

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электромагнитный вибратор очистки НКТ нефтяных скважин

УДК: 62-868:622.244.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Суворина Полина Леонидовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Данекер В.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютеева П.В.	К.Т.Н.		

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

Школа ИШЭ

Направление подготовки - 13.03. 02 Электроэнергетика и
электротехника

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Доцент ОЭЭ ИШЭ Тютёва П.В.

(Подпись) (Дата)
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной
квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Суворина Полина Леонидовна

Тема работы:

Электромагнитный вибратор очистки НКТ нефтяных скважин	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	1. Прибор предназначен для очистки НКТ диаметром 59 мм. 2. Прибор должен обеспечивать очистку НКТ на длине не менее 1 м. 3. Прибор использует в конструкции модульный принцип
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Изучение существующих технологий очищения НКТ скважин 2. Разработка конструкции очистительной вибрационной установки 3. 3. Разработка математической модели ВСМА 4. 4. Анализ режимов работы модуля ВСМА
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Подопригора Игнат Валерьевич
«Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Данекер В.А.	к.т.н.		29.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Суворина П.Л		29.02.2020

Министерство образования и наук
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Суворина Полина Леонидовна

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT - анализ по разработке вибрационной очистки НКТ нефтяных скважин.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И. В.			25.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Суворина Полина Леонидовна		25.03.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5А6К		Суворова Полина Леонидовна	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электромагнитный вибратор очистки НКТ нефтяных скважин	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объект исследования: Электропривод вибратора для очистки НКТ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	• Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ. • Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; • Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197 ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников; • "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. РД 08-200-98" (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 09.04.1998 N 24) (ред. от 20.06.2002)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Повышенный уровень вибрации 2. Превышение уровня шума 3. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Разлив и растекание нефти. Пожар. Взрывы.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
-----------	-----	------------------------	---------	------

Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			25.03.2020
---------------	----------------	--	--	------------

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Суворина Полина Леонидовна		25.03.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 92 с., содержит 24 рис., и 22 табл., 26 источника.

Ключевые слова: электромагнитный вибратор, очистка насосно-компрессорных труб (НКТ) нефтяных скважин, амплитуда колебаний, резонанс, электропривод.

Объектом исследования является электропривод виброустановки.

Цель работы – провести расчет и исследование электропривода резонансного вибратора модульного типа, предназначенного для предотвращения и для удаления асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) на стенках НКТ нефтяных скважин.

В процессе исследования проводилось конструирование устройства, а также разработка математической модели, выбор оборудования и анализ режимов работы ВСМА.

В результате исследования был разработан и экономически обоснован проект электромагнитной очистительной установки.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью компьютерных программ Microsoft Office 2016, Microsoft office Excel 2013, Mathcad 15, КОМПАС-3D и MathType.

Оглавление

РЕФЕРАТ	9
Оглавление	10
1. ОБОРУДОВАНИЕ ВИБРОСТРУЙНОЙ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ (ВСМА) ДЛЯ ОТЧИСТКИ НКТ.....	25
1.1 Основы технологии ВСМА	25
1.2 Блок виброобработки устройства для очистки НКТ.....	26
2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ	29
2.1 Математическая модель механической части ЭМП и расчет ее.....	29
параметров.....	29
2.2 Математическая модель электрической части ЭМП и	33
расчеты ее параметров	33
2.3 Магнитная система ЭМП и расчет ее параметров	34
3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭМП.....	38
3.1 Работа ЭП при изменении механического сопротивления.....	39
3.2 Работа ЭП при изменении частоты и напряжения питающей сети при малом механическом сопротивлении	42
3.3 Работа ЭП при изменении начального угла φ при малом механическом сопротивлении.	45
4. ОБЩАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВИБРАТОРА ДЛЯ	46
ОТЧИСТКИ НКТ.....	46
4.1 Электрическая схема прибора.....	46
4.2 Выбор автоматического выключателя	47
4.3 Выбор питающего кабеля	47
4.4. Выбор преобразовательного устройства для системы.....	48
4.5 Выбор диода.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	52
5.1 Анализ конкурентных технических решений.....	52
5.2. SWOT-анализ проекта.....	54
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	57
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	57
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта	59
5.4 Бюджет затрат технического проекта.....	64
5.4.1 Расчет материальных затрат проекта	65
5.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта	67
5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69

5.4.4 Накладные расходы	69
5.4.5 Формирование сметы технического проекта	70
5.5 Определение ресурсоэффективности проекта	71
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	74
Введение	74
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	75
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	75
6.2 Производственная безопасность	76
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	77
6.2.2 Повышенная или пониженная температура воздуха	77
6.2.3 Повышенный уровень шума	79
6.2.4 Повышенный уровень вибрации	79
6.2.5 Недостаточное освещение рабочей зоны	81
6.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи	82
6.3 Экологическая безопасность	83
6.3.1 Загрязнение атмосферы	83
6.3.2 Загрязнение литосферы и гидросферы	83
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
Выводы по разделу	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	86

ВВЕДЕНИЕ

Английское слово *petroleum* (нефть) состоит из двух латинских слов *petra* (камень) и *oleum* (масло). И означает сырую нефть – смесь жидких углеводородов. А также слово *petroleum* часто употребляется, когда речь идет о природном газе. Понятие «нефтяная промышленность» включает в себя как промышленность, так и газовую нефтяную. Таким образом, определение слова *нефть (petroleum)* охватывает сложную и достаточно большую группу жидких, газообразных и твердых углеводородов, т.е. соединения водорода и углерода, содержащие в качестве «примесей» кислород, азот и серу. Период времени, в течение которого появились все известные нефтяные отложения, составляет от 2 до 400 млн. лет назад. [4]

Нефтяная промышленность, как народнохозяйственный комплекс, развивается согласно своим закономерностям. Нефть – фундамент экономики страны, национальное богатство, источник могущества. Значение нефти в хозяйстве невозможно переоценить: продукты нефтепереработки являются сырьем для нефтехимии в переработке синтетического спирта, каучука, полиэтилена, разнообразия видов пластмасс и искусственных тканей; источник моторных топлив, таких как бензин, дизельное и реактивное топливо, керосин, смазка и масла для технического оборудования, а также строительных материалов; сырье для белковых добавок, используемых в корме для стимуляции роста скота. Россия напрямую зависит от экспорта нефти, так как это является основным источником дохода. И имеет все возможности, чтобы продолжать развитие нефтяной промышленности, так как обладает огромными запасами нефти. Сырьевые базы страны реализованы менее чем наполовину, таким образом позволяя в течение длительного времени укреплять и развивать нефтяную промышленность, ориентируясь на природные ресурсы страны.

За последние пять лет добыча нефти с каждым годом увеличивается. Но в 2020 году в период пандемии сложились новые условия, в которых мир начал строить другие модели, отличающиеся от прежних. Экономические

показатели, опубликованные за последние месяцы, весьма пессимистичны. Обвал цен на финансовом рынке повлек за собой банкротства многих малых и средних компаний. Но в связи с уменьшением объемов добычи, цена восстановилась до 40 долларов за баррель. Способы производства, а также потребление различных видов энергии напрямую зависят от цены на нефть – достаточно простого и универсального показателя экономического восстановления. При рассмотренных тенденциях и проблемах главным приоритетом для большинства руководителей нефтедобывающих компаний остается Китай, который был и остается основным потребителем ископаемого топлива и оказывает влияние на развитие всей отрасли.

Велика доля вклада России в мировом балансе топливно-энергетических ресурсов, около 10% по разведанным запасам нефти. Для России, как и для большинства стран-экспортеров, нефть — один из важнейших источников дохода.

Сырьевые базы некоторых экономических районов. Россия относится к немногим странам мира, имеющим возможность в течение длительного времени развивать крупномасштабную нефтяную промышленность, полностью ориентируясь на собственные природные ресурсы. Хотя из ее недр уже извлечено свыше 14 млрд. т. нефти, Россия и сегодня находится в числе крупнейших производителей и экспортеров нефти. Нефтяной потенциал России реализован менее чем наполовину и сохраняются значительные резервы для обеспечения долгосрочных потребностей промышленности.

По прогнозам, спрос в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) будет увеличиваться, в то время как Старый свет уменьшит потребление энергоресурсов. Российские компании заинтересованы в экспорте азиатским странам. Российскую экспансию в страны АТР возглавила компания «Роснефть». Ожидается рост потребления нефти к 2040 году до 106,3 млн баррелей в сутки – по прогнозу Международного энергетического агентства. Что на 11,5 млн баррелей больше, чем в 2017 г. В европейских странах и США спрос будет сокращен.

Азиатские страны взяли лидерство по темпу прироста ВВП и спроса на нефть. По данным консалтинговой компании Wood Mackenzie Индия и Китай в 2018 г. обеспечили прирост мирового спроса на 40%.

Россия является крупнейшим поставщиком нефти в Китае в течении последних пяти лет. С каждым годом по данным китайской таможенной статистики поставки российской нефти увеличиваются, по сей день Россия продолжает наращивать поставки нефти и в мировом рейтинге крупнейших поставщиков занимает второе место после Саудовской Аравии.

Фонтанный способ добычи действует, как правило в начале разработки месторождения нефти. Позднее, с уменьшением фонтанирования, скважину переоборудуют на эрлифтный, газлифтный или глубинонасосный способ добычи.

Газлифтный способ (Рис.1) представляет собой механизированный способ добычи нефти, при котором вводится дополнительная энергия в виде сжатого газа, который в свою очередь подводится по специальному каналу с поверхности.

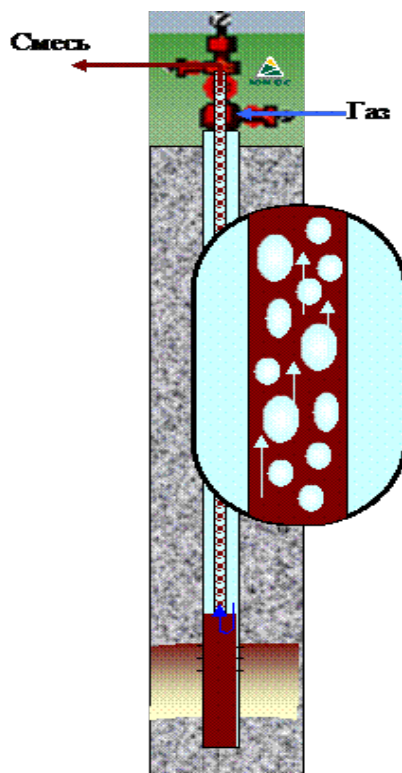


Рисунок 1 Газлифтный метод добычи нефти

Основным способом в настоящее время является глубинонасосный при помощи центробежного или штангового, газопоршневого или винтового насосов .

Установка электроцентробежного насоса (УЭЦН) – это комплекс оборудования, представляющий собой насосный агрегат, предназначенный для механизированной добычи нефти через скважины с помощью насоса, соединенного непосредственно с погружным электродвигателем. УЭЦН (Рис. 2) в качестве использования в нефтяных скважинах включает в себя: асинхронный двигатель со специальным диэлектрическим маслом внутри; центробежный насос; предохраняющий от попадания пласта полость электродвигателя протектор; кабельную линию, предназначенную для соединения электродвигателя с трансформатором и станцией управления.



Рисунок 2 Электроцентробежная насосная установка

Штанговая насосная установка – это комплекс оборудования, служащий для механизированной добычи нефти с помощью скважинного насоса через скважины. Насос приводится в действие станком–качалкой. Штанговый насос, схема которого представлен на рис. 3, погружается ниже уровня воды в скважине и состоит из: плунжера; цилиндра; клапанов нагнетательных и всасывающих; плунжер погружается на колонне штанг в насосно–компрессорных трубах, а цилиндр, соединенный со штангой, опускается на колонне лифтовых труб и закрепляется на опоре, которая установлена на пакере или конце НКТ; штанговый насос, имеющий большой диаметр, опускается на колонне НКТ, затем через сцепное устройство соединяется с колонной штанг.

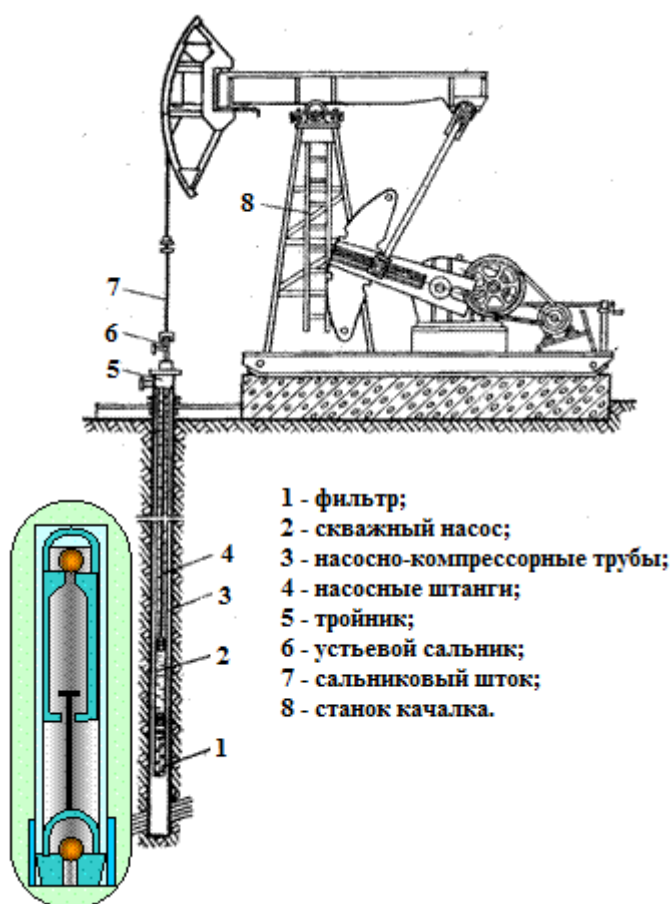


Рисунок 3 Схема глубиннонасосной установки

Добыча нефти осложняется наличием песка в недрах земли, кроме того, неизбежны парафиновые и солевые отложения в затрубном пространстве, от которых необходимо избавляться.

