотная характеристика производительности от частоты питающего напряжения при $R_m=372 \text{ кг/с}$ и $\rho_{жс}=870 \text{ кг/м}^3$.

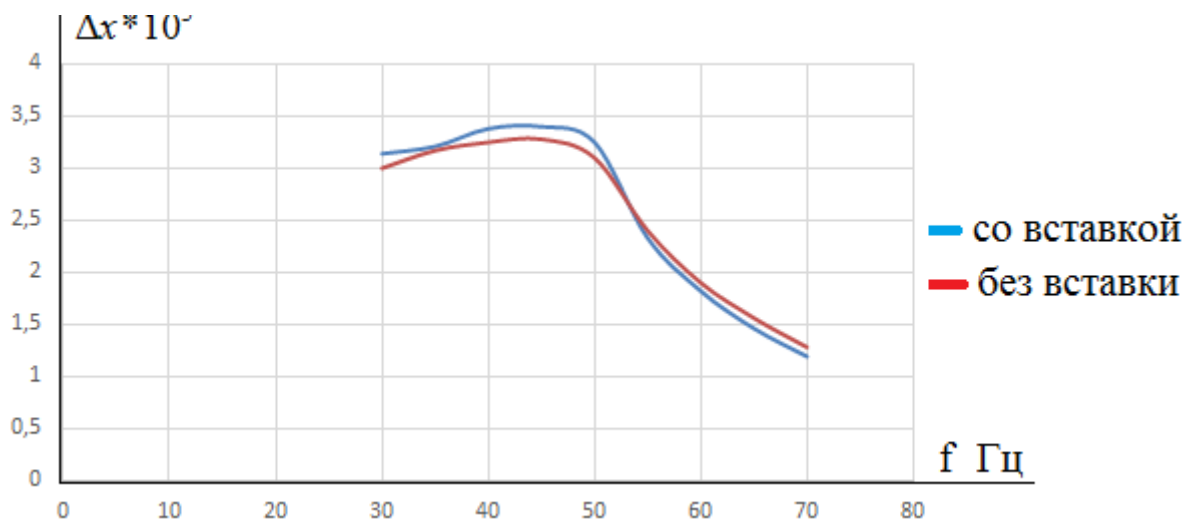


Рисунок 4.12 – Частотная характеристика амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $R_m=372 \text{ кг/с}$ и $\rho_{жс}=870 \text{ кг/м}^3$

На рисунках Рисунок 4.11, Рисунок 4.12 представлены частотные характеристики колебаний активатора и производительности в установившихся режимах при изменении частоты питающего напряжения от 30 до 70 Гц. При механическом сопротивлении $R_m=372 \text{ кг/с}$ и плотности жидкости $\rho_{жс}=870 \text{ кг/м}^3$

Как видно из графиков во всём диапазоне изменения частоты питающего напряжения производительность активации установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции.

Максимальное превышение на 8,6% наблюдается в зоне резонанса при частоте 49 Гц. Аналогичный вывод следует и для амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 4,8% наблюдается в зоне резонанса при частоте 49 Гц.

Проанализировав работу активатора, видно, как изменяется производительность и амплитуда колебаний, при разных значениях механического сопротивления. При механическом сопротивлении $R_m=303,9$ кг/с, производительность в случае со вставкой больше на 28,8% чем без нее. Так же амплитуда колебаний увеличиться на 11,5%. При механическом сопротивлении $R_m=338,2$ кг/с, производительность в случае со вставкой больше на 10% чем без нее. Так же амплитуда колебаний увеличиться на 5,5%. При механическом сопротивлении $R_m=372$ кг/с, производительность в случае со вставкой больше на 8,6% чем без нее. Так же амплитуда колебаний увеличиться на 4,8%. Следовательно, более выгодно использовать активатор со вставкой из витого электротехнического материала. Так же при проведении опыта стоит учитывать, что из-за увеличения механического сопротивления, нужно уменьшать начальный зазор, для получения большей производительности.

4.2. Анализ работы установки при изменении плотности $\rho_{ж}$

4.2.1. Механическое сопротивление $R_m=280$ кг/с, плотность жидкости

$$\rho_{ж}=1030 \text{ кг} / \text{м}^3 \text{ (чистая вода)}$$

Проанализируем работу активатора со специальной вставкой, обеспечивающей отсутствие к.з. витков. Необходимо отметить, что в ходе анализа должно соблюдаться постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$.

Для дальнейшего моделирования было выбрано значение механического сопротивления $R_m=280$ кг/с для плотности жидкости $\rho_{ж}=1030 \text{ кг} / \text{м}^3$. Также

был выбран начальный зазор исходя из получаемой производительности и характера колебательной системы $\delta=6,2$ мм. Для обеспечения оптимальной производительности, необходимо корректировать частоту питающего напряжения. Для указанных значений плотности чистой воды, механического сопротивления и массы колебательной системы резонансная частота должно находиться в пределах от 38 до 40 Гц.

Учитывая тот факт, что принцип работы установки резонансный, очевидно, что необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения.

Типичные кривые на резонансной частоте приведены на рисунках Рисунок 4.13 и Рисунок 4.14.

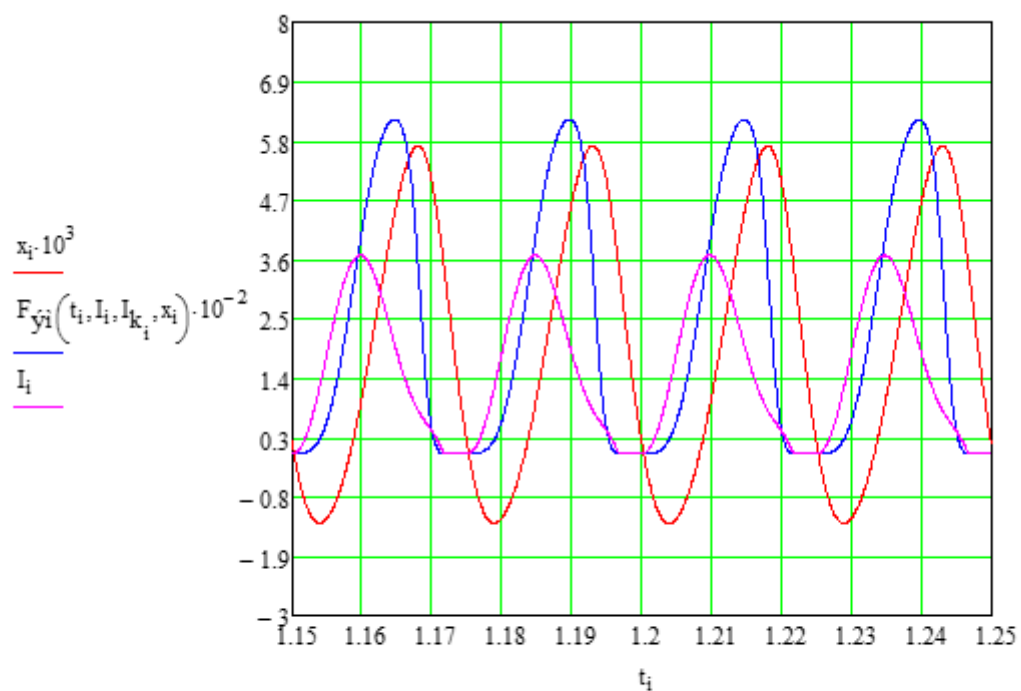


Рисунок 4. 13 – График амплитуды колебаний со вставкой при $R_m=280$ кг/с,
 $p_{ж}=1030$ кг / м³ , $f=40$ Гц.

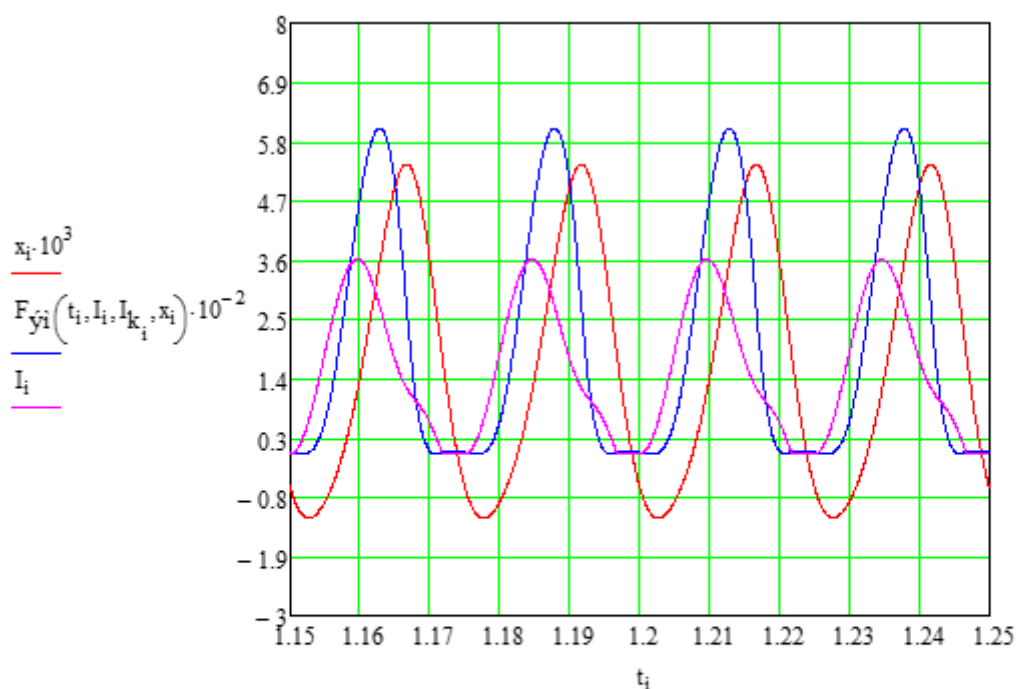


Рисунок 4.14 – График амплитуды колебаний без вставки при $R_m=280 \text{ кг/с}$,
 $p_{жс}=1030 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=40 \text{ Гц}$.

В ходе моделирования были получены значения действующего тока, тока короткого замыкания, производительность и амплитуда колебаний. Сведем полученные результаты в таблицу (таблица 4.7 и 4.8) для построения частотных характеристик. В Таблице 4.7 представлены значения для активатора со вставкой.

Таблица 4.7 - Полученные данные при $R_m=280 \text{ кг/с}$, $p_{жс}=1030 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=40 \text{ Гц}$

$R_m \text{ кг/с}$	$f \text{ Гц}$	$V \text{ м}^3 / \text{ч}$	$\Delta\chi * 10^3$	$I_d \text{ А}$	$I_{кз} \text{ А}$	$\delta \text{ мм}$
280	20	1,19	3,56	1,69	16,6	6,2
280	25	2,19	4	1,76	20,8	6,2
280	30	3,34	4,39	1,8	24,4	6,2
280	35	4	4,56	1,91	29,6	6,2
280	40	4,4	4,22	2	35,6	6,2
280	45	3,8	3,8	2,2	42	6,2
280	50	3,12	3,54	2,32	48,5	6,2
280	55	1,38	2,65	2,24	48,1	6,2
280	60	0,7	2	2,13	48	6,2

В Таблице 4.8 представлены значения для активатора без вставки.

Таблица 4.8 - Полученные данные при $R_m=280$ кг/с, $p_{ж}=1030$ кг / м³, $f=40$ Гц

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
280	20	0.99	3.35	1.7	178	6,2
280	25	1.91	3.85	1.74	201	6,2
280	30	2,44	3,96	1,83	223	6,2
280	35	3	4.12	1,9	248	6,2
280	40	3,55	3,94	2,17	309	6,2
280	45	3,33	3,77	2,17	309	6,2
280	50	3,15	3,55	2,32	322	6,2
280	55	1,6	2,75	2,27	302	6,2
280	60	0,87	2.18/	2,18	274	6,2

На рисунках Рисунок 4.15 и Рисунок 4.16 приведены частотные характеристики производительности активации и амплитуды колебаний активатора для нефти в зависимости от частоты питающего напряжения.