Осаждение воска является одной из наиболее сложных проблем обеспечения потока в процессе добычи нефти. Связанные с этим проблемы затрагивают как небольшие резервуары, так и крупные нефтеперерабатывающие заводы, а их последствия могут быть особенно сложными. Осаждение воска в областях, примыкающих к НКТ, поверхности отверстия, колонне труб и насосу, является результатом охлаждающего эффекта, который возникает, когда масло попадает из резервуара высокого давления в ствол скважины. Во время сброса давления масло расширяется, а затем остывает. Снижение температуры вызывает кристаллизацию воска и последующую закупорку скважины.

Нефть находится на глубине 2-3 км в жидком состоянии с температурой около 80–100°C. При подъеме на поверхность происходит постепенное остывание нефти. На определенной глубине, где температура соответствует температуре кристаллизации парафинов, образующиеся кристаллы откладываются на внутренней поверхности труб. Таким образом создается дополнительное сопротивление течению и может образоваться пробка в трубе. Диапазон температуры для кристаллизации парафинов составляет от +55 °C до +60 °C и зависит преимущественно от концентрации парафина в нефти (с повышением содержания парафинов увеличивается температура кристаллизации).

Динамика работы парафинсодержащих скважин имеет закономерность, приведенную на (рис. 4).

Развитие технологии и техники борьбы с парафинообразованием (депарафинизация) имеет длительную историю.

Сегодня, как и много десятилетий тому назад, в арсенале нефтяников преобладают следующие методы депарафинизации: тепловые, физические, химические, механические и применение покрытий.

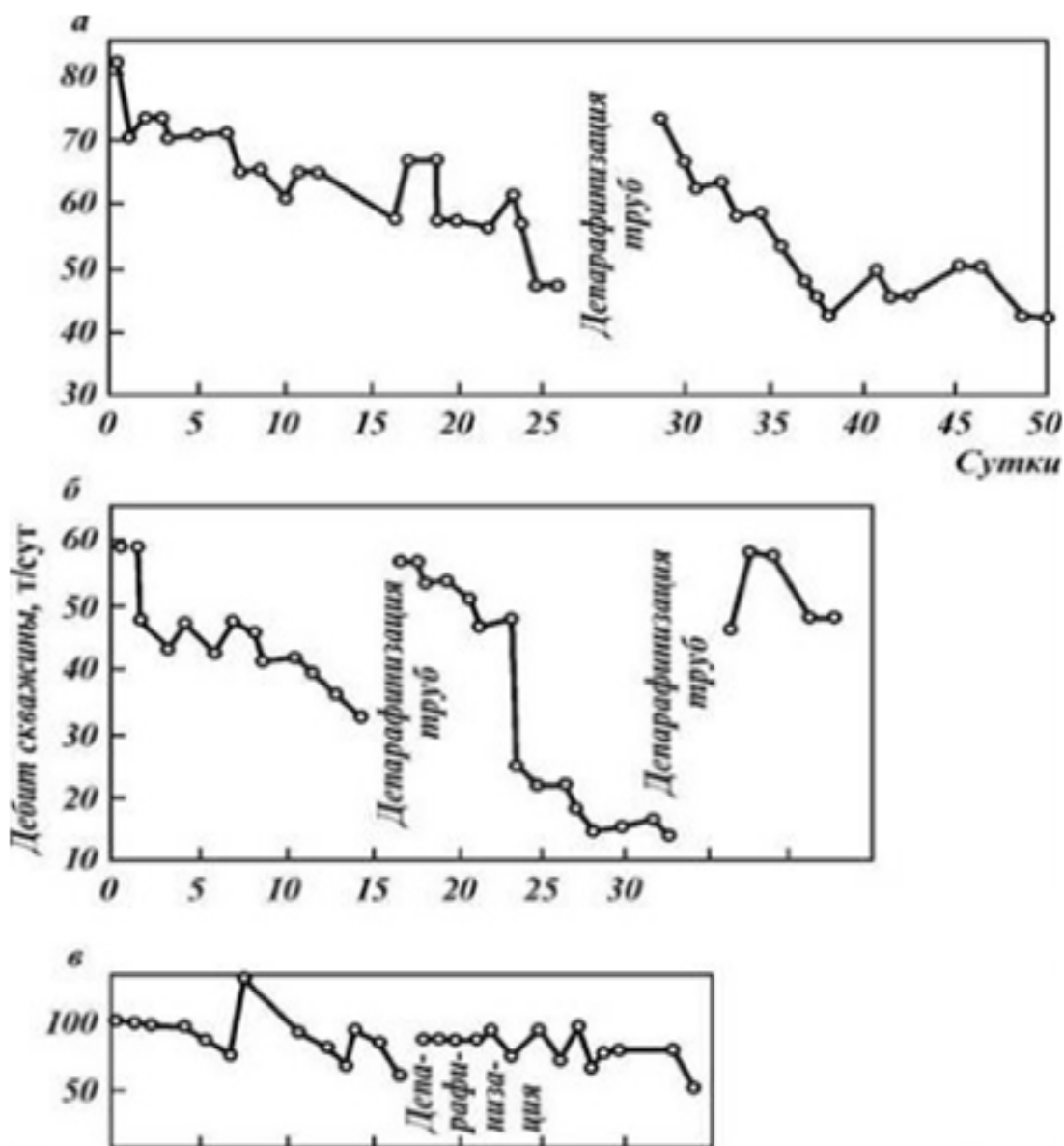


Рисунок 4 Графики падения производительности парафинсодержащих скважин в процессе эксплуатации

- Тепловые методы

Данный метод увеличения продуктивности скважин и интенсивности потока нефти основан на повышении температуры в скважине искусственно. Применяется в основном при добыче высоковязкой парафинистой нефти. Разжижение нефти, смолистых веществ, а также расплавление парафина.

Тепловая обработка осуществляется с помощью закаченного в пласт нагретого теплоносителя, которым может служить вода, нефть, керосин и др.

Данный метод подразумевает нагрев теплоносителя в котельных мобильных установках и подачу в скважину посредством прямой или обратной промывки. Также существует стационарная теплообработка, которая осуществляется с помощью нагревателя, установленного в промежутке пласта вместе с оборудованием. Нагревательная установка работает по заданному режиму или непрерывно. Метод термообработки скважины является распространенным, но неинтенсивным для ликвидации отложений на больших глубинах и энергозатратным. Чтобы нагреть достаточное количество теплоносителя (до нескольких десятков кубометров) необходима электроэнергия равная 58,59 кВт*час. А также этот способ может вызвать повреждение пласта.

- Электродепарафинизация

Применение электричества для депарафинизации имеет давнюю историю, когда на Сахалинских промыслах, а затем в НГДУ "Туймазанефть" на НКТ подавался электрический ток напряжением 2000-6000 В.

Одной из разновидностей технологии депарафинизации является применение устройств, располагаемых в области интенсивного парафинообразования. Конструкция первых нагревателей (рис. 5) включала обмотку 2, сердечник 3, подвижной контакт 1, присоединительные клеммы 4 и 5, электроисточник 6. Здесь сердечником служит колонна насосно-компрессорных труб. Подача напряжения осуществляется на индукционную катушку по обсадной колонне, а на сердечник по НКТ. Условием работы схемы является обеспечение надежной изоляции НКТ от обсадной колонны. Это достигается применением центраторов, выполненных из электроизоляционного материала. Развитием этого вида электродепарафинизации являются разработанные в ТатНИПИнефть индукционные нагреватели, электропитание которых осуществляется по кабелю. Это обеспечивает более высокую надежность и безопасность конструкции.

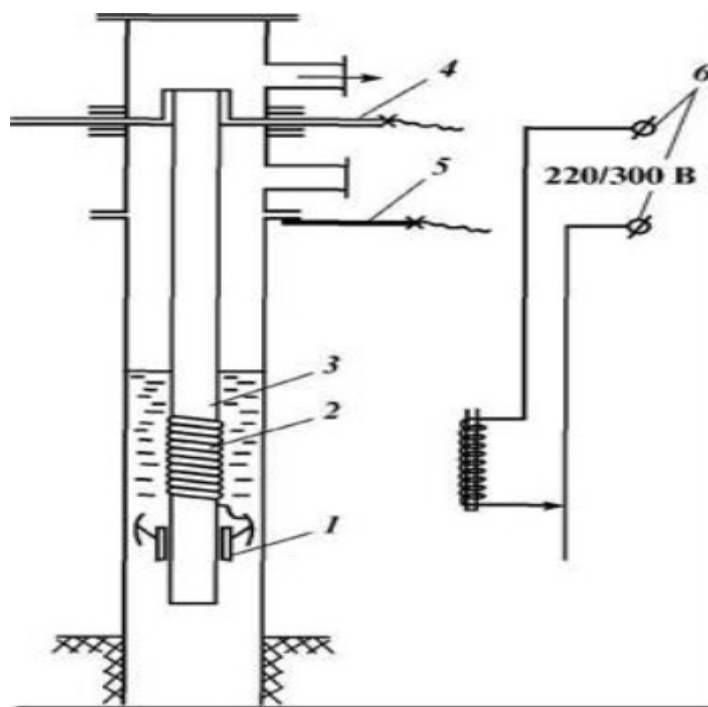


Рисунок 5. Схема оборудования скважины и электрическая схема цепи при депарафинизации с применением индукционной электропечи

Несмотря на некоторые положительные стороны электродепарафинизации, она получила ограниченное применение вследствие непродолжительного эффекта от воздействия и ненадежности серийных конструкций, делающих их эксплуатацию опасной для персонала.

- Физические методы

Методы, относящиеся к физическим, основываются на применении электрических, магнитных, электромагнитных полей, механических и ультразвуковых колебаний. К наиболее перспективным из методов следует отнести воздействие переменных электромагнитных полей на парафиносодержащую нефть. В результате лабораторных и промысловых исследований установлено, что при обработке нефти электромагнитным полем степень парафинизации трубопроводов значительно уменьшается. Степень воздействия поля на интенсивность образования отложений зависит от физико-химических свойств, состава нефти, интенсивности поля и режима обработки нефтяного потока полем. Как известно, нефть представляет собой

смесь веществ, обладающих различным характером и значением магнитной восприимчивости, а также электрической поляризуемости. При обработке нефтяного потока полем образуются дополнительные центры кристаллизации парафина по всему объему нефтяного потока. Кристаллы растут не на стенках оборудования, а в объеме нефти, что и уменьшает интенсивность накопления АСПО в оборудовании. В настоящее время в связи с трудностями приобретения химических реагентов и специального оборудования наиболее перспективными являются устройства, предотвращающие образование АСПО, на основе постоянных магнитов, которые не требуют ни химических реагентов, ни электроэнергии. Они представляют собой трубы НКТ с внешним кожухом, в котором размещаются магниты. Данная технология предполагает размещение таких устройств на каждой скважине, что не всегда является целесообразным. Кроме этого для получения гарантированного эффекта необходимо использовать высококоэрцитивные магниты, что влечёт за собой высокую стоимость.

- Химические методы

Метод, основанный на использовании специальных химических реагентов. Такой способ является действенным и эффективным, так как позволяет очищать оборудование в труднодоступных местах.

Реагенты можно разделить на две большие группы – растворители и ингибиторы. Применение нашли оба метода и часто дополняют друг друга на практике.

Для предотвращения образования отложений применяются реагенты, дозированный в нефтяную эмульсию. Таким образом парафинистые отложения уменьшаются или полностью предотвращаются. В основе действия реагентов-ингибиторов лежит процесс абсорбции, который происходит на границе раздела между твердой поверхностью и жидкой фазой. Реагенты подразделяются на модификаторы, смачивающие, депрессаторы и диспергаторы, каждый из перечисленных отвечает за определенную функцию. Модификаторы ослабляют процесс укрупнения кристаллов парафина.

Смачивающие образуют гидрофильную пленку, которая препятствует адгезии на поверхности труб кристаллов парафина, таким образом создавая условия для их выноса потоком жидкости. Диспергаторы способствуют увеличению теплопроводности нефти, и значит замедляют процесс кристаллизации отложений. Депрессаторы затрудняют способность молекул парафина к накоплению, абсорбируясь на них

Химический метод зарекомендовал себя как эффективный способ очистки, несмотря на высокую стоимость специального оборудования и реагентов.