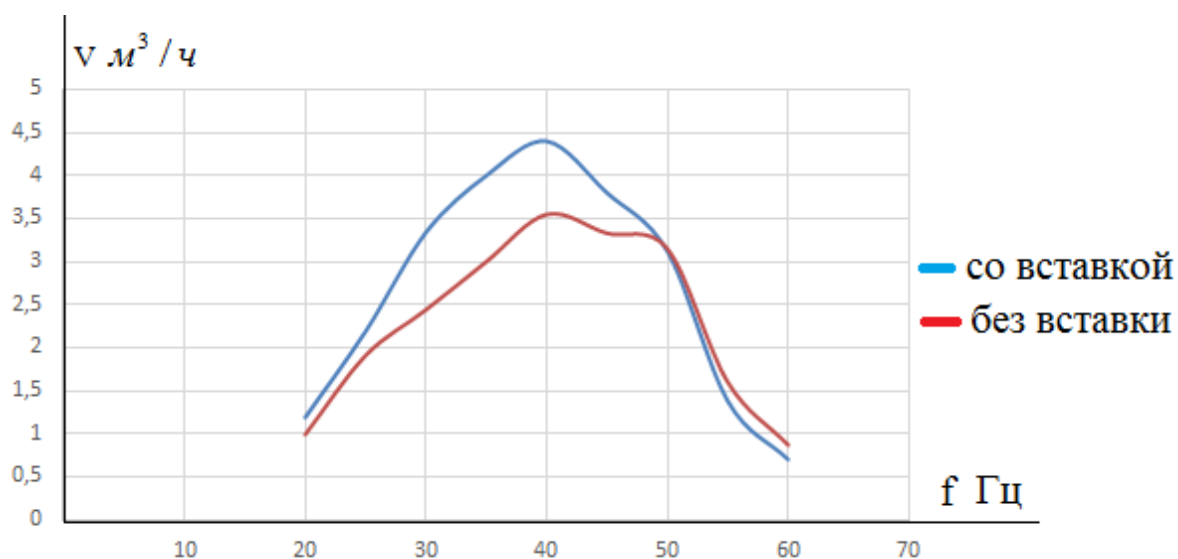


Рисунок 4.15 – Частотная характеристика производительности от частоты питающего напряжения при $R_m=280$ кг/с и $p_{ж}=1030$ кг / м³.

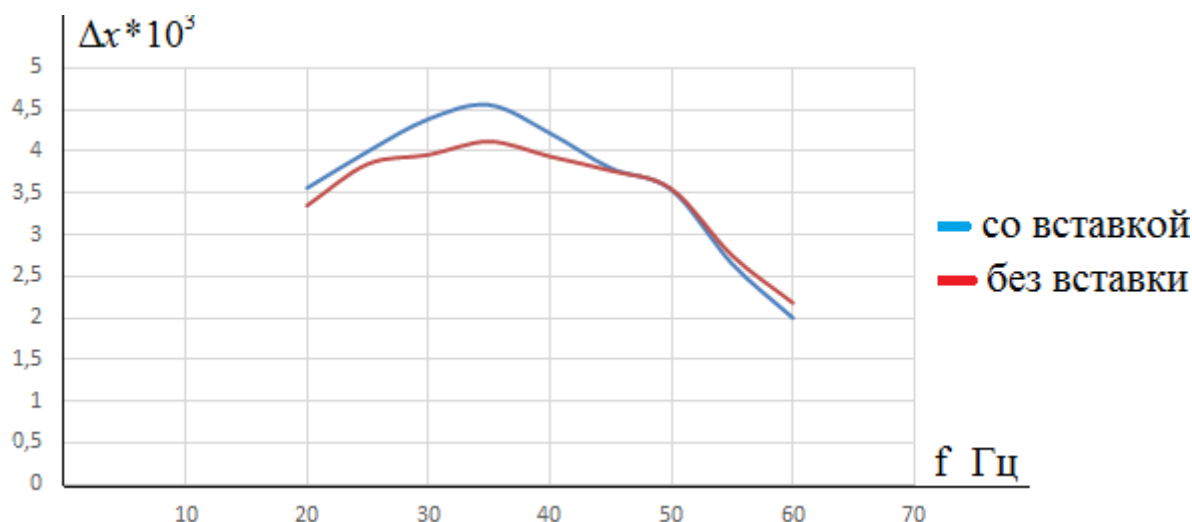


Рисунок 4.16 – Частотная характеристика амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $R_m=280$ кг/с и $\rho_{ж}=1030$ кг / м³.

На рисунках Рисунок 4.15, Рисунок 4.16 представлены частотные характеристики изменения амплитуды колебаний активатора и производительности в установившихся режимах при изменении частоты питающего напряжения от 20 до 60 Гц. При механическом сопротивлении $R_m=280$ кг/с и плотности жидкости $\rho_{ж}=1030$ кг / м³

Как видно из графиков во всём диапазоне изменения частоты питающего напряжения производительность активации установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 23,9% наблюдается в зоне резонанса при частоте 38 Гц. Аналогичный вывод следует и для амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 7,1% наблюдается в зоне резонанса при частоте 38 Гц.

4.2.2. Механическое сопротивление $R_m=303,9$ кг/с, плотность жидкости $\rho_{ж}=1870$ кг / м³ (буровой раствор)

Для моделирования работы установки было выбрано значение механического сопротивления $R_m=303,9$ кг/с для плотности жидкости $\rho_{ж}=1870$

$\text{кг} / \text{м}^3$. Указанное механическое сопротивление соответствует нефти с большим значением вязкости ориентировочно на 50 мПа*с. Также был выбран начальный зазор исходя из получаемой производительности и характера колебательной системы $\delta=6,2$ мм. Для обеспечения оптимальной производительности необходимо, изменяя частоту питающего напряжения, определить зону резонанса. Для указанных значений плотности бурового раствора, механического сопротивления и массы колебательной системы резонансная частота должно находиться в пределах от 34 до 37 Гц.

Типичные кривые амплитуды колебаний, тока и силы на резонансной частоте приведены на рисунках Рисунок 4.17 и Рисунок 4.18.

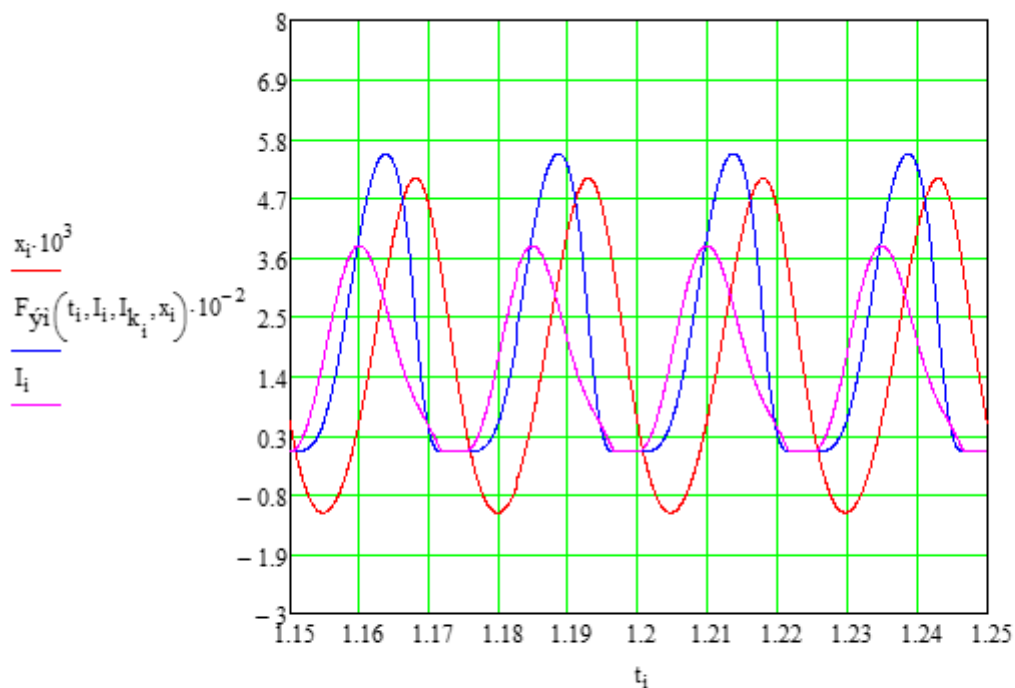


Рисунок 4.17 – График амплитуды колебаний со вставкой при $R_m=303,9$ кг/с,

$$p_{\text{ж}}=1870 \text{ кг} / \text{м}^3, f=35 \text{ Гц}$$

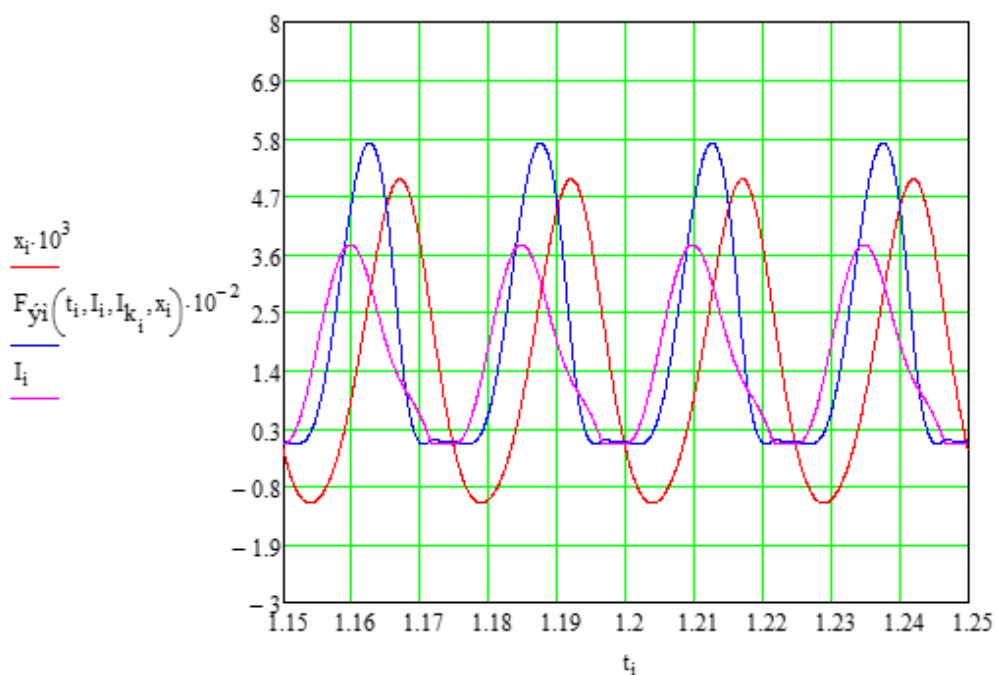


Рисунок 4.18 – График амплитуды колебаний без вставки при $R_m=303,9$ кг/с,
 $\rho_{ж}=1870 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=35$ Гц

В ходе моделирования были получены значения действующего тока, тока короткого замыкания, производительность и амплитуда колебаний. Сведем полученные результаты в таблицу (таблица 4.9 и 4.10) для построения частотных характеристик. В Таблице 4.9 представлены значения для активатора со вставкой.

Таблица 4.9 – Полученные данные при $R_m=303,9$ кг/с, $\rho_{ж}=1870 \text{ кг} / \text{м}^3$, $f=35$ Гц

R_m кг/с	f Гц	v м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
303.9	20	0.97	3.37	1.73	16.5	6.2
303.9	25	1.91	3.85	1.78	20.2	6.2
303.9	30	3,23	4,16	1,8	24,4	6,2
303.9	35	3,49	4,3	1,98	30,2	6,2
303.9	40	3,15	3,8	2,1	36,7	6,2
303.9	45	2,82	3,52	2,2	43,2	6,2
303.9	50	2,35	3,2	2,38	49	6,2
303.9	55	1	2,39	2,26	48,4	6,2
303.9	60	0,57	1,87	2,1	47,9	6,2

В Таблице 4.10 представлены значения для активатора без вставки.

Таблица 4.10 - Полученные данные при $R_m=303,9$ кг/с, $p_{ж}=1870$ кг / м³, $f=35$ Гц

R_m кг/с	f Гц	V м ³ / ч	$\Delta x \cdot 10^3$	I_d А	$I_{кз}$ А	δ мм
303.9	20	0.9	3.25	1.73	183	6.2
303.9	25	1.67	3.69	1.78	204	6.2
303.9	30	2.46	3.9	1.84	226	6.2
303.9	35	2.88	3.92	1.96	257	6.2
303.9	40	2.73	3.74	2.1	289	6.2
303.9	45	2.59	3.5	2.2	317	6.2
303.9	50	2.4	3.3	2.4	330	6.2
303.9	55	1.33	2.55	2.3	294	6.2
303.9	60	0.73	2	2.18	264	6.2

На рисунках Рисунок 4.19 и Рисунок 4.20 приведены частотные характеристики производительности активации и амплитуды колебаний активатора для нефти в зависимости от частоты питающего напряжения.