- Механические методы

Этот способ предполагает очистку образовавшихся отложений. Для данной цели разработана целый спектор скребков различной конструкции.

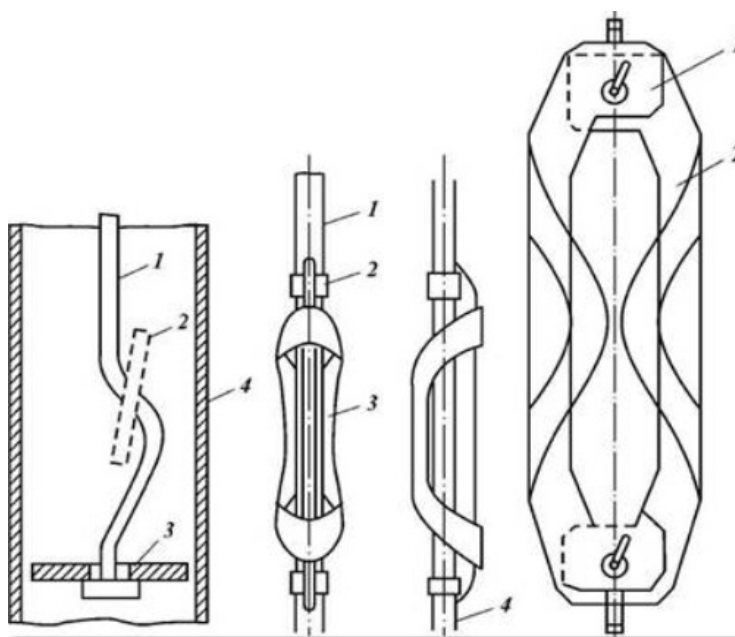


Рисунок 6 – Виды скребков

Одним из первых нашедших применение было скребковое устройство, состоящее из изогнутой штанги и скользящего по ней ножа-диска (рис. 6). Устройство опускалось в скважину на штангах или канате. В начале спуска нож поднимался до изогнутой части штанги и занимал в ней вертикальное положение. Это обеспечивало свободный пропуск его в скважину. При подъеме диск опускался вниз и занимал горизонтальное положение, очищая со стенок НКТ АСПО.

Скребки с боковой режущей частью первоначально оснащались боковыми ножами постоянного сечения и по идее изобретателей должны были срезать парафин при движении скребка вниз и вверх. Скребки часто застревали, проволока, на которой они опускались, обрывалась, что создавало массу осложнений и заканчивалось подъемом труб [5].

Как видно из анализа существующих методов и устройств для очистки НКТ, что представленные методы имеют ряд недостатков. Поэтому разработка новых технологий и устройств, предназначенных для эффективной очистки НКТ от асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) является актуальной. Одним из перспективных методов очистки НКТ является применение устройств вибрационного типа. Предпосылками эффективного использования данных устройств являются: эффект разжижения АСПО при воздействии на них вибрации; отсутствие практической вероятности заклинивания прибора при движении по НКТ. Основными требованиями, которым должны удовлетворять разрабатываемые устройства можно сформулировать следующим образом:

- диаметр устройства должен быть менее внутреннего диаметра НКТ для свободного прохождения;
- рабочие органы устройства должны быть распределены по всей его длине;
- электропитание должно обеспечивать подачу напряжения переменной частоты.

Учитывая экспериментальный характер проводимых работ, значительный практический интерес представляет разработка методик расчёта данных устройств с учётом вышеизложенных требований.

Целью работы является разработка скважинного прибора, предназначенного для вибромеханической очистки насосно-компрессорных труб нефтяных скважин.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструкцию прибора на базе технологии ВСМА
2. Определить основные электрические и механические параметры
3. Разработать математическую модель прибора
4. Провести анализ режимов работы прибора

1. ОБОРУДОВАНИЕ ВИБРОСТРУЙНОЙ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ (ВСМА) ДЛЯ ОТЧИСТКИ НКТ

1.1 Основы технологии ВСМА

Основы технологии и оборудования ВСМА были разработаны в Томском политехническом институте (университете) в 90-х годах прошлого столетия в рамках выполнения госбюджетной научно-исследовательской работы «Разработка основ резонансно-колебательного преобразования энергии». Одной из возможных областей применения разработанных электромеханических резонансных преобразователей явилась нефтегазовая отрасль, использующая во многих технологических процессах сложные жидкие системы, обладающие тиксотропными свойствами. Особенность тиксотропии заключается в том, что под воздействием многокомпонентного физического воздействия некоторые жидкости в значительной степени способны менять свои реологические свойства, в частности вязкость. К таким жидкостям относится нефть и некоторые нефтепродукты.

Многокомпонентное физическое воздействие оборудования ВСМА характеризуется факторами, приведенными в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Физическое воздействие	Параметр	Значение параметра
1. Сдвиговое воздействие	- скорость сдвига слоёв, с^{-1}	до $15 \cdot 10^3$
2. Высокочастотное воздействие	- затопленные струи, м/с	до 20
	- ускорение рабочего органа, м/с^2	до 1000
3. Импульсное воздействие	- перепад давления в зоне активации, атм	до 3
4. Электромагнитное воздействие	- напряженность магнитного поля, А/м	до 10^5
5. Низкочастотные воздействия	- частота основного воздействия, Гц	50
	- частота модуляции основного воздействия, Гц	0,1-10

Для получения таких значений воздействующих факторов необходимо обеспечивать колебания рабочего органа устройства ВСМА с достаточно

высокими амплитудами до 6 мм. Очевидно, что такие значения амплитуд колебаний рабочего органа можно достичь, работая в зоне близкой к резонансу. Резонансная частота вынужденных колебаний при работе в вязкой среде может быть определена по выражению:

$$\omega_p = \sqrt{(\omega_0^2 - \frac{R_{mex}^2}{2J_{\Sigma}^2})}, \quad (1.1)$$

где: ω_p – резонансная частота вынужденных колебаний;

ω_0 – частота собственных колебаний;

R_{mex} – сопротивление колебаниям;

J_{Σ} – суммарный момент инерции.

Частота собственных колебаний системы определяется по выражению:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{J_{\Sigma}}}, \quad (1.2)$$

где: q – жёсткость крутильных колебаний.

Учитывая, что основная частота промышленной сети равна 50 Гц, следует выбирать такие параметры колебательной системы, которые бы обеспечивали резонанс вынужденных колебаний ЭМП в зоне указанной частоты. Если предположить, что собственная частота колебательной системы находится в диапазоне значений от 60 до 65 Гц, тогда резонансная частота колебательной системы с учётом механических потерь может находиться в пределах значений, близких к 50 Гц.

Учитывая резонансный характер работы устройств ВСМА, основной задачей предварительного этапа конструирования является выбор (расчёт) параметров колебательной системы.

1.2 Блок виброобработки устройства для очистки НКТ

Достаточно многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что основными элементами блока виброобработки являются:

- электромагнит, состоящий из сердечника и обмоток;
- рабочий орган (активатор), выполняющий роль якоря ЭМП;

- пружинный узел, состоящий из двух пружин;
- система рычагов, обеспечивающая колебательный режим работы ЭМП.

Габаритные размеры электромагнита определяются условиями эксплуатации (производительностью, размерами эксплуатационного пространства, ограничениями, определяющими конструктивную реализацию резонансного режима работы ЭМП).

Из условий получения резонансного режима работы устройств ВСМА установлено, что площадь рабочего органа (активатора) не должна превышать 120 см^2 , при такой площади колеблющегося элемента конструктивно и технологически возможно изготовление соответствующего пружинного узла, обеспечивающего требующуюся жёсткость и достаточный срок службы.

Для обеспечения функций зачистки внутренней поверхности НКТ активатор должен иметь размеры, близкие к внутреннему диаметру НКТ. В рассматриваемом случае внутренний диаметр НКТ равен 59 мм

Вынужденные колебания, возбуждаемые электромагнитной силой достаточной величины, обеспечивающие требуемые эксплуатационные характеристики, должны совершаться с амплитудами колебаний до 6-7 мм. При амплитудах колебаний выше указанного диапазона не удаётся получить достаточную по величине силу электромагнитного притяжения при имеющихся габаритах электромагнита.

Принимая во внимание вышеуказанные рекомендации по конструированию блока виброобработки, отдельный блок устройства ВСМА выглядит, как показано на рис.1.1.

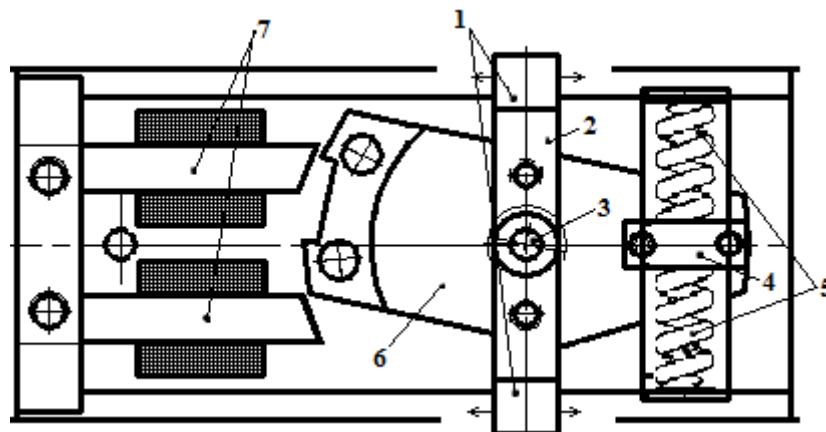


Рисунок 1.1 – Конструкция блока виброобработки

Активатор (1) закрепленный на рычаге (2) совершает колебания вокруг оси (3). Рычаг (4) меньшей величины закрепленный на основной пластине (6) с обеих сторон опирается на пружинный узел. Пружинный узел состоит из двух цилиндрических пружин (5). Габариты активатора (его диаметр), являющегося якорем электромеханического преобразователя (ЭМП), определяют габариты электромагнита. Предельные значения размеров сердечника электромагнита (7) определяются следующими величинами:

- поперечное сечение сердечника – 12х6 мм;
- длина сердечника – 103 мм;
- длина спинки – 25 мм.

Габариты окна сердечника электромагнита под обмотки электромагнита позволяют выполнить её со следующими параметрами:

- ширина окна - 16 мм;
- длина окна – 22 мм;
- диаметр провода – 0,2 мм;
- количество витков обмотки – 2100.

Величину зазора между якорем и сердечником электромагнита 0,5 мм. Начальный угол, равный 0,035 радиан, соответствует максимальному вращающему моменту.

Общий вид прибора приведён на Рис. 1.2

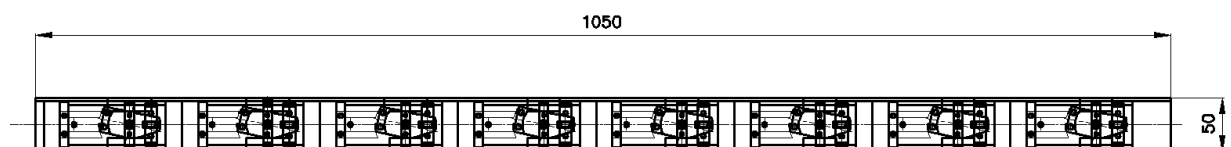


Рис. 1.2 Общий вид прибора

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ

2.1 Математическая модель механической части ЭМП и расчет ее параметров

Исходя из общих представлений теории колебаний, схему замещения механической части блока виброобработки устройства очистки НКТ можно представить, как показано на Рис.8

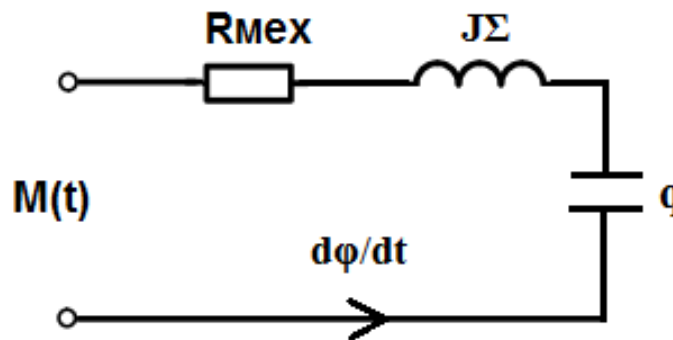


Рисунок 2.1 – Схема замещения механической системы

По аналогии с электрическими цепями на представленном рисунке:

$M(t)$ – момент вынужденных колебаний;

R_{mex} – механическое сопротивление;

J_{Σ} – суммарный момент инерции ЭМП;

q – жёсткость крутильных колебаний;

$d\phi/dt$ – скорость колебаний.

Дифференциальное уравнение, описывающее угловые колебания, для механической части электромеханического преобразователя:

$$J \cdot \frac{d^2\phi(t)}{dt^2} + b \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} + k \cdot \phi(t) = M(t). \quad (2.1)$$

Здесь J_{Σ} – суммарный момент инерции подвижных элементов; b – коэффициент демпфирования; k – коэффициент жесткости.

Расчет параметров механической части проведём при условии обеспечения резонанса вынужденных колебаний при работе ЭМП на

завершающем этапе зачистки с минимальным механическим сопротивлением на частоте 50 Гц.

Суммарный момент инерции колебательной системы определяется следующими слагаемыми: момент инерции пластины, момент инерции рычага, момент инерции присоединенной массы:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{рычага}} + J_{\text{ст.пл.}} + J_{\text{прис.массы.}} \quad (2.2)$$

Для определения момента инерции подвижных элементов ЭМП необходимо определить массу каждого элемента. Массу отдельных элементов ЭМП определяем, исходя из имеющихся геометрических размеров с учётом плотности применяемых материалов. Подвижную систему ЭМП образуют: активатор, рабочий зачиститель, основание на котором крепятся активатор и зачиститель. Зачиститель состоит из параллелепипеда и двух сегментов, закрепленных на противоположенных концах параллелепипеда.

Объем рычага без учета отверстий:

$$V_{\text{рыч}} = a \cdot b \cdot l \quad (2.3)$$

где a – ширина рычага, м;

b – высота рычага, м;

l – длина рычага, м

$$V_{\text{рыч}} = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 384 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Объем отверстий:

$$\sum V_{\text{отв}} = \pi \cdot r^2 \cdot b \quad (2.4)$$

где r – радиус отверстий, м.

$$\sum V_{\text{отв}} = 2 \cdot (3,14 \cdot 0,00165^2 \cdot 0,012) + 3,14 \cdot 0,0023^2 \cdot 0,012 = 404,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Объем рычага с учетом отверстий :

$$V_{\text{рыч.чист.}} = V_{\text{рыч.}} - \sum V_{\text{отв.}} \quad (2.5)$$

$$V_{\text{рыч.чист.}} = 0,00000384 - 0,0000004045 = 343,55 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Масса рычага:

$$m_p = V_{\text{рыч.чист.}} \cdot \rho_{\text{ст.3}} \quad (2.6)$$

где $\rho_{ст.3} = 7850 \text{ кг/м}^3$ – объемная плотность стали 3

$$m_p = 0,0000034355 \cdot 7850 = 0,027 \text{ кг.}$$

Момент инерции рычага [9]:

$$J = \frac{1}{3} m_p \cdot l^2 \quad (2.7)$$

$$J = \frac{1}{3} 0,027 \cdot 0,04^2 = 0,00108 \text{ кг/м}^2.$$

Стопорная пластина по конфигурации похожа на сегмент цилиндра.

Объем цилиндра с наружным радиусом:

$$V_{ц.Р} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2.8)$$

где h – ширина пластины, м.

$$V_{ц.Р} = 3,14 \cdot 0,0275^2 \cdot 0,002 = 447,925 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Объем цилиндра с внутренним радиусом:

$$V_{ц.р} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2.9)$$

$$V_{ц.р} = 3,14 \cdot 0,0195^2 \cdot 0,002 = 238,797 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Вычтем из объема цилиндра $V_{ц.Р}$ объем цилиндра $V_{ц.р}$ и получим объем фигуры, ограниченной радиусами внутренним и внешним.

$$V_{\phi} = V_{ц.Р} - V_{ц.р} \text{ м}^3. \quad (2.10)$$

$$V_{\phi} = 447,925 \cdot 10^{-8} - 238,797 \cdot 10^{-8} = 238,797 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Длина сегмента по среднему радиусу окружности:

$$l_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (2.11)$$

$$l_{\phi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0235 = 0,14758 \text{ м.}$$

Находим объем сегмента:

$$V_{\text{пласт.}} = \frac{l_{\text{сегм.}} \cdot V_{\phi}}{l_{\phi}} \quad (2.12)$$

$$V_{\text{пласт.}} = \frac{0,024 \cdot 0,00000236128}{0,14758} = 384 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Масса пластины:

$$m_{\text{пласт.}} = V_{\text{пласт.}} \cdot \rho_{\text{ст.3}} \quad (2.13)$$

$$m_{\text{пласт.}} = 0,000000384 \cdot 7850 = 0,0030144 \text{ кг.}$$

Момент инерции пластины:

$$J_{\text{пласт.}} = m_{\text{пласт.}} \cdot l^2 \quad (2.14)$$

$$J_{\text{пласт.}} = 0,0030144 \cdot 0,024^2 = 0,00007 \text{ кг/м}^2.$$

Момент инерции присоединённой массы:

$$J_{\text{пр.массы.}} = m_{\text{пр.}} \cdot R_{\text{пр.}}^2, \quad (2.15)$$

Масса присоединенной массы:

$$m_{\text{пр.}} = V_{\text{пр.}} \cdot \rho_{\text{ст.3}} \quad (2.16)$$

$$m_{\text{пласт.}} = 0,0000000135648 \cdot 0,85 = 115,3 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$$

$$J_{\text{пр.массы.}} = 115,3 \cdot 10^{-13} \cdot 0,00175^2 = 3,53 \cdot 10^{-17}$$

Суммарный момент инерции:

$$\sum J = J_p + J_{\text{пласт.}} + J_{\text{пр.массы.}} \quad (2.17)$$

$$\sum J = 0,00108 + 0,00007 + 115,3 \cdot 10^{-17} = 0,0011 \text{ кг/м}^2.$$

Коэффициент жесткости определяем из условия допущения величины частоты собственных колебаний, равной 55 Гц:

$$k = J_{\sum} \cdot \omega_0^2 = 0,011 \cdot 345,5752^2 = 131 \quad (2.18)$$

где $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 55 = 345,5752 \text{ рад/с}$ – угловая частота собственных колебаний механической части ЭМП.

Коэффициент демпфирования:

$$b = J_{\sum} \cdot \sqrt{2(\omega_0^2 - \omega_p^2)} \quad (2.19)$$

где $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 222 \text{ рад/с}$ – угловая резонансная частота ЭМП.

$$b = 0,0011 \cdot \sqrt{345,5752^2 - 222^2} = 1,58$$

2.2 Математическая модель электрической части ЭМП и расчеты ее параметров

Электрическая часть ЭМП представляет собой один электрический контур, включающий в себя две последовательно включенные катушки, которые подключаются к электрической сети через диод. Схема замещения электрической части ЭМП представлена на рисунке ().

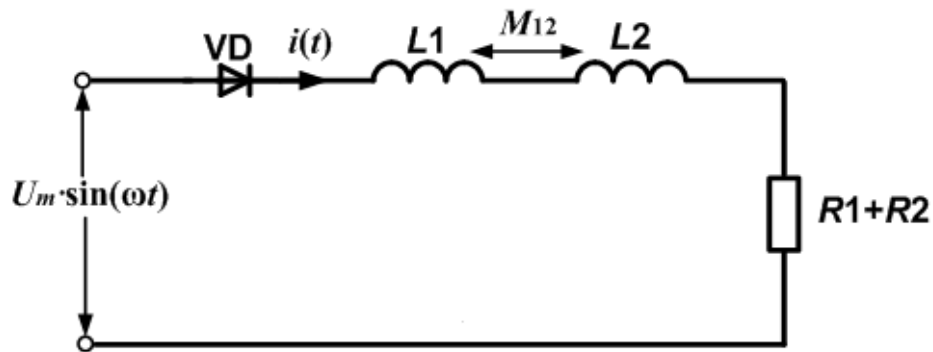


Рисунок 2.2 – Схема замещения электрической части ЭМП

На схеме L_1, L_2 – индуктивности катушек; R_1, R_2 – активные сопротивления катушек; M_{12} – взаимная индуктивность между катушками; Определим параметры электрической системы ЭМП.

Активные сопротивления катушек:

$$R_1 = R_2 = \rho_{\text{мед.}} \cdot \frac{l}{S}, \text{ Ом.} \quad (2.20)$$

Длина намотки:

$$l = W \cdot l_{\text{ср.}} \quad (2.21)$$

где $W = 2100$ число витков катушки;

$l_{\text{ср.}}$ – средняя длина витка намотки, м.

$$l = 2100 \cdot 0,058 = 121,8 \text{ м}$$

Площадь сечения провода:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (2.22)$$

где $d = 0,2$ мм – диаметр провода.

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314, \text{ мм}^2$$

Электрическое сопротивление катушек

$$R_1 = R_2 = 0,0175 \cdot \frac{121,8}{0,0314} = 62 \text{ Ом.}$$

Индуктивности катушек [9]:

$$L_1 = L_2 = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_m}{\frac{p \cdot \alpha \cdot \mu_c}{\sigma} + l_m} \text{ Гн}, \quad (2.23)$$

где $l_m = 0,103$ м – длина магнитопровода;
 $S_m = a \cdot z = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения сердечника;
 a – длина сердечника;
 z – ширина сердечника;
 $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;
 $\mu_c \approx 700$ – относительная магнитная проницаемость стали;
 $p = 0,047$ плечо работающего органа;
 $\alpha = 2^0 = 0,035$ рад. начальный угол;
 $\sigma = 1,5$ коэффициент рассеивания в зазоре.

$$L_1 = L_2 = \frac{2100^2 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 700 \cdot 7,2 \cdot 10^{-5}}{\frac{0,047 \cdot 0,035 \cdot 8,75 \cdot 10^{-4}}{1,5} + 0,103} = 0,32 \text{ Гн},$$

Взаимоиндуктивность катушек [9] :

$$M_{1;2} = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_m}{p \cdot \alpha \cdot \mu_c + l_m} \text{ Гн}, \quad (2.24)$$

$$M_{1;2} = \frac{2100^2 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 700 \cdot 7,2 \cdot 10^{-5}}{0,047 \cdot 0,035 \cdot 8,75 \cdot 10^{-4} + 0,103} = 0,22 \text{ Гн},$$

Запишем уравнения для контуров, учитывая согласное включение катушек:

$$U(t) = (R_1 + R_2) \cdot i(t) + \frac{d\psi}{dt} \quad (2.25)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{d \sum [(i_i \cdot L_i) \cdot M_i]}{dt} = \frac{d(i \cdot L_1)}{dt} + \frac{d(i \cdot L_2)}{dt} + \frac{diM_{1;2}}{dt} + \frac{diM_{1;2}}{dt};$$

2.3 Магнитная система ЭМП и расчет ее параметров

Магнитную систему ЭМП образуют П-образный сердечник и якорь.

Учитывая, что при повороте якоря, происходит изменение площади

перекрытия полюсов сердечника и якоря, переменным в данной системе будет магнитные сопротивления воздушных зазоров под каждым полюсом.

Схема замещения магнитной цепи ЭМП приведена на рисунке 2.4.1.

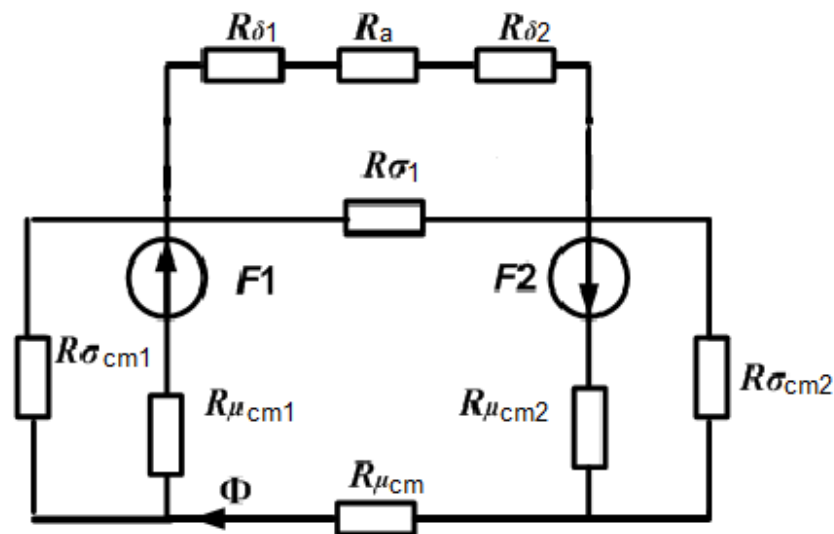


Рисунок 2.3 – Схема замещения магнитной цепи ЭМП

Рассчитаем величины магнитных сопротивлений магнитопроводящих участков по формуле:

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S}, \quad (2.26)$$

Где l – длина участка магнитопровода;

S – площадь поперечного сечения участка магнитопровода.

Магнитное сопротивление спинки магнитопровода

$$R_{\mu_{cm}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 700 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 3,95 \cdot 10^5 \text{ Ом};$$

Магнитное сопротивление спинки магнитопровода

$$R_{\mu_{cm1;2}} = \frac{30,5 \cdot 10^{-3}}{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 700 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 4,82 \cdot 10^5 \text{ Ом};$$

Магнитное сопротивление якоря магнитопровода

$$R_{\mu_a} = \frac{24 \cdot 10^{-3}}{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 700 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot 17 \cdot 10^{-3}} = 9,44 \cdot 10^4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление воздушного зазора:

$$R_{\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{воздуха}} \cdot S_{\delta}} \text{ Ом} \quad (2.27)$$

где: δ - длина воздушного зазора, м;

S_{δ} - площадь сечения воздушного зазора

$$R_{\delta} = \frac{0,0005}{1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}} = 1,106 \cdot 10^6 \text{ Ом.}$$

При детальном рассмотрении геометрии магнитной цепи ЭМП можно предположить, что основная доля падения магнитного потенциала приходится на воздушные зазоры, тогда падениями магнитного потенциала на других участках магнитопровода можно пренебречь. Окончательный расчёт режимов работы, учитывая особенности подключения ЭМП через диод, будем производить, используя выражения для расчётов электромагнитов переменного тока.