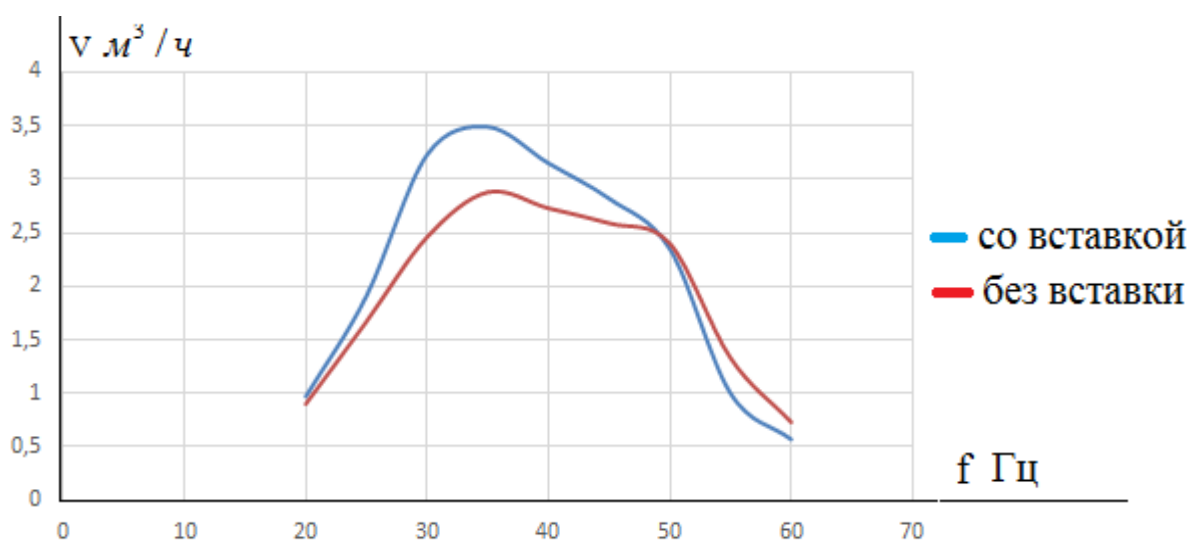


Рисунок 4.19 – Частотная характеристика производительности от частоты питающего напряжения при $R_m=303,9$ кг/с и $p_{ж}=1870$ кг / м³

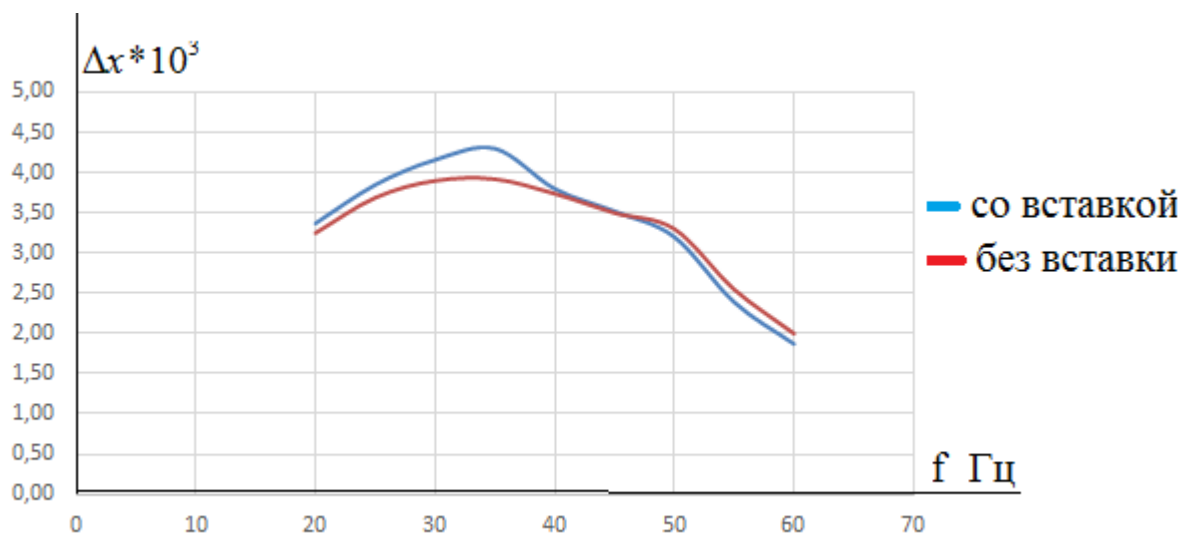


Рисунок 4.20 – Частотная характеристика амплитуды колебаний от частоты питающего напряжения при $R_m=303,9 \text{ кг/с}$ и $\rho_{ж}=1870 \text{ кг/м}^3$

На рисунках Рисунок 4.19, Рисунок 4.20 представлены частотные характеристики изменения амплитуды колебаний активатора и производительности в установившихся режимах при изменении частоты питающего напряжения от 20 до 60 Гц. При механическом сопротивлении $R_m=303,9 \text{ кг/с}$ и плотности жидкости $\rho_{ж}=1870 \text{ кг/м}^3$

Как видно из графиков во всём диапазоне изменения частоты питающего напряжения производительность активации установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 21,1% наблюдается в зоне резонанса при частоте 38 Гц. Аналогичный вывод следует и для амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний установки с модифицированным активатором выше, чем с активатором традиционной конструкции. Максимальное превышение на 9,6% наблюдается в зоне резонанса при частоте 38 Гц.

Проанализировав работу активатора, при разных значениях плотности видно, как изменяется производительность и амплитуда колебаний. При механическом сопротивлении $R_m=280 \text{ кг/с}$, и плотности вещества $\rho_{ж}=1030 \text{ кг/м}^3$, производительность в случае со вставкой больше на 23,9% чем без

нее. Так же амплитуда колебаний увеличиться на 7,1%. При плотности вещества $\rho_{ж}=1870 \text{ кг} / \text{м}^3$, производительность в случае со вставкой больше на 21,1% чем без нее. Так же амплитуда колебаний увеличиться на 9,6%. Следовательно, более выгодно использовать активатор со специальной вставкой, обеспечивающей отсутствие к.з. витков. Так же при проведении опыта стоит учитывать, что из-за увеличения плотности, нужно уменьшать начальный зазор, для получения большей производительности.

Из выше проведенного анализа можно заключить, что:

1. При использовании активатора со специальной вставкой, исключающей образование к.з. витков, получен максимальный эксплуатационный эффект: производительность активации увеличивается на 28,8%, а амплитуды колебаний на 15,5%.
2. При изменении механического сопротивления с $R_m=280 \text{ кг/с}$ до $R_m=372 \text{ кг/с}$, зона резонанса смещается с 38 Гц до 49 Гц.
3. Диапазон основных параметров работы установки с позиций выбора элементов электропривода:
 - Напряжение питания изменяется в интервале 100В до 300В.
 - Диапазон регулирования частоты от 20 Гц до 70 Гц.
 - Максимальный действующий ток 2,38 А.

Таким образом, для обеспечения максимальной производительности активации, учитывая приведённые выше результаты расчётов режимов работы виброактиватора при его эксплуатации, необходимо регулировать с помощью частотного преобразователя значение питающего напряжения. Не зависимо от плотности жидкости или значения механического сопротивления, в случае с использованием специальной вставки, исключающей образование к.з. витков, выигрыш по производительности, более существенен, чем если мы будем использовать активатор без нее.

ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция активатора со вставкой, которая позволяет избежать образования к.з. витков в массивном активаторе.
2. Разработана конструкция модернизированной универсальной лабораторной установки (МУЛУ) для исследования реологических свойств тиксотропных жидких систем, имеющая улучшенные эксплуатационные параметры.
3. Разработанная математическая модель МУЛУ, учитывает особенности магнитной цепи и позволяет производить количественную оценку преимуществ конструкции МУЛУ с активатором со вставкой и без нее.
4. При применении в МУЛУ активатора со вставкой наблюдается увеличение производительности до 28,8%, а амплитуды колебаний до 15,5% по отношению к имеющейся установке, что позволяет увеличить объёмы лабораторных исследований.
5. Расчётные результаты работы использованы при изготовлении экспериментального образца МУЛУ.

5. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

5.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

К числу вредных производственных факторов относятся: неблагоприятные метеорологические условия, высокие уровни шума и вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, производственная пыль, механические факторы, которые могут привести к травмированию персонала. К опасным в данном помещении относятся следующие факторы[18]:

- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- нервно-психические перегрузки.

Помещение, его размеры (площадь, объем) должны в первую очередь соответствовать количеству рабочих и размещенному в нем оборудованию.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19] площадь на одно рабочее место пользователей должна составлять не менее 6 м². Также для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 20 м³ объема воздуха.

Помещение имеет следующие параметры:

- длина помещения 5 м;
- ширина 4 м;
- высота 2,5 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 20 \text{ м}^2;$$

Объем:

$$V = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 50 \text{ м}^3.$$

Учитывая, что в офисном помещении работает 2 человека, то на каждого из них приходится по 10 м² площади помещения и по 25 м³ объема воздуха, что соответствует нормам.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в помещениях, оборудованных ПК, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после на ПК.

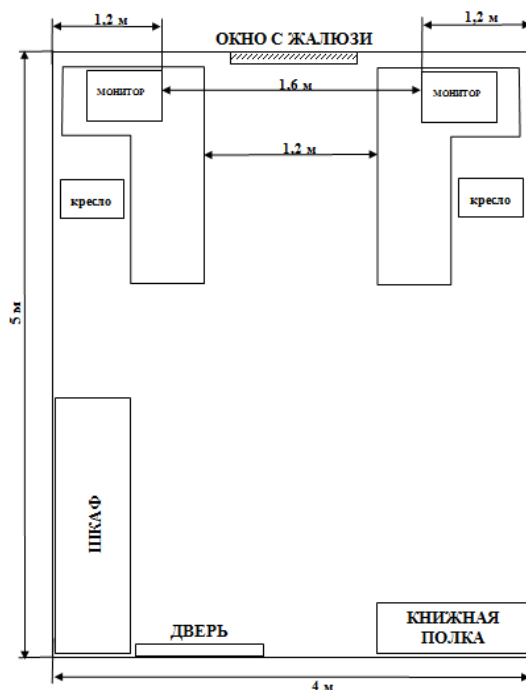


Рисунок 5.1. – Схема учебной аудитории

Высота рабочего стола с клавиатурой составлять 0,7 м над полом, а высота экрана над полом – 1 м. Монитор находится от оператора на расстоянии 60 – 70 см на 20° ниже уровня глаз. Пространство для ног 0,7 м высотой и шириной 1,3 м, глубиной не менее 0,5 м. В офисных столах предусмотрена подставка для ног сотрудника шириной 0,3 м с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

5.1.1. Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Нормируемое качество воздуха

Сезон года	Категория работы	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
------------	------------------	-----------------	----------------------------	--------------------------------

Холодный	I	20-30	60-40	0,2
	IIa	18-20		0,2
	II б	17-19		0,3
	III	16-18		0,3
Теплый	I	22-25	60-40	0,2
	II а	21-23		0,3
	II б	20-22		0,4
	III	18-21		0,5

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, выполняемая сотрудниками офиса, относится к категории легких работ I.

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

5.1.2. Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

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

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с СанПиН помещение имеет естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а так же зависит от погодных условий.

В данном помещении используют искусственное и естественное освещение, поскольку работа в основном зрительная.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное

психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Помещение имеет размеры: длина $A = 5$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2,5$ м. Площадь помещения:

$$S = A \times B = 5 \times 4 = 20 \text{ м}^2$$

Рекомендуемая освещенность помещения, при работе с монитором, составляет $E_0 = 400$ Лк, учитывая коэффициент запаса (загрязнение светильника) $K = 1,3$ получаем освещенность в помещении:

$$E = E_0 \cdot K = 400 \cdot 1,3 = 520 \text{ Лк.}$$

Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны: $q_{\text{п}} = 70\%$, $q_{\text{с}} = 50\%$, $q_{\text{з}} = 30\%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м,}$$

где h_p – высота рабочей поверхности.

Для освещения используются светильники типа ЛБ - 40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет $g = 1,3$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,21} = 1,8,$$

где B – ширина помещения.

Выбираем $n = 2$ ряда светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot n} = \frac{20}{(4 + 5) \cdot 2} = 1,11.$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, пола в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_i + q_{\text{с}} + q_{\text{з}}}{3} = \frac{70\% + 50\% + 30\%}{3} = 50\%.$$

Световой поток лампы ЛБ - 40 составляет $F_0 = 2480$ Лм. Тогда световой поток светильника, состоящего из двух ламп:

$$F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2480 = 4960 \text{ Лм.}$$

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{520 \cdot 20 \cdot 1,15}{2 \cdot 4960 \cdot 0,5 \cdot 1} = 2,4,$$

где $Z = 1,15$ – коэффициент непрерывности;

$\gamma = 1$ – коэффициент затемнения.

Таким образом, примем, что необходимо всего 5 светильников, со схемой их размещения на рисунке 10. При длине светильника $l_{\text{св}} = 1,27$ м [18].