Полная система дифференциальных уравнений выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\varphi}{dt} = z \\ \frac{dz}{dt} = \frac{M(t) - b \cdot z - q \cdot \varphi}{J_{\Sigma}} \\ \frac{di}{dt} = \frac{U(t) - 2 \cdot R_{1,2} - i \cdot \left(2 \cdot \frac{dL_{1,2}}{d\varphi} \cdot z + 2 \cdot \frac{dM_{1,2}}{d\varphi} \cdot z \right)}{2 \cdot L_{1,2} + 2 \cdot M_{1,2}} \end{array} \right.$$

где: $L_{1,2}$ - Индуктивности катушек, Гн;

$R_{1,2}$ - Активное сопротивление, Ом;

$M_{1,2}$ - Взаимоиндуктивность катушек, Гн;

J_{Σ} - Суммарный момент инерции, кг/м²;

3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭМП

Составленные уравнения математической модели не могут решаться аналитическим методом, а решаются численным методом, так как присутствует нелинейность. Данную систему уравнений решаем методом Рунге – Кутты. Алгоритм расчетов представлен в (приложении А).

Расчет производим при изменении следующих параметров:

R – механическое сопротивление, $\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$;

f – частота питающего напряжения, Гц;

U_m – амплитуда питающего напряжения, В;

φ_0 – начальный угол колебаний, рад.

Механические потери, сопровождаемые работу скважинного ЭМП, исходя из уравнения движения электропривода, определяется численным значением $R_{\text{мех}}$. Численные значение данного параметра, как сопротивления, определяются характеристиками и состоянием АСПО и изменяются в широких пределах. В разжиженном состоянии АСПО имеет наименьшую вязкость и соответственно, меньшее значение $R_{\text{мех}}$. В состоянии, когда АСПО находятся в качестве закристаллизованных отложений на стенках НКТ, естественно механическое сопротивление имеет максимальное значение. Причём определить его конкретное численное значение в этих условиях практически невозможно. Лабораторными экспериментами определён диапазон численных значений $R_{\text{мех}}$, равный от 0,15 до 0,25 $\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$, соответствующий области минимальных значений. Максимальное значение механического сопротивления при расчётах режимов работы ЭМП определим значениями, как минимум, на порядок выше. Важным моментом при настройке ЭМП является выбор начального угла. Экспериментально установлено, что оптимальным начальным углом расположения активатора относительно магнитопровода является угол α_0 , равный 2° .

3.1 Работа ЭП при изменении механического сопротивления

Численные значения параметров работы ЭМП при постоянной частоте питающего напряжения 50 Гц и изменении механического сопротивления приведены в таблице 4, а графиках на рис.3.1; 3.2; 3.3 и т.д.

Таблица 3.1

R _{мех}	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
α	0,05	0,03	0,017	0,0125	0,01	0,0075	0,00525	0,005	0,005	0,005
I	0,7	0,62	0,59	0,57	0,56	0,56	0,56	0,555	0,55	0,55
Z (W)	15	10	7,4	5,7	4,5	3,8	3,3	2,8	2,5	2,3
M	28	28	28	28	28	28	28	26	26	26
I ² ·R	30,38	23,833	21,582	20,143	19,443	19,443	19,443	19,0975	18,755	18,755
Z ² ·R _{мех}	45	40	32,856	25,992	20,25	17,328	15,246	12,544	11,25	10,58
U·I	154	136,4	129,8	125,4	123,2	123,2	123,2	122,1	121	121
M·Z(W)	420	280	207,2	159,6	126	106,4	92,4	72,8	65	59,8

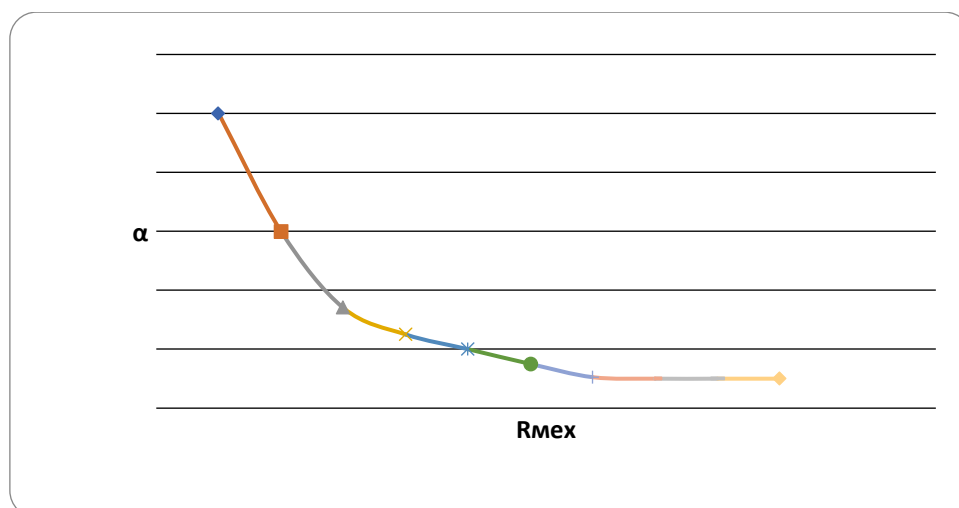


Рис. 3.1 – Зависимость амплитуды колебания от сопротивления среды при R = 60 Ом, U = 220 В, $\varphi_0 = 2^0$, f = 50 Гц.

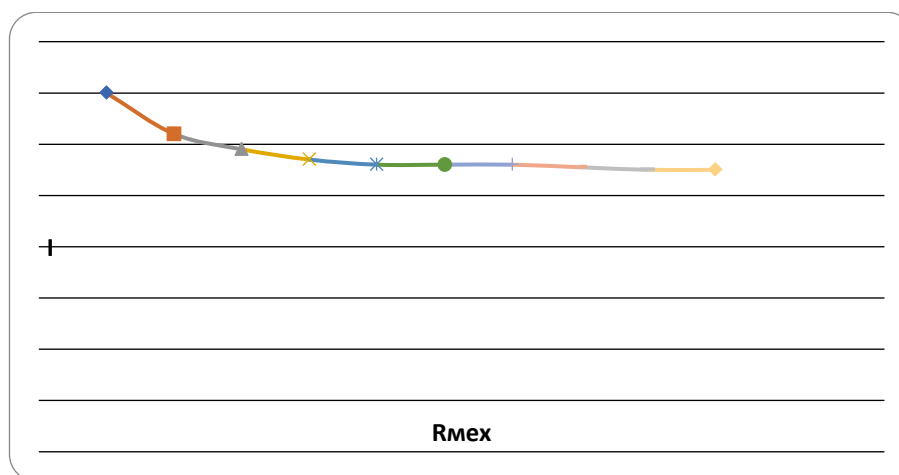


Рис.3.2 – Зависимость действующего тока от сопротивления среды при R = 62 Ом, U = 220 В, $\varphi_0 = 2^0$, f = 50 Гц.

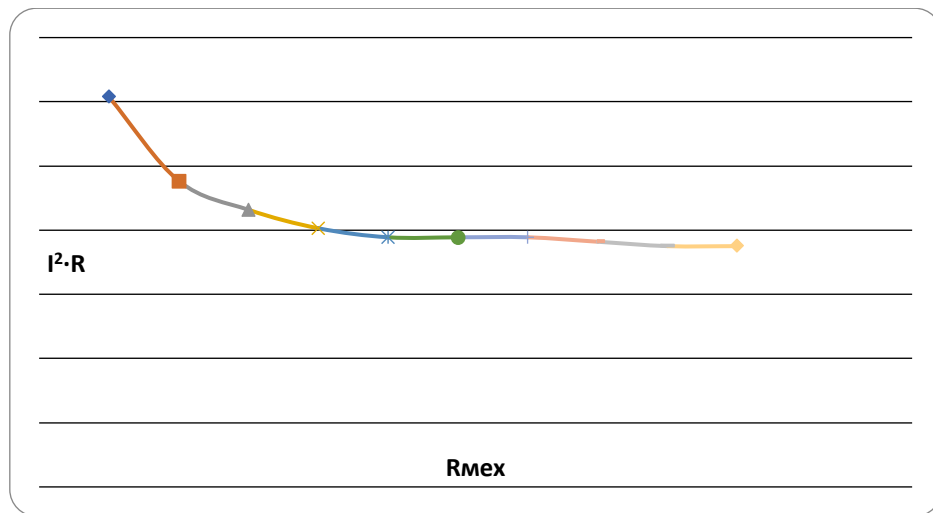


Рис. 3.3 – Зависимость электрических потерь от сопротивления среды
при $R = 62 \text{ Ом}$ $U = 220 \text{ В}$ $\varphi_0 = 2^\circ$ $f = 50 \text{ Гц}$.

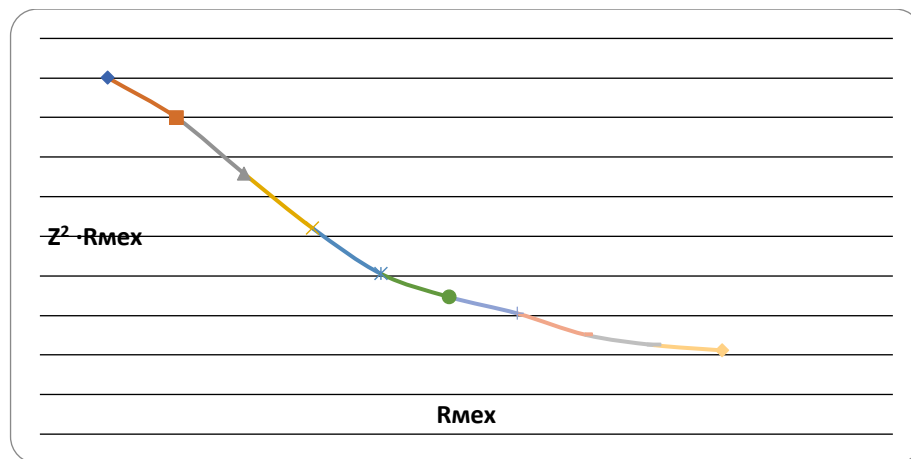


Рис. 3.4 – Зависимость механических потерь от сопротивления среды
при $R = 62 \text{ Ом}$ $U = 220 \text{ В}$ $\varphi_0 = 2^\circ$ $f = 50 \text{ Гц}$.

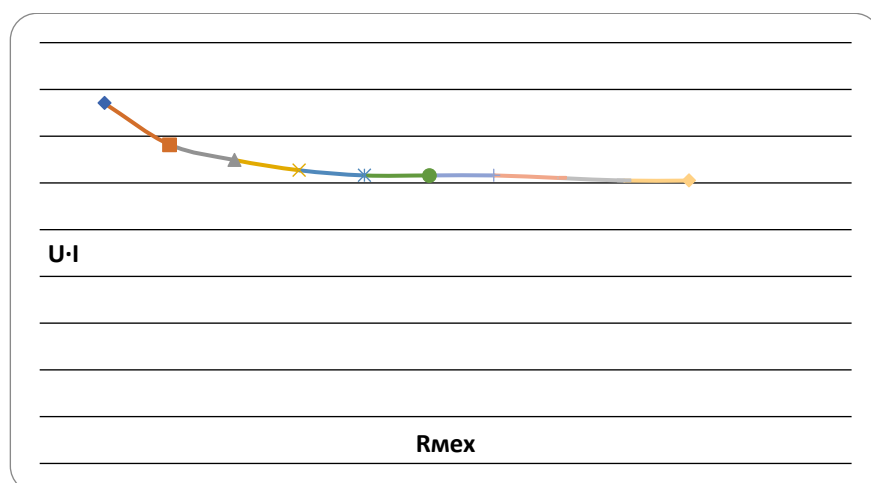


Рис. 3.5 – Зависимость электрической мощности от сопротивления
среды
при $R = 62 \text{ Ом}$ $U = 220 \text{ В}$ $\varphi_0 = 2^\circ$ $f = 50 \text{ Гц}$.

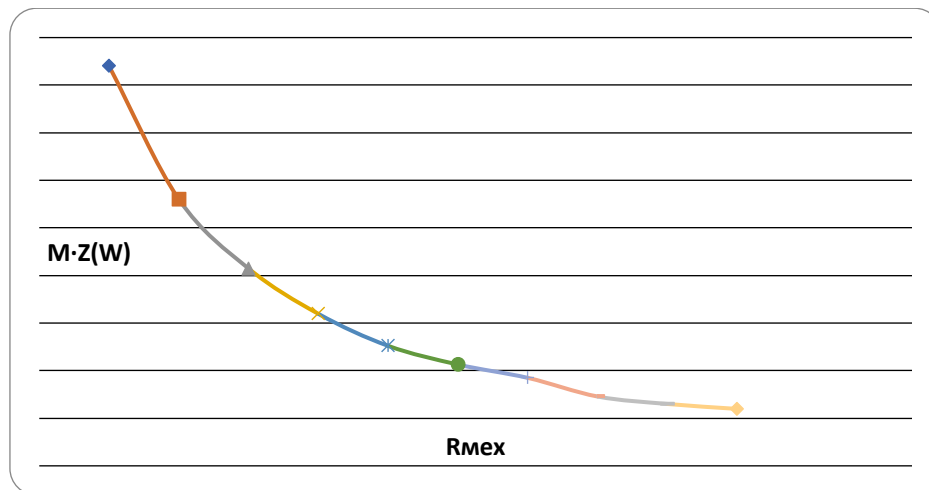


Рис. 3.6 – Зависимость механической мощности от сопротивления среды при $R = 62 \text{ Ом}$ $U = 220 \text{ В}$ $\varphi_0 = 2^\circ$ $f = 50 \text{ Гц}$.

Из графиков видно, что при увеличении механического сопротивления амплитуда колебания α рабочего органа активатора уменьшается, что является вполне закономерным. Амплитуда колебаний при минимальном значении $R_{\text{мех}}$ составляет 0,05. Верхняя кромка рабочего органа ЭМП при этом совершает линейные перемещения величиной до 2 мм, что оказывает максимальный эксплуатационный эффект (поддерживает АСПО в жидком состоянии). Работу ЭМП при данных входных параметрах можно описать следующим образом: в начальный период, когда АСПО находятся в нетекучем состоянии, ЭМП работает с минимальной амплитудой колебаний не более 0,005, по мере разжижения и снятия части АСПО со стенок НКТ сопротивление движению рабочего органа уменьшается, при этом амплитуда колебаний постепенно возрастает, что сопровождается более интенсивным разжижением и снятием остатков АСПО со стенок НКТ. Через определенное время все АСПО разжижаются и удаляются со стенок НКТ. Время за которое АСПО разжижаются в зоне работы одного модуля и удаляются со стенок НКТ составляет от 3 до 10 минут. Так же видно, что механические потери и механическая мощность уменьшаются. Это связано с тем, что колебания α рабочего органа активатора уменьшаются. Уменьшается и действующее значение тока это за собой влечет уменьшение электрических потерь и электрической мощности.

3.2 Работа ЭП при изменении частоты и напряжения питающей сети при малом механическом сопротивлении

Изменение частоты питающей сети производится для получения более качественных показателей работы прибора. Изменение частоты происходит по закону:

$$U/f = \text{const} \quad (3.1)$$

отсюда с изменением частоты напряжения также меняется и определяется по формуле:

$$U = 4.44 \cdot f \cdot B \quad (3.2)$$

При малой частоте работа активатора не эффективна, а так же не эффективна при больших частотах, поэтому мы регулируем частоту сети что бы получить наибольший эффект.

Расчет производим при наибольшем - 2,0 Кг*м²/с и наименьшем - 0,2 Кг*м²/с механическом сопротивлении. Полученные расчеты сводим в таблицу 5.

Таблица 3.2

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U	132	154	176	198	220	220	220	220	220
α	0,025	0,03	0,0363	0,0425	0,0475	0,0513	0,0475	0,0375	0,025
I	0,44	0,51	0,575	0,65	0,71	0,7	0,62	0,51	0,42
Z (W)	5,7	5,7	6,55	9,7	15	19,2	20,7	17,1	12,4
M	16	17,2	20	24	28	34	36	35,4	34
$I^2 \cdot R$	12,0032	16,1262	20,49875	26,195	31,2542	30,38	23,8328	16,1262	10,9368
$Z^2 \cdot R_{\text{мех}}$	6,498	6,498	8,5805	18,818	45	73,728	85,698	58,482	30,752
U·I	58,08	78,54	101,2	128,7	156,2	154	136,4	112,2	92,4
M·Z(W)	91,2	98,04	131	232,8	420	652,8	745,2	605,34	421,6

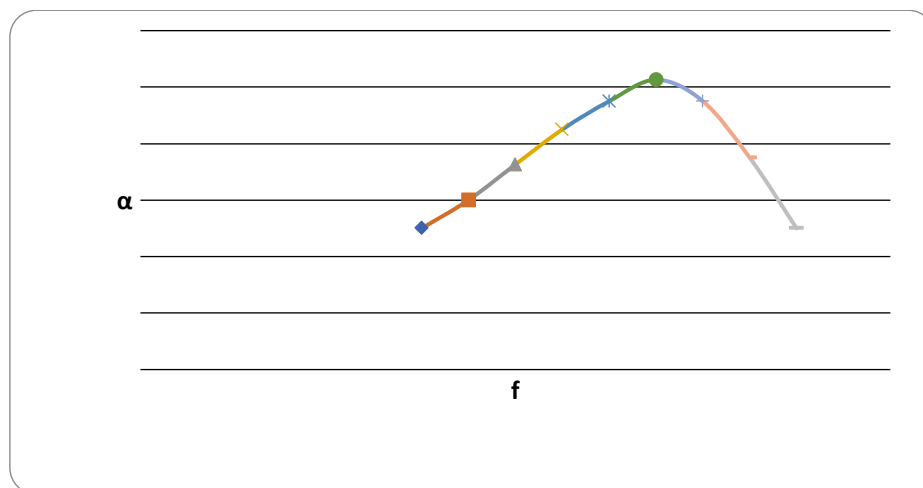


Рис. 3.7 – Зависимость амплитуды колебания от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2 R = 62 \text{ Ом}$ $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^0$.

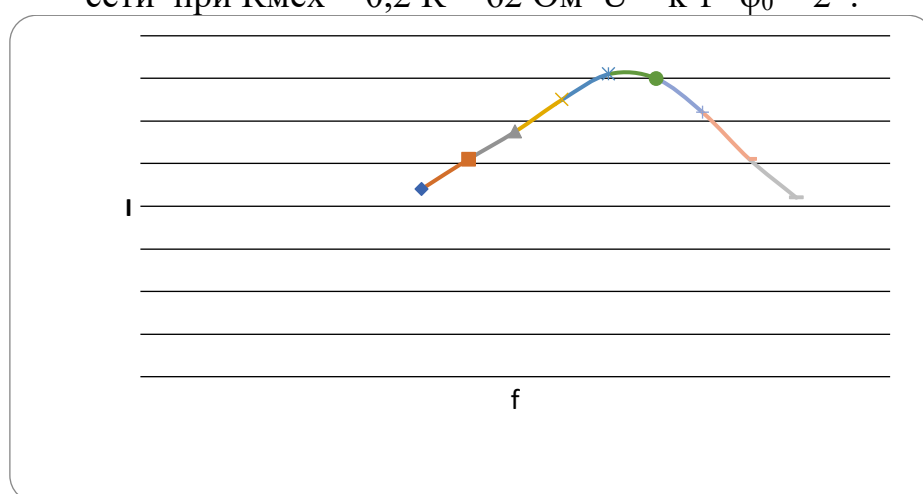


Рис. 3.8 – Зависимость действующего тока от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2 R = 62 \text{ Ом}$ $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^0$.

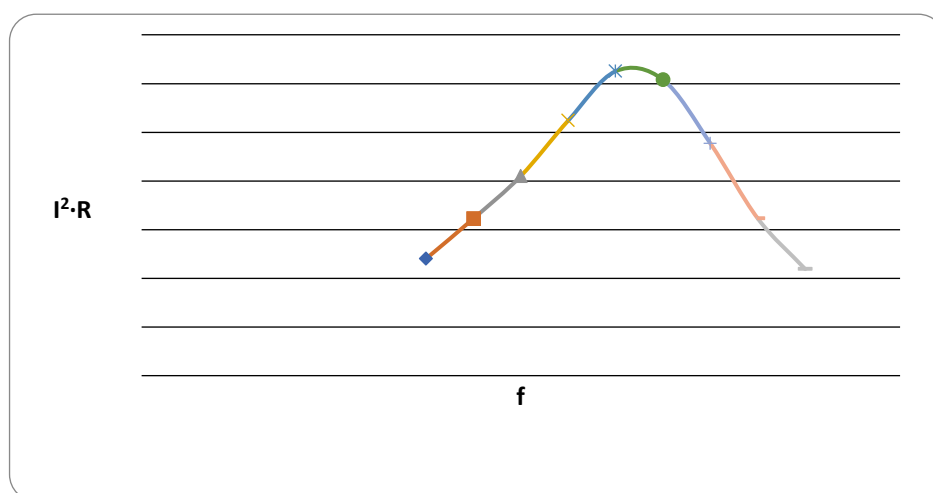


Рис. 3.9 – Зависимость электрических потерь от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2 R = 62 \text{ Ом}$ $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^0$.

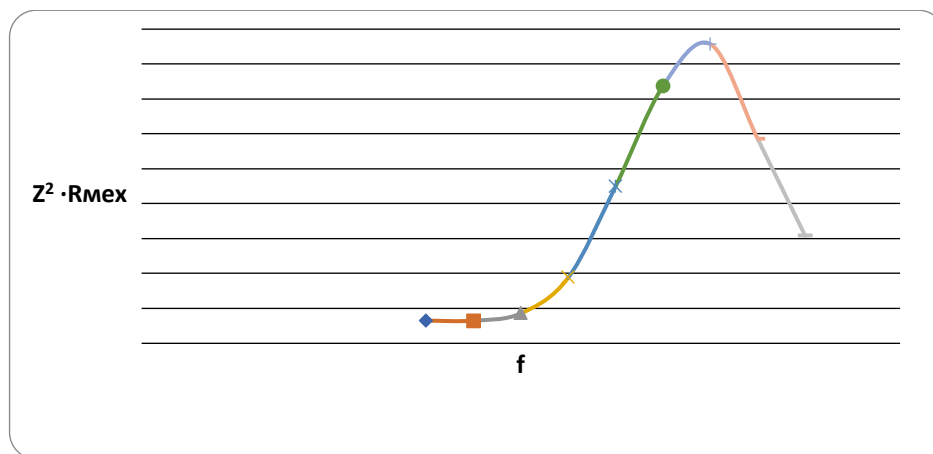


Рис. 3.10 – Зависимости механических потерь от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2$ $R = 62$ Ом $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^\circ$.

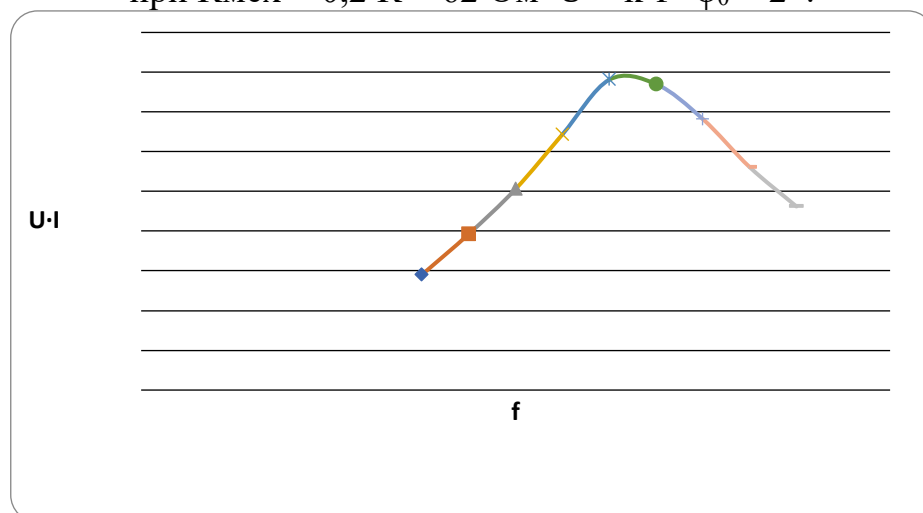


Рис. 3.11 – Зависимость электрической мощности от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2$ $R = 62$ Ом $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^\circ$.

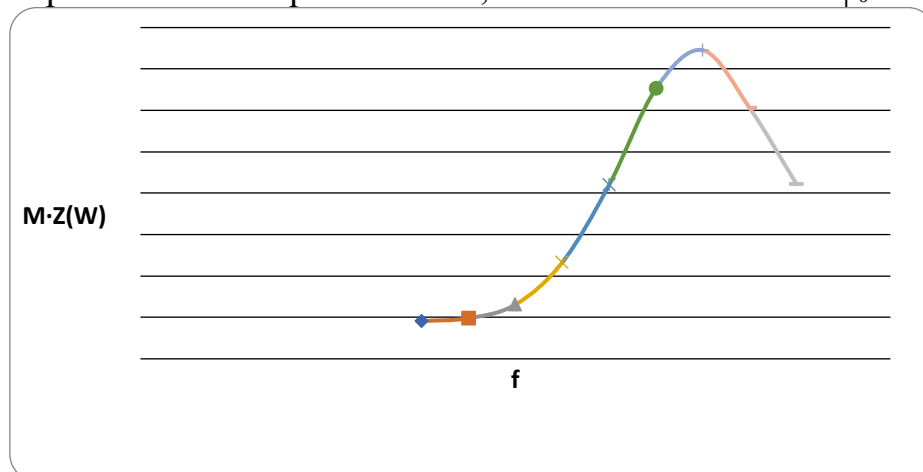


Рис. 3.12 – Зависимость механической мощности от частоты напряжения сети при $R_{\text{мех}} = 0,2$ $R = 62$ Ом $U = k \cdot f$ $\varphi_0 = 2^\circ$.