Их общая длина составляет:

$$l_{\text{общ}} = N \cdot l_{\text{св}} = 5 \cdot 1,27 = 3,81 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{\text{общ}}}{N + 1} = \frac{5 - 3,81}{3 + 1} = 0,3 \text{ м.}$$

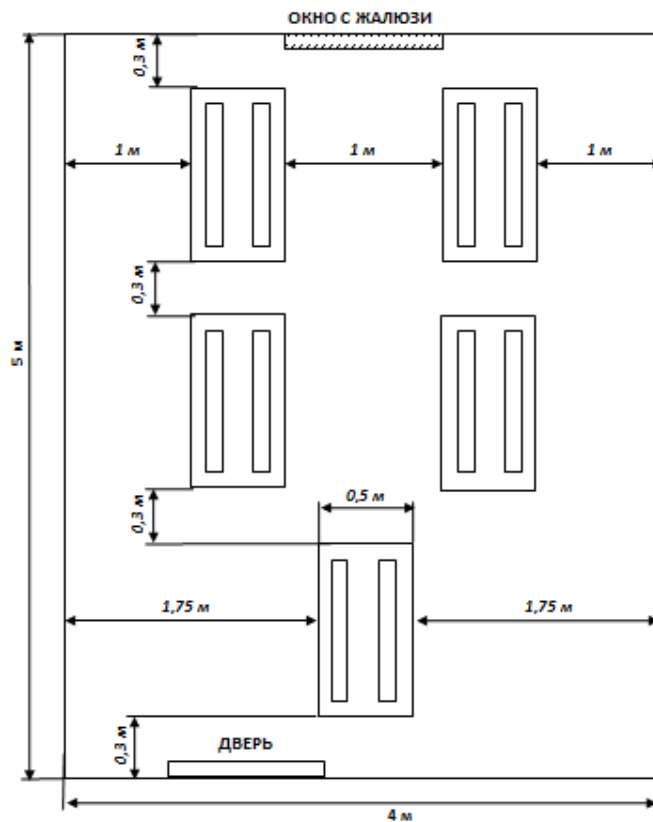


Рисунок 5.2 – Схема размещения светильников в помещении

5.1.3. Защита от шума и вибрации

Так же к вредным факторам относится шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двушкальный шумомер. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Допустимые уровни шума ГОСТ 12.1.003-83 для некоторых рабочих мест приведены в таблице 5.2, а допустимые уровни виброскорости ГОСТ 12.1.012-90– в таблице 5.3.

Таблица 5.2 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблица 5.3 - Гигиенические нормы уровней виброскорости

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	

В служебных помещениях, конструкторских бюро, лабораториях	–	91	82	76	75	75	75	–	–	–	–
--	---	----	----	----	----	----	----	---	---	---	---

5.1.4. Состояние воздушной среды

Определяется запыленностью или загазованностью воздуха рабочей зоны. В офисном помещении делается ежедневная влажная уборка, а также отсутствуют источники загрязнения воздушной среды. Концентрации вредных веществ, выделяемых ПК в воздух помещений, не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для атмосферного воздуха.

Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПК во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с действующими санитарно - эпидемиологическими нормативами. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Азота диоксид	2	п	3	0
Акролеин	0,2	п	II	
Алюминий и его сплавы	2	а	III	Ф
Аминопласты (пресс-порошки)	6	а	3	Ф, А
Аммиак	20	п	IV	
Ангидрид серный +	1	а	2	
Ангидрид сернистый +	10	п	3	
Ацетон	200	п	IV	
Бензол +	15/5	п	2	К

Бенз(а)пирен	0,00015	а	1	К
Бензин(растворитель топливный)	100	п	IV	
Водород фтористый (фтор-оводород) (в пересчете на F)	0,5/0,1	п	1	О
Кислота азотная+	2	а	III	
Кислота серная+	1	а	II	
Ксилол	50	п	III	
Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании:				
до 20%	0,2	а	II	
от 20 до 30%	0,1	а	II	
Углерода оксид	20	п	4	0

Если в графе «ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п + а – смесь паров и аэрозоля; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; + – требуется специальная защита кожи и глаз; А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК): максимально разовых рабочей зоны (ПДКМР.РЗ) и среднесменных рабочей зоны (ПДКСС.РЗ).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($K_1, K_2 \dots K_n$) в воздухе к их ПДК ($ПДК_1, ПДК_2 \dots ПДК_n$) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{ПДК_1} + \frac{K_2}{ПДК_2} + \dots \frac{K_n}{ПДК_n} \leq 1.$$

5.1.5. Оценка уровней электромагнитных полей

Проводится при выполнении ряда работ с компьютерами и прочим электрическим оборудованием.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в таблице 5,5. Они нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19].

Таблица 5.5 - Допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

5.1.6. Статическое электричество

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электрозаряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ.

Для защиты от статического электричества компьютерная и орг. техника в помещении заземлена, а также ежедневно в помещении проводится влажная уборка.

5.2. Безопасность в ЧС

Наиболее вероятная ЧС в здании – пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на

людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Офисное помещение по степени пожароопасности относится к классу П-2а, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в офисном помещении проводятся следующие мероприятия:

- сотрудники проходят противопожарный инструктаж;
- сотрудники знают расположение средств пожаротушения и умеют ими пользоваться;
- обеспечивается правильный тепловой и электрический режим работы компьютерной и орг. техники;
- пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения содержатся в исправном состоянии и находятся на видном и легко доступном месте.

5.3. Охрана окружающей среды

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке.

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом, утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники [29].

5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

В помещении, где производилась выпускная квалификационная работа, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей)[30].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия.

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных

средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.



Рисунок 5.3 - План эвакуации второго этажа



Рисунок 5.4 - План эвакуации первого этажа

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно при размещении рабочих мест с ЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Существует проблема транспортировки тиксотропных жидкостей, которая является проблемой для многих производственных отраслей, особенно для транспорта высоковязких нефтепродуктов. Но экспериментальным путем, эти проблемы можно решить. Разработка промышленных образцов обработки тиксотропных жидкостей, использующих технологию виброструйной магнитной активации, требует проведение лабораторных исследований для выработки практических рекомендаций при проектировании таких установок. В диссертации будет спроектирована лабораторная установка активации вязких нефтепродуктов, разработана её математическая модель. Анализ режимов работы лабораторной установки, выполненный на математической модели, позволит сформулировать практические рекомендации для оптимизации режимов её работы.

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках магистерской диссертации, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

6.1. Организация работ по НИР

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителя.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность выполнения работ, дней
Разработка технического задания и его выдача	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	25
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	2
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	3
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	15
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер 9р	13
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	1
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	10
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер	38
	10	Проверка полученных результатов	Научный руководитель, инженер	2

Всего 110 дн., в том числе НР 8 дн.

НР участвует в проекте 7%.

6.2. Расчет затрат на научно-техническое проектирование

Таблица 6.2 – Месячный оклад работников

№	Проектная группа	Оклад
1	Инженер 9р	17000
2	Научный руководить	26300

Смета затрат на проект ($K_{пр}$) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{пр} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \text{ где} \quad (6.1)$$

$K_{мат}$ – материальные затраты;

$K_{ам}$ – затраты на амортизацию;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные затраты.

Материальные затраты

Материальные затраты - это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции, принимаем в размере 1000руб. на канцелярские товары.

6.2.1. Затраты на амортизацию

Амортизация, это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \text{ где} \quad (6.2)$$

$T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время (365 дней);

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники (14000 руб);

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{40}{365} \cdot 14000 \cdot \frac{1}{5} = 307 \text{ руб}$$

6.2.2. Затраты на заработную плату

Заработная плата – вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты.

ЗП исполнителей в месяц с учетом коэффициентов K_1 и K_2 :

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где} \quad (6.3)$$

$ЗП_0$ – месячный оклад работника;

$K_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$K_2 = 1,3$ – районный коэффициент (30%).

$$ЗП_{\text{мес(инж)}} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб/ мес};$$

$$ЗП_{\text{мес(НУ)}} = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб/ мес}.$$

В месяце 21 рабочий день. Тогда заработная плата $ЗП_{\text{ор}}$ каждого участка в соответствии план-графиком:

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (6.4)$$

n – количество дней в проекте.

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{24310 \cdot 110}{21} = 127300 \text{ руб};$$

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{37609 \cdot 8}{21} = 14300 \text{ руб}.$$

Основные затраты на заработную плату исполнителей за весь период работы составит:

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{нр}} = 127300 + 14300 = 141600 \text{ руб}. \quad (6.5)$$

6.2.3. Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского

страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством. Затраты на социальные нужды (отчисления) берем 30% от $K_{з/пл}$.

$$K_{с.о.} = \frac{K_{з/пл} \cdot 30\%}{100\%} = \frac{141600 \cdot 30}{100} = 42480 \text{ руб.} \quad (6.6)$$

6.2.4. Прочие затраты

Прочие затраты, принимаются в размере 10% от суммы: материальных затрат, затрат на амортизацию, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$\begin{aligned} K_{пр} &= \frac{(K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{с.о.}) \cdot 10\%}{100\%} = \\ &= \frac{(1000 + 307 + 141600 + 42480) \cdot 10}{100} = 18540 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (6.7)$$

6.2.5. Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др. Накладные расходы, принимаются в размере 200% от $K_{з/пл}$.

$$K_{\text{накл}} = \frac{K_{з/пл} \cdot 200\%}{100\%} = \frac{141600 \cdot 200}{100} = 283200 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

Смета затрат на проект:

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{с.о.} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} = \\ &= 1000 + 307 + 141600 + 42480 + 18540 + 283200 = 487127 \text{ руб} \end{aligned}$$

Смета затрат на проект представлена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты полученных данных

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	307
3	Затраты на заработную плату	141600
4	Затраты на социальные нужды	42480
5	Прочие затраты	18540
6	Накладные расходы	283200
	Итого:	487127

6.3. Смета затрат на оборудование и монтажные работы

Расчет затрат на оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 6.4.

Таблица 6.4 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество, шт	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, руб
ПК	1	14000	14000
Преобразователь частоты	1	22000	22000
Электромагнит	1	5362,5	5362,5
Диод	1	1180	1180
Автоматический выключатель	1	889	889
Итого	5	43431,5	43431,5

Чтобы посчитать монтажные работы ($M_{\text{раб}}$), берем 20% от стоимости оборудования.

В процессе исследования, была спроектирована лабораторная установка резонансного типа для тиксотропных жидкостей. Устройство установки позволяет уменьшить временные затраты на проведение эксперимента за счет мобильности устройства и простоты эксплуатации.

Результаты исследований влияния технологии ВСМА на свойства различных жидкостей до настоящего времени проводились на лабораторной установке, разработанной более 12 лет назад. В результате многочисленных экспериментов выявлено ряд недоработок этой установки, влияющих на корректность переноса результатов на показатели проектируемых промышленных установок. Кроме этого желательно улучшить мобильность и удобство её обслуживания. Струи потока жидкости в этой установке направлены вверх и поэтому требуются специальные мероприятия по недопущению протекания жидкости из кюветы. Используемая в установке кювета выполнена заодно с электромагнитным приводом ёмкостью не более одного литра. Это приводит к тому, что после каждого эксперимента необходимо тщательно промывать кювету, что увеличивает временные затраты на исследования. Вариант со съёмной кюветой выглядит привлекательным. Увеличение объёма жидкости, заполняемой кювету, будет способствовать адекватности переноса результатов, полученных на лабораторной установке, на эксплуатационные характеристики, промышленных установок.

Таким образом, проектируемая лабораторная установка должна иметь несколько съёмных кювет объёмом не менее десяти литров, что позволит увеличить объём обрабатываемой жидкости.

Активатор является основной частью лабораторной установки. Он закреплен на корпусе с помощью регулируемых узлов крепления и пружин на заданном расстоянии от стенки кюветы, прилегающей к полюсам магнитопровода. На пластине активатора установлены специальные отверстия, через которые нефтепродукт или другая обрабатываемая жидкая среда, заключенные в пространстве между активатором и стенкой оболочки, проходит

через них образуя затопленные струи. Изменения конструкции активатора, приводит к увеличению производительности установки на 22%, а также к увеличению амплитуды колебаний на 15%.

Данная лабораторная установка позволяет сократить потребление электроэнергии за счет реализации в нем резонансно-колебательного режима работы, характеризующегося малым потреблением энергии. В будущем возможно будет использоваться как лабораторный с

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была разработана улучшенная лабораторная электромеханическая установка которая позволяет исследовать реологические свойства тиксотропных жидкостей обеспечивающие более высокие эксплуатационные характеристики. Была составлена математическая модель, которая позволяет анализировать режимы работы вибратора при работе его на различных частотах. Произведен выбор преобразователя частоты и защитной аппаратуры.

Экономически обоснован выбор электромагнита, 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.

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

Список использованной литературы

1. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / В.П. Шеховцов. - М. : ФОРУМ, 2010. – 352 с.: ил.
2. Электротехнический справочник: В 4-х т. Т.4 / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - М.: Изд-во МЭИ, 2002.
3. Экспериментальные исследования системы управления вибрационным электромагнитным активатором при работе в различных средах / Р. Ф. Бекишев [и др.] // Электромеханические преобразователи энергии : материалы Международной научно-технической конференции, 20-22 октября, 2005, г. Томск / Администрация Томской области; Томский политехнический университет; сост. С. В. Ланграф. — Томск, 2005. — С. 358-364. — Библиогр.: 2 назв.
4. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 22.05.2015)
5. URL: <http://www.findpatent.ru> (дата обращения: 21.05.2015)
6. URL: <http://geologinfo.ru> (дата обращения 21.05.2015)
7. URL: <http://www.himikatus.ru> (дата обращения: 20.05.2015)
8. Основы виброструйной магнитной активации жидких сред / В. А. Данекер, В. В. Доленко // Современные техника и технологии : Труды VI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 28 февраля - 3 марта 2000 года, Томск / М-во образования РФ; ТПУ. — Томск, 2000. — с. 302-304.
9. Анализ результатов экспериментального исследования системы управления вибрационным электромагнитным активатором при работе в различных средах / Р. Ф. Бекишев [и др.]. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск, 2005. — Т. 308, № 7. — [С. 109-112]. — (Технические науки). — Заглавие с титульного листа. — [Библиогр.: с. 112 (3 назв.)].

10. Механо-физическая технология переработки природного органического сырья и получение продуктов функционального назначения / Г.Л. Рыжова, К.А. Дычко, В.В. Хасанов, С.А. Богачев, Т.Т. Куряева // Химия растительного сырья / Томский государственный университет (ТГУ). — Томск., 2007. — № 2. — [С. 115-116].
11. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
12. URL: <http://www.265260.ru/> (дата обращения: 20.05.2015)
13. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
14. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности.»
15. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования.»
16. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.»
17. Правила устройства и безопасной эксплуатации (утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 16 мая 2003 г. N 31). Настоящим Правилам присвоен шифр ПБ 10-558-03
18. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
19. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009, №1116 (с изменениями от 24.12.2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск".»
20. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств.»
21. ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования.»
22. ГОСТ 30402-96 «Материалы строительные. Методы испытаний на воспламеняемость»

Приложение А

(Раздел 4) Thixotropic fluid

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Бушумбаев Роман Зейнуллович		

Консультант кафедры ЭПЭО _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов И.Ю.	к.т.н		

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин А.С.	к.ф.н		

Introduction

Fluid is a substance in the liquid aggregate state, enlarged the intermediate position between the solid and the gaseous states. The main property of the fluid, which distinguishes it from substances in other aggregate states, is the ability to change the shape unrestrictedly under the pressure of mechanical stresses, even arbitrarily small, while practically preserving the volume. [1].

The liquid state is generally considered to be intermediate between the solid and the gas: the gas does not retain the volume or shape, and the solid body retains both. The shape of the liquid bodies may be wholly or partly determined by the fact that their surface behaves like an elastic membrane. Well, the water can be packed in a drop. But the fluid is capable of leaking even under its stationary surface, and that also means not saving the shape (the interior parts of the liquid body). Fluid molecules do not have a definite position, but at the same time they do not have complete freedom of movement. There is an attraction, strong enough, to keep them close.

The substance in the liquid state exists at a certain temperature interval below which it enters into a solid state, higher in gaseous (evaporative). The boundaries of this interval depend on the pressure. As a rule, the substance in the liquid state has only one modification.

Liquids play an important role in many processes. The features of fluids are largely determined by their properties. The properties of liquids can be natural or specially created. A variety of devices are used for the latter, based on the use of various physico-chemical effects.

Condition of fluids

In general, liquids are harder to describe than gases (in which interactions between particles are simple collisions) and solids, in which particles stay mostly still in an organized arrangement. So we will only describe some properties here. Certain properties of liquids also depend on the intermolecular forces, like the viscosity and surface tension. These roughly describe the shapes liquids take when poured, or as droplets, etc.

Viscosity

Viscosity means how thick or sticky a liquid is. For instance, water pours easily and quickly, so it is pretty low viscosity. Honey is a thick, sticky liquid that pours slowly, so it has higher viscosity. Viscosity depends on how easily the molecules can flow past each other. The smaller they are, and the weaker the forces between them, the easier they flow. If the molecules are big and flexible, they might be able to get a bit tangled together, and that could make them flow more slowly.

Surface Tension

Surface tension means how much the liquid wants to minimize its surface area. If the intermolecular forces are strong, then molecules would rather be inside the liquid where they have favorable intermolecular interactions instead of being on the surface. This could make the liquid pull itself into rounded shapes to make the surface area smaller. You've probably seen water do this, like on a non-stick pan, because water has strong hydrogen-bonds. In this case, they are called cohesive forces, which means forces that pull the material together. (A cohesive team is very close and works well together.) On the other hand, water can have good interactions with glass surfaces, so it doesn't mind so much spreading out on glass. In fact, the forces that make water stick to glass, called adhesive forces are bigger than the

cohesive forces in water, which is why the water in a glass tube is higher around the edges.

In contrast, mercury doesn't spread out over glass, and in a glass tube, it is higher in the middle. This means that mercury has bigger cohesive forces than adhesive forces toward glass.

Miscibility

Miscibility is the ability of liquids to dissolve each other. Example of mixed liquids: water and ethyl alcohol, an example of non-miscible: water and liquid oil.

Thixotropic fluid

Thixotropy is the ability of a substance to reduce its viscosity with mechanical influence and to increase the viscosity at rest.

Some helium or fluids, which under normal conditions are thick (viscous), become fluid over time (less viscous) when shaking or other mechanical effects. In order to return to a more viscous state, they need a certain amount of time. Thixotropic fluid is a fluid that requires a finite amount of time to achieve equilibrium viscosity when the shear rate changes incrementally. Some thixotropic fluids return to helium state almost instantly, such as ketchup, and are called Psevdoplastichnymi liquids. Other liquids, such as yogurt, require much more time and can become an almost solid body. Many helium and colloid are thixotropic materials demonstrating a stable shape at peace but taking a liquid shape with mechanical effects. Some liquids have the reverse Thixotropy property: constant shear tension has for some time caused an increase in viscosity or even solidification. Constant shear stress can be applied by shaking or mixing. Liquids with this property are commonly referred to as rheological properties. They are not so widespread.

Examples in nature

Some clays are thixotropic-this property is very important in geotechnical and architectural design. Landslides, often committed, for example, on the cliffs around Lime-Regis and Dorset, as well as on the collapse of waste in Aberfale (Wales), are examples of this phenomenon. Similarly, lahar is the earth mass liquefied in the eruption of a volcano that quickly hardens in a state of peace.

Drilling solutions used in geotechnical works can be thixotropic. Bee Honey can also exhibit this property under certain conditions (Heather Med).

Some of the clay deposits found in the course of the study of the Caves show thixotropy: The coastal slime, initially seemingly solid. These clays have been deferred in the past by slow streams that leave little residue.

Thixotropic fluid is easiest to observe by presenting a paddle in a mass of clays. Exerting pressure on the paddle often leads to increased viscosity thixotropic mass on the side of the blade, and reduction of the viscosity of the mass on the side of the blade on which little pressure is exerted. The flow from the high pressure side to the low pressure of the paddle is called the non-Newtonian (i.e. the speed of the fluid is not proportional to the square root of the pressure differential on the oars paddle).

Methods and technologies for changing the properties of liquids

In its main areas of economic and social development, it is envisaged to further strengthen country's mineral and raw material base, improve efficiency and prepare for the development of found mineral resources. [2].

However, in the last two decades Russia has seen deterioration in the quality and quantity of the oil commodity base. This is due to the restructuring and decreasing oil reserves, which is largely due to the considerable production of many highly productive fields. Therefore, there is a need to low small deposits and deposits with difficult stocks.

Oil-binding resources are of particular interest. In addition, the high viscous oil has a unique chemical composition and is a valuable commodity for the petrochemical industry.

There are many ways to influence the properties of liquids, which can be categorized as thermal, mechanical, and chemical.

The thermal method is to change the temperature of the fluid, which enables it to change its flow properties, but this is generally not always acceptable, as the volume of fluid can be large and much time and energy can be spent on it.

Different additives are added to the fluid, the substances in the interaction with which the fluid changes its properties in the chemical method. Chemical reactions are not instantaneous and may take a long time. Moreover, the production of chemical reagents is costly. This technology is sometimes used in the oil industry to reduce viscosity.

There are installations that use mechanical energy to change the flow characteristics of liquids. Such installations do not consume large amounts of energy, are not expensive and have sufficient performance.

As noted earlier, all liquids have been divided into two classes: Newtonian and non-Newtonian. Newtonian fluid is a viscous fluid that is bound in its current viscous friction law, i.e. the tangent voltage and the velocity gradient are linearly dependent. The coefficient of proportionality between these values is known as viscosity. For Newtonian fluid, the viscosity, by definition, depends only on the temperature and pressure (as well as the chemical composition if the fluid is not fluid) and is independent of the forces acting on it. In simple terms, this means that the fluid continues to operate regardless of the forces acting on it. For example, water is Newtonian fluid because it continues to show the properties of the fluid, regardless of the mixing speed. Also, all liquids include light oil products, oil with low paraffin content, waxy oil at high temperatures.

When a fluid is heterogeneous, for example, it consists of large molecules that make up complex spatial structures, the viscosity depends on the gradient of velocity

when it is over. These liquids are called thinning non-Newtonian. Non-Newtonian liquids are not amenable to the laws of conventional liquids, these liquids change their density and viscosity with physical force, not only mechanical effects, but even sonic waves. If you act mechanically on a conventional fluid, the more you affect it, the more the shift is between the planes of the fluid, in other words, the more pressure on the fluid, the faster it will flow and change its shape. If you influence the fluid with the mechanical effort, we'll have a completely different effect, the fluid will start to accept the properties of the solids and behave like a solid body, the relationship between the molecules of the fluid will intensify with the increase in force on it, and in the following, we'll be physically handicapped to move the layers of these liquids.

The flow properties of the highly viscous and high pour point oil (viscosity, shear stress, temperature of the freeze) which have a direct influence on their transport through pipelines are largely dependent on the component composition.

In addition to the three main classes of hydrocarbons (paraffin, naphtene and aromatic), almost always oil is contained in large quantities of resin and asphaltene.

The presence of petroleum paraffin results in lowering the temperature to the slow and the appearance of variety properties. Paraffin wax crystals form a spatial structural grid of the coagulative type. The structural grid Immobilizuet the liquid phase, and oil acquires the properties of the type systems. Further decreasing temperatures result in a total loss of mobility-"freeze" of oil. With the increase in oil paraffin content, its flow properties are deteriorating, and the structure process is shifting towards higher temperatures.

It should be noted that the high viscous waxy oil of oil persist all fluids in a wide range of temperatures. Waxy oil has abnormal viscosity at relatively high temperatures.

It is evident that the task is to find and develop methods, technologies and equipment to effectively influence such oil in order to reduce the characteristics of viscosity and shear stresses in view of the above described characteristics of the viscous and viscous oil. This circumstance is a current the liquids having tiksotropny properties.

Technology VSMA

Vsma technology is a patented method of multi-component physico-chemical effects on complex liquid systems used to change their rheological properties and obtain the required parameters. Your vibrator The electromagnetic activation is designed to activate (mixing, thinning down, dispergation) petroleum products containing paraffins, asphaltene, etc., and other highly viscous liquids with thixotropic properties. [4].

The Tomsk Polytechnic University have developed an original technology vibro flow magnetic activation of liquid environments (VSMA) and a VSMA device for processing variety liquids. Modulated vibration, as a factor of destruction, and turbulizing of the flooded sprays, are active factors influencing fluids, as a factor in the complex factor of destruction and the increase in the volume of the last-dominated activation.

The basis for constructs of various VSMA devices is the unit module, which is a electromechanical device with a wide range of frequency and supply voltage values. The unique combination of activation factors in one device and the high unit performance are achieved by the original constructs of individual module nodes.

The original design of the working bodies of the VSMA equipment ensures that the fluid streams in the environment are closed, which in turn create the conditions for multiple parts of the fluid to be hit in the activation zone. The use of VSMA equipment to activate natural Sapropel is accompanied, first, by the Dispergirovani of the original material and, secondly, by some changes in its chemical composition.

The lipid Sapropel complex is diverse in the chemical composition of bio publications logically active compounds. The most interesting are the fat Publicationsic acid, which is in the natural organic raw material in a free and connected state. The high efficiency of the use of physical effects allows you to control lipids and obtain products with the specified properties.

The creation of a multifunctional electromagnetic reactor type allowed for the highly concentrated (pasta) and diluted (extracts) of the slurry in the aquatic environment.

The most developed direction for the efficient use of VSMA technology is the application of the GSP for the treatment of the highly viscous oil to prepare them for transport by significantly reducing the viscosity. The resulting reduction in oil viscosity in the processing of VSMA devices is observed in a wide temperature range.

Intensive work has begun on the creation of industrial devices to handle various multi-component liquid systems in order to obtain the required performance since the first half of the 1990s. [5].

The need to establish laboratory facilities is due, first, to the large volume of research and search activities and, secondly, and most importantly, to the analytical work that is one of the initial stages in determining the technological parameters for the use of industrial devices.

VSMA with a certain energy as a result of the destruction of crystallization structures may lead to a strong change in the structural and viscosity properties of the oil.