Из графиков видно, что при увеличении частоты все показатели сначала увеличиваются, а затем уменьшаются. Резонанс лежит в пределах от 50 до 60 Гц. В данном пределе прибор дает наиболее эффективную работу.

3.3 Работа ЭП при изменении начального угла ϕ при малом механическом сопротивлении.

Начальный угол ϕ показывает на какой угол мы выставляем начальный зазор рабочего органа. Начальным углом мы так же можем регулировать колебания. При установке рабочего органа на слишком маленький угол, во время работы это может привести к тому, что активатор будет биться о конструкцию и износ материала увеличится, а если на слишком большой угол колебаний практически не будет. Поэтому начальный угол так же подбирается что получить наибольший рабочий эффект прибора.

Таблица 3.3

ϕ	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3
α			0,0475	0,05	0,055	0,05	0,0425	0,04	0,0375
I			0,65	0,7	0,69	0,67	0,66	0,658	0,656
Z (W)			16,156	18,9	19,3	17,9	16,6	15,4	14,17
M			32	32	32	30	28	26	24
$I^2 \cdot R$	0	0	26,195	30,38	29,5182	27,8318	27,0072	26,84377	26,68083
$Z^2 \cdot R_{\text{мех}}$	0	0	52,20327	71,442	74,498	64,082	55,112	47,432	40,15778
U·I	0	0	143	154	151,8	147,4	145,2	144,76	144,32
M·Z(W)	0	0	516,992	604,8	617,6	537	464,8	400,4	340,08

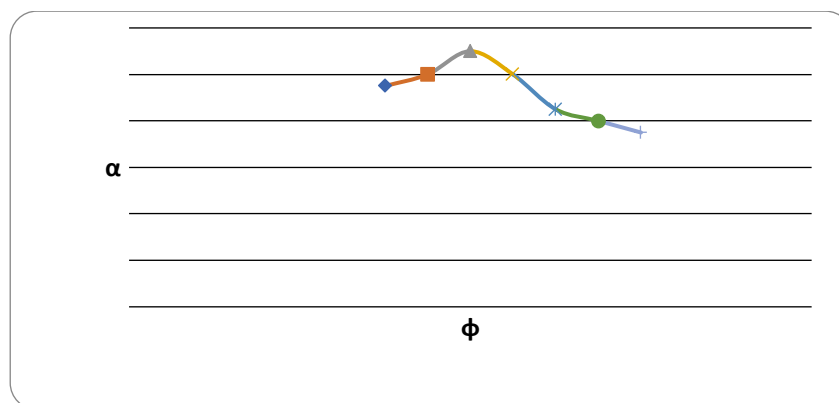


Рис. 3.13 – Зависимость амплитуды колебания от начального угла снятый при $R_{\text{мех}} = 0,2$ $U = 220$ $f = 55$ $R = 62$ Ом

График имеют изогнутый характер. При увеличении начального угла графики сначала растут, а затем имеют спадающий характер. Резонанс наступает в пределах от $1,75^\circ$ до 2° .

По всем рассмотренным графикам можно сделать вывод, что наличие резонанса говорит о том, что наше оборудование резонансного типа. В точках и пределах когда происходит резонанс, показатели работы оборудования более высокие. Оптимальный диапазон частот от 35 до 65 Гц. Отсюда

оптимальный диапазон напряжений от 154 до 220 В. И наконец для получения наибольших колебаний выставим начальный угол от $1,75^0$ до 2^0 .

Полный ток протекающий по обмоткам ЭМП с учетом количества блоков находится по формуле:

$$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot k_3 \cdot n, A \quad (3.3)$$

где: I_{max} - максимальный ток, протекающий в катушках;

k_3 - коэффициент запаса примем равным 1,2;

n – общее число модулей в установке, $n = 8$.

$$I_{\text{полный}} = 0,71 \cdot 1,2 \cdot 8 = 6,8 A$$

4. ОБЩАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВИБРАТОРА ДЛЯ ОТЧИСТКИ НКТ

4.1 Электрическая схема прибора

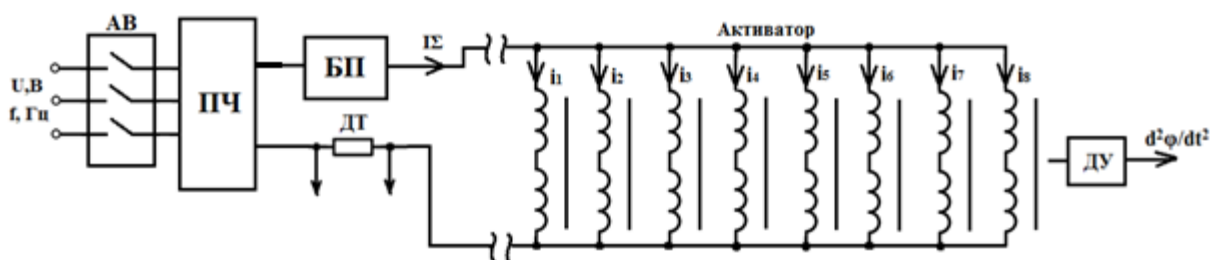


Рисунок 4.1 – Общая схема электропривода вибратора

Общая схема электропривода, приведенная на(рис.4.1) включает в себя следующие элементы:

- общий автоматический выключатель для защиты ПЧ;
- частотный преобразователь, ПЧ;
- блок питания вибратора, состоящий из автоматического выключателя и диода;

- активатор;
- датчик тока;
- датчик ускорения,

4.2 Выбор автоматического выключателя

Для защиты от токов короткого замыкания нам необходимо выбрать автоматический выключатель по условию:

$$I_{н.расц} \geq I_{ном} = 6,8 A \quad (4.2.1)$$

$$I_{уст.} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 6 \cdot 6,8 = 48,96 A \quad (4.2.2)$$

Используя справочную литературу, выбираем автоматический выключатель типа: АП50БЗ $I_p = 50 A$. [11]

4.3 Выбор питающего кабеля

При добыче нефти необходимо применять кабель взрывозащищенный. Так устройство погружается на большую глубину, соответственно и длинна кабеля больших размеров. В нашем случае длина составляет 1500 м. Кабель принимаем не бронированный т.к в НКТ на него не оказывают никакие механические воздействия, которые могли бы повлечь за собой пробой оболочки и изоляции. Обязательным условием подключения вибратора по условиям взрывозащиты кабель должен иметь жилу заземления. Следовательно, выбираемый кабель должен иметь как минимум три жилы.

Выбор питающего кабеля осуществляется по условиям:

$$I_{доп} \geq I_{ном} 6,8 A \quad (4.3.1)$$

$$I_{доп} \geq K_z \cdot \frac{I_{ном}}{K_{прокл.}} = 1 \cdot \frac{50}{1} = 50 A \quad (4.3.2)$$

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

$k_{\text{прок}} = 1$ – поправочный коэффициент зависящий от количества параллельно прокладываемых кабелей. Выбираем кабель марки КГШр 3х10.

Кабель силовой гибкий с медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение. Предназначены для присоединения передвижных механизмов к электрическим сетям при переменном напряжении 660 В частотой до 400 Гц или постоянном напряжении 1000 В, при изгибах с радиусом не менее 8 диаметров кабеля при допустимой температуре нагрева токопроводящих жил до 75 С°

4.4. Выбор преобразовательного устройства для системы

Преобразователь частоты (ПЧ) в ЭП является силовым регулятором, вход которого подключен к питающей сети с нерегулируемыми значениями напряжения U_1 и частоты f_1 , а на выходе обеспечиваются регулируемые значения напряжения U_2 (или тока I_2) и частоты f_2 в зависимости от задания и управляющих сигналов U_y .

Применение ПЧ в ЭП обеспечивает наиболее экономичные способы регулирования для нашего случая: частоты колебаний рабочего органа вибратора, действующего значения тока.

На основании данных полученных при разработке и исследовании работы математической модели активатора при различных условиях мы можем выбрать оборудование.

Выбираем преобразователь частоты [10] по определенным значениями основных характеристик работы ЭМП:

- диапазон частот от 30 до 65 Гц;
- диапазон регулирования напряжения от 0 до 220 В

- ток, не менее 6,8 А.

Поскольку длина нашего кабеля составляет 1500 м. то необходимо учесть потери напряжения в нем, и составляют они:

$$U_{пот.} = I_{ном} \cdot \frac{l_{каб.}}{S_{каб.}} \cdot \rho_{медь} \quad (4.4.1)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток активатора, А;

$S_{каб.}$ – сечение кабеля, мм²;

$l_{каб.}$ – длина кабеля, м;

$\rho_{медь}$ – удельное сопротивление меди, Ом·мм²/м.

$$U_{пот.} = 6,8 \cdot \frac{1500}{10} \cdot 0,0175 = 18В \quad (4.4.2)$$

поэтому необходимо выбрать частотный преобразователь

Для указанных условий подходит частотный преобразователь MSVector тип: 402N04TXB [9]. Это устройство предназначено для плавного пуска и экономичного регулирования производительности путем изменения частоты колебания электропривода.

Преимущество данного прибора – это возможность управлять частотой и амплитудой выходного напряжения, которое меняется исходя из условий.

К данному преобразователю в комплекте идет автоматический выключатель типа: С16А.

Таблица 4.1

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность ПЧ, кВт	4
Номинальный ток нагрузки, А	9,4
Номинальное напряжение на входе, В	220 – 240 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	220-528
Частота питающей сети, Гц	50
Диапазон регулирования частоты, Гц	30-65
Кратность тока перегрузки	1,5 $I_{ном}$

4.5 Выбор диода

Полупроводниковый диод - полупроводниковый прибор с одним p-n-переходом и двумя выводами. Наиболее распространенными являются выпрямительные диоды, принцип работы которых основан на использовании свойства односторонней проводимости p-n-перехода. Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока. Основные параметры выпрямительных диодов:

- максимально допустимый прямой ток -сотни миллиампер – единицы ампер,
- максимально допустимое обратное напряжение диода – десятки сотни вольт.

Для выбора диода зададимся, что $I_{пр.мах} = I_n = 6,8 \text{ A}$, значение $U_{об.мах} \geq U_n$, исходя из этих условия выбираем диод типа 2Д2990В с параметрами [11]:

$$U = 200-250 \text{ В.}$$

$$I_{пр.мах} = 30/60 \text{ А.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Математическое моделирование вибрационного электромагнитного активатора, предназначенного для очистки НКТ от АСПО, показало, что устройство на базе технологии ВСМА может быть использовано для выполнения операций, направленных на увеличение межремонтного периода эксплуатации нефтяных скважин. В работе построены схемы замещения: механической части, электрической части и магнитной частей электропривода вибратора. На основании схем составлена система дифференциальных уравнения, которая решена методом Рунге – Кутты.

2. Расчёт различных режимов работы вибратора при изменяющихся внешних параметрах показал, что математическая модель достаточно объективно отражает электромеханические процессы при очистке НКТ от АСПО. Учитывая, что предлагаемый вибратор является устройством резонансного типа, в начальный период очистки НКТ при наибольшем механическом сопротивлении необходимо работать на низких частотах напряжения питания, а по мере разжижения и частичного удаления АСПО со стенок НКТ необходимо увеличивать частоту питающего напряжения вибратора. Необходимость такого регулирования частоты напряжения обусловлена изменением величины механического сопротивления среды от максимального, в начале, до минимального, в конце процесса очистки.

3. Для экспериментального образца вибратора частота питающего напряжения в начальной фазе процесса очистки должна составлять от 50 до 60 Гц. В ходе данных экспериментов было выявлено, что оптимальный начальный угол расположения активатора составляет от $1,75^0$ до 2^0 .

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также проектирование и создание конкурентоспособных разработок.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

5.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.05	1	1	1	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.07	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Надежность	0.07	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Продолжение таблицы 6.1.							

Безопасность	0.07	3	3	3	0.3	0.3	0.3
Энергоэкономичность	0.13	4	1	1	0.5	0.125	0.125
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Послепродажное обслуживание	0.075	4	3	4	0.3	0.225	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	4	1	1	0.2	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	2	1	1	0.25	0.05	0.05
Итого	1	49	30	32	3.8	2.4	2.575

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

,

где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итог анализа:

Данная виброустановка является энергоэффективной, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности

5.2. SWOT-анализ проекта

SWOT – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проектируемой АСП уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Простота подключения к энергосистеме С2. Надежность системы при аварийных ситуациях С3. Хорошие энергетические показатели С4. Квалифицированный персонал С5. Повышенная безопасность при эксплуатации С6. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя С.7 Повышение химической стойкости элементов деталей электропривода	Слабые стороны проекта: СЛ1. Высокий уровень вибрации при работе СЛ2. Большая стоимость оборудования СЛ3. Большой уровень шума при работе СЛ4. Большие начальные затраты
Возможности: В1. Дополнительное резервное питание электропривода ВСМА В2. Повышение стоимости конкурентных систем	В1С1 В2С2	В2СЛ1
Угрозы: У1. Исчезновение питания электропривода ВСМА У2. Некачественные элементы конструкции У3. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У2С7	У3СЛ1

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 5.2.3 и 5.2.4, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых.

Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие. Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 5.2.3 и 5.2.4.