From the point of view of the vibration theory, this system consists of structure elements (anchor, elastic Element) and the load elements of the liquid environment. The load elements are: attached mass of the environment, which varies in the anchored phase and depends on the density of the fluid; The elasticity of the variety liquids in the light of the small shift speeds is added to the elasticity vibrator by changing the resonance frequency of the system. In the case of large shift speeds, the fluid structure that determines its elasticity is broken and the effective viscosity of the fluid decreases.

The device is based on the principle of resonance. Amplitudes and resonance frequencies depend on the density and viscosity of the environment, so the frequency characteristics are significantly different. Therefore, the task of creating effective vsma devices is to properly match the active features of the vibrator: the Mass and

dimensions of the activator, the activation area geometry; The severity of the activator, together providing the maximum amplitudes of the Activator.

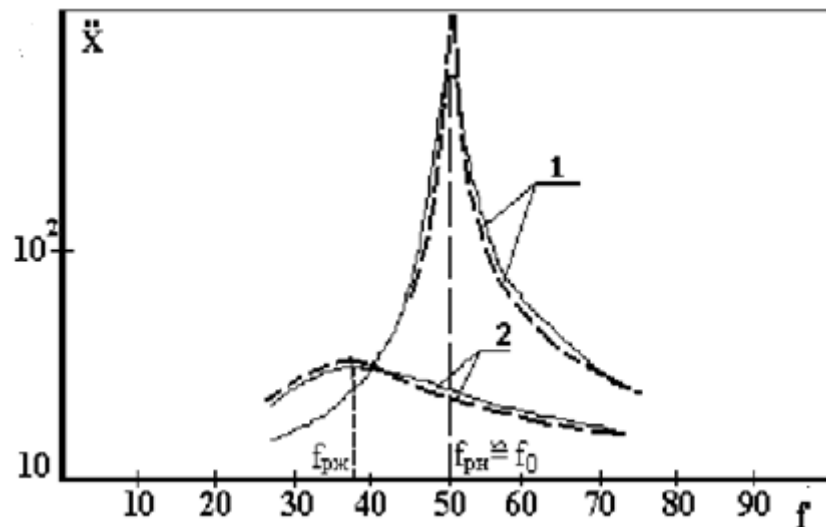


Figure - A.1 - Frequency characteristics of the Activator's vibration

1-frequency characteristic of the activator's fluctuations in the air.

2-frequency characteristic of the activator's vibrations in the water.

The Vsma equipment samples are available. It has certain advantages. However, the task is to increase processing performance. Performance depends on the flow of the fluid being processed, which in turn depends on the amplitude of the activator's vibrations. The amplitude of the activator's oscillations in the fluid is largely determined by the amount of hydraulic resistance that depends on the shape and size of the activator for the case in question. Therefore, it is suggested that you investigate the performance dependency of device activation Vsma depending on the slush nozzle. In existing equipment samples, the vsma slush nozzle defining fanning is trapezoidal. It is clear that the trapezoidal of the nozzle is eddy formation fluid in the passages, which affects the increase of the hydraulic resistance. The increase in the hydraulic resistance reduces the amplitude of the activator, and thus reduces processing performance. From the sources it is known that the Laval or venturi nozzle is recommended to reduce the hydraulic resistance of narrow fluid through the slush nozzle. These nozzles are characterized by smooth transitions of individual plots, significantly reducing the hydraulic resistance of the fluid.

Design the installation

The composition of the installation, the purpose of the main elements

There is a laboratory installation that has been in use for more than 12 years at present moment. Numerous experiments have revealed a number of shortcomings in this facility that affect the results of research. It was decided to improve mobility and convenience. We need to prevent fluids from flowing as the flow is directed up. The ditch used was one liter, and it was executed together with the electromagnetic drive, which, after every experiment, required careful clean-up of the ditch, which increased the time of the investigation. An option with a removable ditch more practical. The increase in the volume of the liquid filling the ditch will contribute to the improvement of the results obtained from the laboratory installation, the performance data, the industrial installations.

Thus, the planned laboratory installation shall have a multiple of a ditch of at least ten liter.

Among the ways in which vibrations are implemented, the most promising (compared to kinematic or dynamic) in terms of reliability and control are, respectively, the power to arouse vibrations through electromagnetic vibration motor.

The way of the lab installation works. One of the ditches filled with the liquid being investigated is connected to the lab installation. On the electromagnetic vibration motor, an AC voltage is provided for the power input device through the diode. When a diode is emitted, one half of AC voltage on the coils of the electromagnetic power is leaked through the current, the activator-triggered by the electromagnetic force is drawn through the bulkheads to the magnetic core, the springs are deformed. In this case, the fluid under the activator is compressed and pushed through a circular hole in the direction of the shell, forming a stream. Center location removes the low pressure zone at the center of the base slab, which is limited to the inner diameter of the trapezoidal hole, reducing the whirlpool.

When the diode does not allow the current, the electromagnetic force is not leaking, the EMC is zero, the triggering plate is under the elasticity of the spring from the partitions, and the next volume of the process fluid flows under the activator. If the AC voltage is constantly provided on the coils of the electromagnetic vibration motor, the activator is oscillating, forming a constant flow of fluid, thereby activating it. The voltage frequency of the alternating current shall be the same as that of the activator plate in the fluid.

Lab Installation Device

The general view of the laboratory installation is shown in Figure A.2. In order to ensure the speed of experimentation with various liquids, as noted earlier, the liquid ditch shall be removable and the number equal to the number of liquids studied simultaneously. For the lab installation you are developing, accept the ditch quantity equal to three. Experience with the existing installation has shown that the amount of fluid being processed is one liter not sufficient for the objectiveness of the dissemination of results to industrial devices, and for high productivity. However, the results show that the volume of ditches equal to or greater than 10 litres would be sufficient to make practical recommendations. So we accept a ditch volume of ten liters. The general view of the ditch is shown in Figure A.3.

Given that the principle of laboratory operation is based on the vibration effect, the ditch must be massive. Securely attached to the lab installation. The ditch must provide simple and easy turnover. In the proposed installation, a rotating device, electromagnet, with lever and activator, is shifted to allow them to be placed inside the liquid.

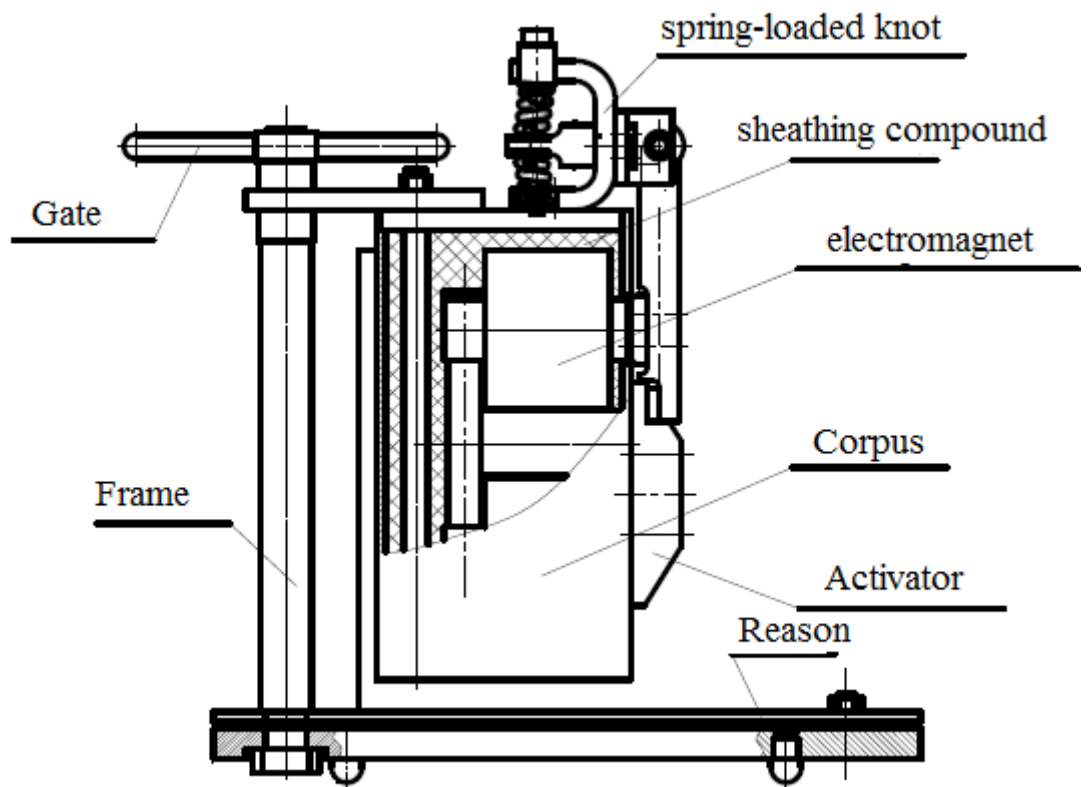


Figure – A.2 - General type of laboratory installation

The installation frame is made of a metal corner. The frame is pinned to a massive base. A turntable is located at the top of the frame.

The device also assumes a 10-litre removable ditch. The ditch is shown in Figure A.3. The shift is a special turntable that allows quick replacement. This reduces the time spent on the various substances. After the liquid is processed, the ditch is sent to the laboratory for further investigation. After we have replaced, we can experiment with other liquids.

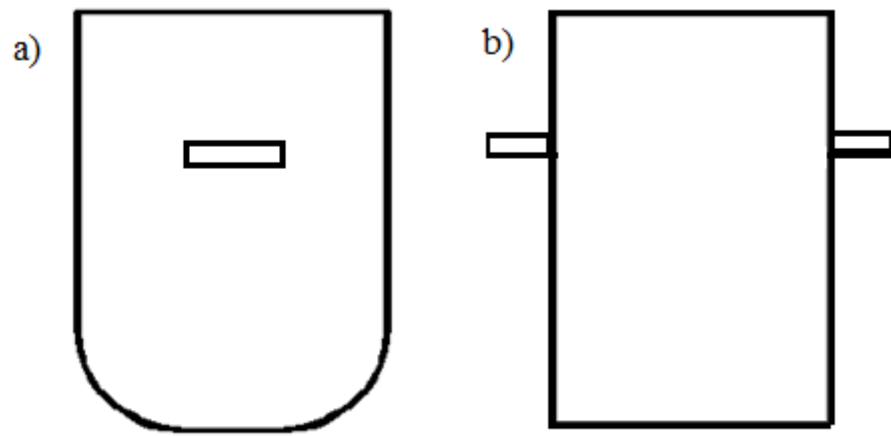


Figure - A.3 - ditch: (a) side view, (b) front view

One of the main parts of the lab installation is the oscillation knot. It is anchored to a turntable that is located at the top of the lab installation frame. The structure of the oscillation node consists of springs, lever, bracket, and the activator plate, which is performed as a cone disk with a circular hole. In the event of a failure of the springs, the indiscriminate vibrations of the small amplitude activators, accompanied by a sharp deterioration in the fanning, occur. The reasons for the failure of springs are the disruption of their integrity (formation of cracks) and, as a result, their loss of necessary elasticities. The deterioration of fanning is recorded visually. In the case of a sharp deterioration, the fanning replace the defective springs with the correct coils from the kit.

The backbone of the electromagnetic vibration motor is solenoid magnet, which is attached to the mounting frame and consists of magnetic and two coils that are connected sequentially. The slab is mounted in front of the electromagnetic poles, doing work with its own frequency equal to the frequency of the electromagnetic vibration motor.

Work Module

The vibroacoustic treatment module (VMO) is the main part of the vibro activator for the laboratory installation of rheology fluids and conducts direct vibro flow magnetic Impact on liquid environment.

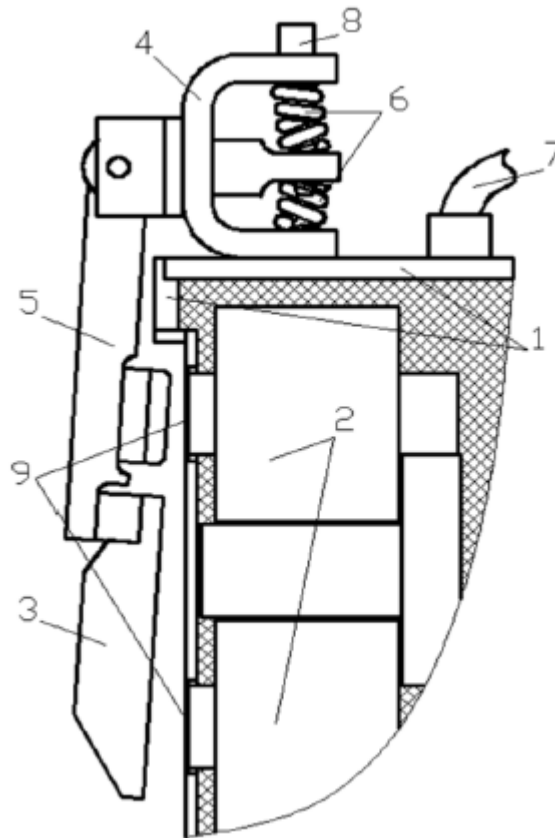


Figure – A.4 - Structure VMO

1-chassis; 2-electromagnet; 3-activator; 4-bracket; 5-lever; 6-Elasticity (Spring); 7-input device; 8-regulator screw; 9-VMO Wall.

The VMO Corps (1) is designed to accommodate the electromagnetic (2) in a volume isolated from the effects of the processing environment. Therefore, the hull shall be leakproof. The interior of the hull, which is not engaged in electromagnetic (2), is compounded, to provide a better heatsink with a electrical winding electromagnetic (2).

Electromagnet (2) is designed to create a disturbing force in the oscillatory system. Electromagnet (2) is tightly connected to the hull (1), so in this design the

oscillation is committed by the Activator (3), which is the electromagnetic anchor (2). The electromagnetic core (2) has been completed from the electrical sheets as a U-shaped form in the package. Both bars in the hub have the same coils. The Activator (3) was executed from a solid workpiece. The Activator (3) can be a round or square shape. The body of the Activator (3) performed a special trapezoid hole to form the flooded jet. The Activator (3) fixed on the long arm of the lever (5). The attachment of movable elements of the VMO to the enclosure (1) is carried out using a bracket (4).

The return force of the oscillatory system VMO forms elasticity (6) representing the cylindrical springs.

The adjusting screw (8) is designed to adjust the initial gap between the activator and the VMO.

VMO, a oscillatory system, operates in resonance mode, which allows, with minimal energy costs, as much as possible to render effect on the laboratory installation . This is due to the fact that in resonance, the amplitude of the activator's fluctuations is the maximum. The resonance mode is provided by a certain ratio of the mass of the oscillating elements and the stiffness of the spring. The source data to determine the spring stiffness value is the mass of the activator.

Develop individual installation sites

The activator is the main part of the lab installation. It is pinned to the chassis using adjustable anchorage nodes and springs at a specified distance from the wall of the ditch adjacent to the poles of magnetic. The activator is fitted with special openings through which the oil product or other liquid environment in the space between the activator and the shell is through them, forming flooded jets.

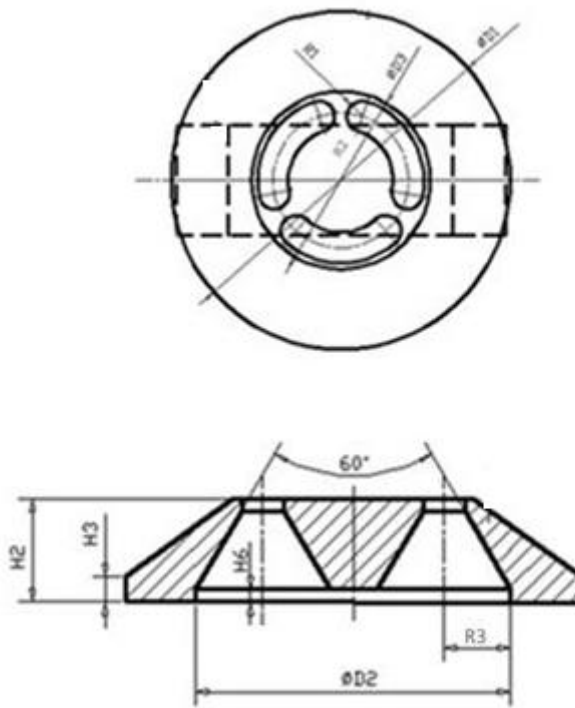


Figure - A.5 - is the general appearance of the Activator.

Oscillation knot

The structure of the oscillation knot is shown in Figure A.6. A electromagnet consisting of a U-shaped core that was drawn from electrical plates was 0.35 mm thick and wound winding with a number of coils equal to 1000. The core magnetic is located in the superstructure of a laboratory. The anchor of this electromagnetic is the activator.

AC power is given to the electromagnetic system by the variable voltage and frequency. By force of electromagnetic attraction caused by the electromagnetic block of surface grinding, the Activator (anchor) is attracted at certain points in time. Oil or other liquid environment in the space between the activator and the shell, which is pushed through the special form's holes in the activators in the direction of the wall, form flooded jets. During the time when the power of the electromagnetic attraction is absent, the activator, under the force of elastic deflection of springs, departs from the shell walls. At the same time, the flooded jets do not form.

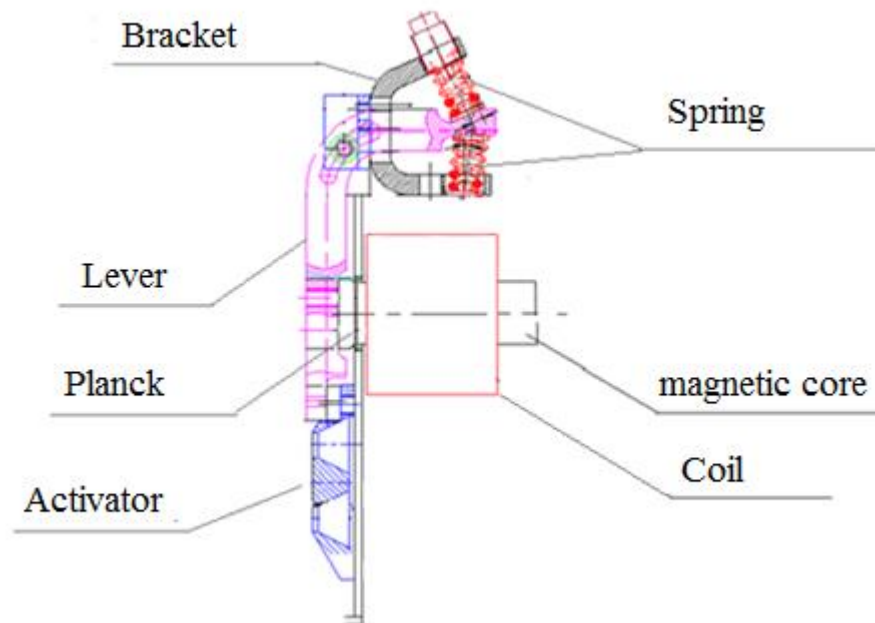


Figure - A.6 - Oscillation knot design

Features of exploitation

Noise is one of the most common adverse factors in the production environment. The sound and noise sources are vibrating solids. The main production processes with noise are riveting, stamping, aircraft engines testing, working on looming machines, etc. With regard to the effects of noise on the body, it should be born in mind that it has both private and general effects. More pulse, breathing, increasing arterial pressure, changing the motor and secretory functions of the stomach and other organs. Noise on the nervous system is adversely affected, causing headaches, insomnia, decreasing attention, retardation of mental reactions, which ultimately leads to lower health.

When Vsma, consider the vibration and noise settings that are generated by the installation. In the case where the amount of vibration and noise in the workplace exceeds the standard, silencers, flexible inserts, dampers, etc. should be applied to the

noise level created by the installation in the workplace should be in accordance with GOST 12.1.003-83.

Vibration of the installation may affect the degree of comfort and efficiency and, in some cases, its health and safety. The GOST 12.1.012-2004 established that the products should be designed and constructed so that the risk resulting from the vibrations they create is minimized, and in cases where, despite the measures taken, it is not possible to completely avoid the harmful effects of vibration, the manufacturer must inform the potential consumer. It is also established that the technical documents on the potentially vibration motor must define the characteristic of the vibration machine being produced. This standard focuses on how to measure these characteristics for self-propelled vehicles.

The basic requirement is to provide the maximum amplitude of the vibrations in a lab installation, as it will have maximum performance and maximum operational effect.

The basic parameters of the laboratory installation are formulated and defined on the basis of experience with the laboratory installation of the previous version: the dimensions of the activator and the removable ditch, the nozzle shape, the electrical and mechanical characteristics of the electric power.

References:

1. Thixotropy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thixotropy> (дата обращения: 21.05.2017).
2. Ryzhov G.L. Physical processing of natural organic raw materials and the production of functional destinations // Raw materials chemistry. - 2007. - № 2. - С. 115-116.
3. Liquids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chem.libretexts.org> (дата обращения: 21.05.2017);
4. Bekishev R.F. Pilot studies on the management of the vibrational electromagnetic activator in different environments // Technique of Science. - 2005. - № 4. - С.109-112.
5. Daneker V.A. The basics of vibro flow magnetic activation of liquid environments // Technique of Science. - 2000. - № 5. -С. 302-304.

Приложение Б

Математическая модель

Данные, задающие вычисление:

$f := 50$	Частота напряжения питания
$m := 20$	Число итераций в периоде
$N := 20$	Число периодов расчёта
$P := 4.0$	Коэффициент пропорциональности напряжения
$\delta_0 := 0.00365$	Воздушный зазор
$\mu_{ст} := 5000$	Относительная магнитная проницаемость стали
$F_0 := 30$	Намагничивающая сила насыщения
$Rm0 := 240.7$	
$T_p := 36.3600$	

Входные данные:

$\mu_{ст} := 5000$	$\mu_{ж} := 1.257 \cdot 10^{-6}$	$Rk1 := 14.7$	Сопротивление основного контура, одной катушки Ом
$a := 0.03$	Длина полюса, м	$\rho_{кз} := 0.047$	Проводимость материала к.з. витка (нержавеющая сталь)
$b := 0.015$	Ширина полюса, м	$D_{кз} := 0.07$	Диаметр к.з. витка
$S_{пол} := a \cdot b$	Сечение полюсного наконечника	$l_{кз} := \pi \cdot D_{кз}$	Длина контура к.з. витка
$\delta_0 := 0.0065$	Воздушный зазор, м	$\tau_{ст} := 0.001$	Толщина стенки, м
$X_0 := \delta_0 + \tau_{ст}$	Зазор между активатором и магнитопроводом, м	$S_{кз} := 20$	Сечение к.з. витка, мм.кв.
$l_m := 0.20$	Длина магнитопровода, м	$l_k := 0.004$	Длина магнитопровода к.з. витка, м
$W := 1300$	Число витков в катушке (пересчитать)		
$M_a := 0.72$	Масса активатора, включая другие элементы	$\rho_{ж} := 1500$	Плотность жидкости, кг/м.куб.
$r_{экв} := 0.049$	Радиус активатора эквивалентный, м	$a_a := 0.098$	Ширина активатора, м
$b_b := 0.0980$	Длина активатора, м	$F_0 := 2000$	
$\mu(l) := 1 + \mu_{ст} \cdot e^{-\left(4 \cdot l \cdot \frac{W}{F_0}\right)^{0.2}}$	Учёт насыщения магнитопровода	$\mu(0) = 5.001 \times 10^3$	

Присоединённая масса жидкости:

$$Q_{кр} := \frac{8}{3} \rho_{ж} r_{экв}^3 \quad Q_{кр} = 0.4706$$

$$Q_{пр} := \frac{\pi \cdot \rho_{ж} \cdot aa^2 \cdot bb^2}{4 \sqrt{bb^2 + aa^2}} \left(1 - 0.425 \frac{bb \cdot aa}{bb^2 + aa^2} \right)$$

Активное сопротивление к.з. контура, Ом

$$R_{кз} := \rho_{кз} \frac{l_{кз}}{S_{кз}}$$

Индуктивность обмотки основной, Гн

$$L_{об}(x, l) := \frac{W^2 \cdot \mu(l) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X0 - x) \cdot \mu(l) + l m}$$

$$LL_k(x, l) := \frac{d}{dx} L_{об}(x, l)$$

Взаимоиндуктивность основных контуров:

$$M_{12}(x, l) := \frac{W^2 \cdot \mu(l) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X0 - x) \cdot \mu(l) + l m}$$

$$MM_{12}(x, l) := \frac{d}{dx} M_{12}(x, l)$$

Взаимоиндуктивность основного и к.з. контура, Гн

$$M_{к12}(x, l) := \frac{W \cdot \mu(l) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X0 - x) \cdot \mu(l) + \frac{l m}{0.5}}$$

$$MM_k(x, l) := \frac{d}{dx} M_{к12}(x, l)$$

Индуктивность к.з. контура, Гн

$$L_{кз}(l) := \frac{\mu(l) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{l_k}$$

$$R_{кз} = 5.16792 \times 10^{-4} \quad L_{об}(0, 0) = 0.20383 \quad M_{к12}(0, 0) = 1.55465 \times 10^{-4}$$

К определению жёсткости:

Резонансная частота на воздухе (собственная частота), Гц

$$f_0 := 70 \quad \omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot f_0$$

Жесткость пружины

$$q1 := \omega_0^2 \cdot M_B \quad q1 = 1.3928 \times 10^5$$

$$q2 := 50 q1$$

$$q(x) := \text{if}(x \geq \delta 0, q2, q1) \quad q(x) := q1$$

Собственная частота в воде

$$\omega_{0ж} := \sqrt{\frac{q1}{M_a + Q_{кр}}} \quad \omega_{0ж} = 342.02823 \quad f_{0ж} := \frac{\omega_{0ж}}{2 \cdot \pi} \quad f_{0ж} = 54.43548$$

Резонансная частота в жидкости (вода, эксперимент), Гц

$$f_{жр} := 59 \quad \omega_{жр} := 2 \cdot \pi \cdot f_{жр} \quad \omega_{жр} = 370.70793$$

Расчётное усреднённое значение механического сопротивления (вода), кг/сек

$$R_m := \sqrt{2 \cdot (M_a + Q_{кр})^2 \cdot (\omega_{0ж}^2 - \omega_{жр}^2)} \quad R_m = 240.73053i$$

ВВОДИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТА

Механическое сопротивление движению активатора в жидкости (начальное)

$$R_{m0} := 70$$

Коэффициент, учитывающий форму активатора

$$\lambda 1 := 1.3 \quad \text{Активатор круглой формы}$$

$$\lambda 2 := 1.7 \quad \text{Активатор прямоугольной формы}$$

Скоростной порог турбулентности, м/с (определена усовно)

$$Y0 := 2.5$$

Постоянная времени релаксации тиксотропных свойств, час (определена усовно)

$$T_p := 36$$

Производительность активации (м.куб./час)

$$Q_{ак} := 1$$

Коэффициент начального значения механического сопротивления

$$U := 1$$

Общее уравнение механического сопротивления

$$R_m(t, y) := R_{m0} \cdot \lambda 1 \cdot e^{\frac{|y|}{Y0} \left(1 + e^{\frac{-t}{T_p} \cdot Q_{ак} + U} \right)}$$

Упрощенное значение механического сопротивления

$$R_m(t, y) := R_{m0} \cdot \lambda 1 \cdot e^{\frac{|y|}{Y0}}$$

ПЕРЕМЕННЫЕ РАСЧЁТА

Угловая частота напряжения, сек⁻¹

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f \quad \omega = 314.15927$$

Период колебаний, сек

$$T_{пер} := \frac{1}{f} \quad T_{пер} = 0.02$$

$$h := \frac{T_{\text{пер}}}{M} \quad h = 1 \times 10^{-3}$$

Время расчёта, сек

$$T_{\text{расч}} := N \cdot T_{\text{пер}} \quad T_{\text{расч}} = 0.4$$

Количество циклов расчёта

$$n := \frac{T_{\text{расч}}}{h} \quad n = 400$$

Амплитуда входного напряжения, В

$$E_m := P \cdot f$$

Напряжение питания

$$E(t) := E_m \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Намагничивающая сила одного стержня, А

$$J(l, l_k) := I \cdot W - I_k$$

Электромагнитная сила притяжения активатора к индуктору, Н

$$F_{\text{эмх}}(t, l, l_k, x) := \mu_0 \cdot S_{\text{пол}} \cdot \frac{2 \cdot J(l, l_k)^2}{(x_0 - x)^2} \quad S_{\text{пол}} = 4.5 \times 10^{-4}$$

$$F_{\text{эм}}(t, l, l_k, x) := F_{\text{эмх}}(t, l, l_k, x)$$

Магнитная проницаемость в вакууме

$$\mu_0 := 1.26 \cdot 10^{-6}$$

Площадь поперечного сечения участка магнитопровода

$$S_{\text{л}} = 450 \cdot 10^{-6}$$

Относительная магнитная проницаемость стали

$$\mu_s := 5000$$

Напряжение

$$U_{\text{л}} = 220$$

Ток

$$I := 2$$

Частота

$$f_{\text{л}} = 70$$

Угловая

скорость

$$\omega := 2 \cdot 3.14 \cdot f = 439.6$$

Начальный зазор

$$x_0 := 0.01$$

Сопротивление зазора

$$S_{\text{л}} := 450 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{\text{л}}(x) := \frac{x_0 - x}{\mu_0 \cdot S_{\text{л}}}$$

Магнитное сопротивление

$$L_{\text{mag}} := \frac{U}{I \cdot W} = 0.25023$$

$$L_{\text{л}} := \frac{L_{\text{mag}}}{2} = 0.12511$$

$$R_{\text{л1}} := \frac{65 \cdot 10^{-3}}{\mu_0 \cdot S} = 1.14638 \times 10^8$$

Магнитное сопротивление стали стержня

$$R_{\text{л1}} := \frac{81 \cdot 10^{-3}}{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3}} = 2.85714 \times 10^4$$

$$R_{\text{л3}} := R_{\text{л1}} = 2.85714 \times 10^4$$

Магнитное сопротивление спинки

$$R_{\text{л2}} := \frac{65 \cdot 10^{-3}}{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 1.71958 \times 10^4$$

Величина сопротивления в магнитной цепи
якоба

$$R_{ма} := \frac{65 \cdot 10^{-3}}{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^{-3}} = 6.44841 \times 10^3$$

$$R(x) := r1 + r2 + R_{ма} + \frac{2 \cdot R_{д}(x)^2 + R_{ма} R_{д}(x)}{R_{д}(x) + R_{д}(x) + R_{д}(x) + R_{ма}}$$

Силу берем
приблизительно

$$B(l, l_k) := 2 \cdot I \cdot W - 2 \cdot l_k$$

$$\Phi(l, l_k, x) := \frac{B(l, l_k)}{R(x)}$$

$$B(l, l_k, x) := \frac{\Phi(l, l_k, x)}{S}$$

$$F_{эм}(t, l, l_k, x) := \frac{1}{2} \cdot B(l, l_k, x)^2 \cdot \frac{S}{(x_0 - x)^2}$$

$$F_{эм}(t, l, l_k, x) := F_{эм}(t, l, l_k, x)$$

$$r1 := \frac{R_{д1} \cdot R_{м1}}{R_{д1} + R_{м1}} = 2.85643 \times 10^4$$

$$r2 := \frac{R_{д1} \cdot R_{м3}}{R_{д1} + R_{м3}} = 2.85643 \times 10^4$$

Уравнение основного контура

$$F1(t, l, l_k, x, y) := \frac{E(t) - 2 \cdot l \cdot \left(R_{к1} + L_{лк}(x, l) \cdot y + M_{12}(x, l) \cdot y - 4 \cdot \frac{M_{к12}(x, l)}{L_{к3}(l)} \cdot M_{lk}(x, l) \cdot y \right) - 4 \cdot l_k \cdot \left(M_{lk}(x, l) \cdot y - \frac{M_{к12}(x, l) \cdot R_{к3}}{L_{к3}(l)} \right)}{2 \cdot (L_{об}(x, l) + M_{12}(x, l))}$$

Уравнение к.з. контура

$$F2(t, l, l_k, x, y) := \frac{-l_k \cdot \left(R_{к3} - 4 \cdot \frac{M_{к12}(x, l)}{L_{об}(x, l) + M_{12}(x, l)} \cdot M_{lk}(x, l) \cdot y \right) - \frac{M_{к12}(x, l)}{L_{об}(x, l) + M_{12}(x, l)} \cdot E(t) - 2 \cdot l \cdot \left[M_{lk}(x, l) \cdot y - \frac{M_{к12}(x, l)}{L_{об}(x, l)} \cdot (R_{к1} + L_{лк}(x, l) \cdot y + M_{12}(x, l) \cdot y) \right]}{L_{к3}(l)}$$

Уравнения механического контура

$$F3(t, l, l_k, x, y) := \frac{F_{эм}(t, l, l_k, x) - R_m(t, y) \cdot y - q(x) \cdot x}{M_a + Q_{кр}}$$

$$F4(t, l, l_k, x, y) := y$$

Расчёт коэффициентов методом Рунге-Кутты:

$$k1(t, l, l_k, x, y) := h \cdot F1(t + h, l, l_k, x, y)$$

$$m1(t, l, l_k, x, y) := h \cdot F2(t + h, l, l_k, x, y)$$

$$s1(t, l, l_k, x, y) := h \cdot F3(t + h, l, l_k, x, y)$$

$$c1(t, l, l_k, x, y) := h \cdot F4(t + h, l, l_k, x, y)$$

$$k2(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F1(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{k1(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$m2(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F2(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{m1(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$s2(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F3(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{s1(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$c2(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F4(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{c1(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$k3(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F1(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{k2(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$m3(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F2(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{m2(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$s3(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F3(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{s2(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

$$c3(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F4(t + h, l, l_k, x, y) + \frac{c2(t, l, l_k, x, y)}{2} \right)$$

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

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

$$k4(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F1(t + h, l, l_k, x, y) + k3(t, l, l_k, x, y) \right)$$

$$m4(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F2(t + h, l, l_k, x, y) + m3(t, l, l_k, x, y) \right)$$

$$s4(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F3(t + h, l, l_k, x, y) + s3(t, l, l_k, x, y) \right)$$

$$c4(t, l, l_k, x, y) := h \cdot \left(F4(t + h, l, l_k, x, y) + c3(t, l, l_k, x, y) \right)$$

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

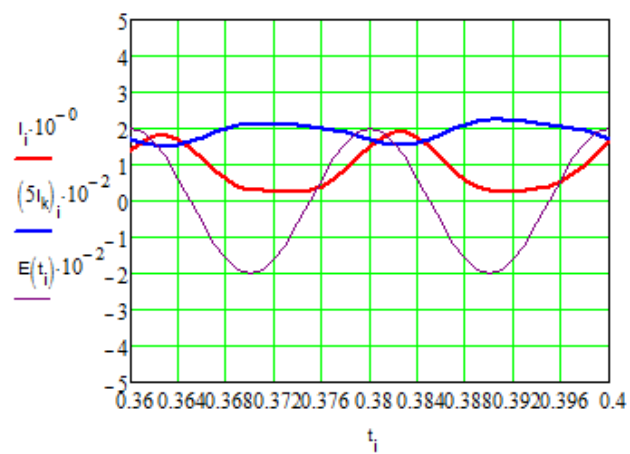
$$C(t, l, l_k, x, y) := \frac{c1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c3(t, l, l_k, x, y) + c4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

Расчёт переходного процесса:

$$i := 0..n$$

$$n = 400$$

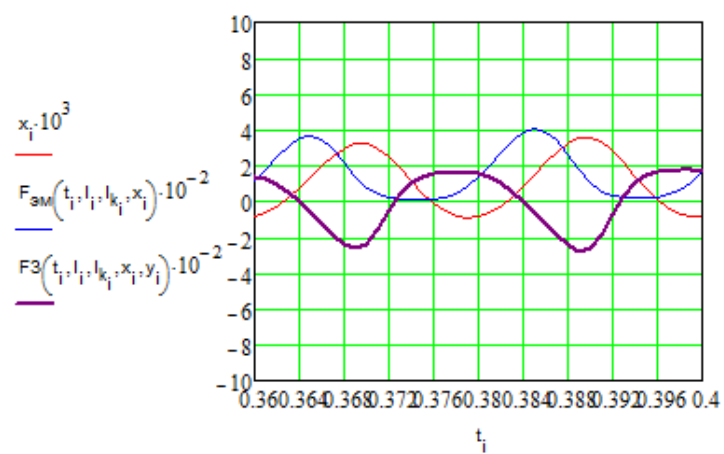
$$\begin{pmatrix} t_0 \\ l_0 \\ l_{k0} \\ y_0 \\ x_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t_{i+1} \\ l_{i+1} \\ l_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if } (l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ l_{k_i} + M(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if } (x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 60, 60, x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$



$$\max(l) = 1.87772$$

$$l_d := \sqrt{\frac{\frac{T_{расч}}{h} \sum_{i=\frac{(N-4)T_{неп}}{h}}^{\frac{(N-4)T_{неп}}{h}} \left[(l_i)^2 \cdot h \right]}{4T_{неп}}}$$

$$l_d = 1.05299$$



$$I_{kd} := \sqrt{\frac{\frac{T_{расч}}{h} \sum_{i=\frac{(N-1)T_{пер}}{h}}^{\frac{(N-1)T_{пер}}{h}} \left[(I_{k_i})^2 \cdot h \right]}{T_{пер}}}$$

$$I_{kd} = 39.81796$$

$$\Delta x := \sqrt{\frac{\frac{T_{расч}}{h} \sum_{i=\frac{(N-2)T_{пер}}{h}}^{\frac{(N-2)T_{пер}}{h}} \left[(x_i)^2 \cdot h \right]}{T_{пер}}}$$

+

$$\Delta x = 2.68241 \times 10^{-3}$$

$$\Delta X := 2 \cdot \Delta x$$

$$\Delta X = 5.36481 \times 10^{-3}$$

$$\max(x) = 3.54775 \times 10^{-3}$$

$$\min(x) = -8.96645 \times 10^{-4}$$

$$\Delta Y := \max(x) - \min(x)$$

$$\Delta Y = 4.44439 \times 10^{-3}$$

Производительность активации, м³/час

$$V_{ак} := \Delta Y \cdot \left(\frac{\max(x)}{60} \right)^2 \cdot t_{экр}^2 \cdot f \cdot 3600 \cdot \pi \quad V = 5.70095$$