Таблица 5.2.3 - Интерактивные матрицы возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	+
	B2	+	-	-	+	-
	B3	-	+	-	-	+
	B4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	-	-		
	B2	+	+	0		
	B3	-	+	-		
	B4	-	-	-		

Таблица 5.2.4 - Интерактивные матрицы угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	+	-
	У2	-	-	+	0	-

У3	-	-	+	+	+
У4	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3		
У1	-	+	-		
У2	+	-	-		
У3	+	-	+		
У4	-	-	-		

В результате анализа было установлено, что разрабатываемая установка имеет следующие минусы и угрозы: некачественная разработка конструкции и финансовое обеспечение и поддержка со стороны государства. Данные проблемы решаются путем подбора квалифицированного персонала, который сможет обучить пользователей установки правильно пользоваться ей, и также представить данное изобретение государству как экономически и энерго-эффективным, полезным и инновационным.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения проектных и пуско-наладочных работ формируется рабочая группа, в состав которой входят:

1. Руководитель;
2. Бакалавр-проектировщик;
3. Инженер – программист;
4. Инженер-наладчик.

Необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта и ПНР, провести распределение исполнителей по видам работ.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.3.5.

Таблица 5.3.5 - Распределение исполнителей по данным видам работ

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования установки	2	Подбор и изучение материалов по теме, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта	Инженер
Расчеты и проектирование вибрационной установки	3	Подготовка данных для расчетов. Отладка данных и проведение расчетов	Инженер, научный руководитель
	4	Выбор оборудования по результатам расчетов	Инженер, научный руководитель
	5	Расчет и проверка модели виброустановки	Инженер, научный руководитель
	6	Пуско-наладочные работы, настройка совместной работы оборудования и	Инженер, научный руководитель

		программного обеспечения, снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта	
--	--	--	--

Продолжение таблицы 5.3.5

Оформление отчета по техническому проектированию	8	Оформление пояснительной записки	Инженер
	9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем и последующая сдача проекта	Научный руководитель

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудовые затраты во многих случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным пунктом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы человек-дней;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человек-дней;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человек-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 70 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграм, используемый для иллюстрации трудового плана, на котором работы по теме представляются

протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} ,$$

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

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

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22 ,$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 6.3.6.

Таблица 5.3.6 – Рассчитанные сведения

Название Работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, t_{min} , чел-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, t_{max} , чел-дни	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{ожі}$, чел-дни			

	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер
--	-----------------	---------	-----------------	---------	-----------------	---------	-----------------	---------	-----------------	---------	-----------------	---------

Продолжение таблицы 6.3.6.

Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-	1	-	1,4	-	1,7	-
Выбор направления технического проектирования установки	-	4	-	5	-	4,4	1	1	-	4,4	-	5,368
Подбор и изучение материалов по теме	2	14	4	21	2,8	16,8	1	1	2,8	16,8	3,416	20,5
Расчет и проверка модели виброустановки	2	21	4	25	2,8	23,8	1	1	2,8	23,8	3,41	29
Проведение пуско-наладочных работ	1	18	2	20	1,4	18,8	1	1	1,4	26,8	1,7	22,936
Оценка эффективности полученных результатов	2	5	4	7	2,8	5,8	1	1	2,8	5,8	3,416	7,076
Оформление пояснительной записки	-	5	-	9	-	6,6	-	1	-	6,6	-	8,05
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	2	-	5	-	3,2	-	1	-	3,2		3,904	
Итого											110,5	

Итого длительность работ – 117 календарных дней

На основе таблицы 5.3.6 строится календарный план – график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10

дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 5.3.7.

Таблица 5.3.7 – Календарный план-график

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Тк _ж , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление технического задания	Руководитель	2														
2	Выбор направления проектирования	Инженер	5,4														
3	Изучение материалов по теме	Инженер, Руководитель	20,5														
4	Расчет и проверка модели установки	Инженер, Руководитель	29														
5	Пуско- наладочные работы	Инженер, Руководитель	22,9														
6	Оценка эффективности	Инженер, Руководитель	7														
7	Оформление пояснительной записки	Инженер	8														
8	Проверка ВКР	Руководитель	3														

Обозначения:

■	Руководитель
■	Инженер

По результатам составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть, как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 110 дней. Из них:

93 день – рабочая занятость инженера;

18 дней – рабочая занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 80 дней. Из них:

77 дней – продолжительность выполнения работ инженером;

13 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

5.4 Бюджет затрат технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [15]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты ТП;
- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей разработки ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как соединительные провода, шлейфы и т.д. укомплектованы вместе с оборудованием.

5.4.1 Расчет материальных затрат проекта

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов; -покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются

соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + \kappa_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi},$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

κ_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (κ_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 5.4.1.

Таблица 5.4.1 - материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед.,руб	Затраты на материалы, (Зм),руб.
Компьютер	Шт	1	31000	31000
Принтер	Шт	1	6000	6000
Mathcad	Шт	1	18000	18000
Бумага для принтера формат А4	Шт	1	250	250
Краска для принтера	Шт	3	80	624

Канцелярские принадлежности	-	-	-	500
Итого, руб				56374

5.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

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

Статья включает в себя основную заработную плату и дополнительную заработную плату

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} ,$$

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

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

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается

по формуле:
$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{осн}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}$$

где: $F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

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

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб. (50%);

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб. (30%);

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} ,$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата работника, руб.;

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен ниже:

$$Z_{\text{рук}} = 24 \text{ ч} \cdot 300 \text{ руб/ч} = 7200 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{инж.осн}} = 61 \text{ д} \cdot 561,5 \text{ руб/д} = 36497,5 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{общ.осн}} = 7200 + 36497,5 = 43697,5 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 6.4.2.

Таблица 6.4.2 - расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{полн}}$, руб.
Руководитель	-	7200	-	7200
Инженер	0,12	36497,5	4379,7	40877,2

Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.		43697,5	4379,7	48077,2
-------------------------------	--	---------	--------	---------

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

5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2020 г. в соответствии с Федеральным законом от 29.11.2010 N 313-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона N 313-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2020 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,27148077, 2 = 13028,9 \text{ руб.}$$

5.4.4 Накладные расходы

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

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

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.4.5 Формирование сметы технического проекта

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

К материальным затратам относятся: бумага, спец. ПО, канцелярские принадлежности. Компьютер, принтер и Mathcad после разработки установки можно продать. Срок эксплуатации составляет 7 лет, срок пользования составляет 4 месяца. Амортизация составляет:

$$A = 3380,9 \text{ рублей}$$

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 5.4.3.

Таблица 5.4.3 – Затраты на научно технический проект

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты	10600
2. Амортизация	3380,9
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43697,5
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4379,7

5. Отчисления во внебюджетные фонды	13028,9
6. Накладные расходы	25455,3
7. Бюджет затрат на технический проект	100542,3

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 101 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

5.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 5.5.1.

Таблица 5.5.1 Показатель конкурентоспособности

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4

3.Надежность	0,15	5
4.Безопасность	0,2	5
5.Простота эксплуатации	0,1	4
6.Конкурентоспособность продукта	0,1	4
7.Уровень проникновения на рынок	0,2	4
ИТОГО	1,0	30

$$I_{p-исп 1} = 40,15+40,1+50,15+50,2+40,1+50,1+40,2=4,35$$

Также рассмотрим конкурентоспособность уже существующей установки для исследования реологии жидкостей – вискозиметра серии SV-1А. Преимуществом этой установки заключаются в распространенности на рынке, а недостатками являются: в неудобстве и сложности эксплуатации и меньшей надежности. Показатель конкурентоспособности данной установки приведены в таблице 5.5.2.

Таблица 5.5.2 Показатель конкурентоспособности вискозиметра серии SV-1А

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3
3.Надежность	0,15	4
4.Безопасность	0,2	5
5.Простота эксплуатации	0,1	3

6.Конкурентоспособность продукта	0,1	4
7.Уровень проникновения на рынок	0,2	5
ИТОГО	1,0	30

$$I_{p-исп\ 2} = 40,15 + 30,1 + 40,15 + 50,2 + 30,1 + 40,1 + 50,2 = 4,2$$

Показатель конкурентоспособности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), больше существующего основного конкурента, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Цель квалификационной работы – анализ технологии очистки НКТ нефтяных скважин с помощью электромагнитного вибратора, а также исследование работы электропривода устройства очистки. Объектом исследования является новая технология борьбы с отложениями внутри скважины.

Рассматриваемое рабочее место – НКТ нефтяных скважин. Рассматриваемый рабочий персонал – инженер-буровик, техник-буровик, буровая бригада. В их обязанности входят: подготовка и регулировка приборов и оборудования, обеспечения работоспособности оборудования, контроль скважины, управление скважиной при газоводонефтепроявлениях, приготовление промывочной жидкости, проведение спуско-подъемных операций, снятие показаний приборов и последующая обработка полученных данных, подготовка и уборка рабочей зоны. Все действия осуществляются в соответствии с утвержденными техническим заданием, методикой работы, инструкцией по эксплуатации и техникой безопасности.

Потенциальные пользователи разрабатываемого решения – сервисные компании и службы, оказывающие услуги по очистке водопроводных труб от отложений.

В данном разделе квалификационной работы производится анализ возможных опасных и вредных факторов при эксплуатации электромагнитной вибрационной установки для активации жидких систем. Цель данного раздела – обеспечение производственной безопасности работника и охрана окружающей среды.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

- Минимальный размер повышения заработной платы, персоналу, занятому на вредном производстве составляет 4 %. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ. Часть третья. Раздел VI. Оплата и нормирование труда. Глава 21. Заработная плата. Статья 147;

- Право на досрочное назначение трудовой пенсии. Федеральный закон от 28.12.2013 N 400-ФЗ. "О страховых пенсиях". Статья 30. Сохранение права на досрочное назначение страховой пенсии. (ред. от 01.10.2019).

- Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск 4 календарных дня. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ. Часть третья. раздел V. Время отдыха. Глава 19. Отпуска. Статья 117; [15]

Право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которое осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ. [17];

А также предоставляется право на проведение в установленном порядке за счет средств организации обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований), обязательных психиатрических освидетельствований в случаях, предусмотренных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права (в ред. Федеральных законов от 30.06.2006 N 90-ФЗ, от 30.11.2011 N 353-ФЗ, от 25.11.2013 N 317-ФЗ). [16]

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Обстановка на буровой установке, а также расположение всех элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и

психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения, сюда относятся: спускоподъемные операции (СПО), перемещение цементируемых головок, переводников, установка блоков манифольдов, монтаж нагнетательных линий и т.д.

6.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность в нефтегазовой промышленности имеет большое значение, так как нефтедобыча является одной из опасных отраслей в наше время.

В таблице 6.2.1 наглядно продемонстрированы опасные и вредные производственные факторы.

Таблица 6.2.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	+	+	+	• ГОСТ 12.1.005-88 [1] • СанПиН 2.2.4.548–96 [2]
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Повышенный уровень вибрации	+	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	• ГОСТ 12.1.003-2014 [3] • ГН 2.2.5.1313-03 [4] • ГОСТ 12.2.062-81 [5] • ГОСТ Р 12.1.09-2009[6] • ГОСТ 12.1.012–2004 [7]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.	+	+	+	

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В данном разделе подробно описываются факторы, которые воздействуют на организм человека в процессе эксплуатации электромагнитной виброустановки для активации жидких систем. А также нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение влияния или ликвидацию этих факторов. Опасными производственными факторами называются факторы, которые способны при определенных условиях вызывать сильное нарушение здоровья и смерть организма.

6.2.2 Повышенная или пониженная температура воздуха

Работа на нефтедобывающей скважине сопряжена с работой на открытом воздухе. Температура воздуха рабочей зоны оказывает непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность.

В летний период времени при проведении полевых работ существует большая вероятность солнечного удара. Последствиями солнечного удара являются потеря сознания и пребывание в шоковом состоянии. Допустимая интенсивность ультрафиолетового облучения работающих при незащищенных участках поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$ (лицо, шея, кисти рук) общей продолжительностью воздействия излучения 50% рабочей смены не должна превышать 10 Вт/м^2 .

Время пребывания на открытой территории в нагревающем климате в летнее время года указано в таблице 6.2.2.

Таблица 6.2.2 - Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в нагревающем климате в летнее время года. [23]

Показатель теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м				
	69	87	113	145	177
Температура тела ректальная, °С	37,3	37,4	37,5	37,6	37,7
Средневзвешенная температура кожи, °С	33,8	33,6	33,4	33,2	33,0
Средняя температура тела, °С	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3
Изменение теплосодержания, Дельта, кДж/кг	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
Увеличение частоты сердечных сокращений, Дельта ЧСС, уд./мин	8	12	20	27	34
Влагопотери, Дельта, г/ч	90	120	140	170	210
Теплоощущения, баллы	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Разность между температурами кожи груди и стопы ($t_{кг} - t_{кс}$), °С	1,0	1,0	не характерна		

В холодное время года работникам, находящимся на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудованные помещения для данных целей.

Время пребывания на открытой территории в холодное время года указано в таблице 6.2.3.

Таблица 6.2.3 - Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в холодное время года. [22]

Температура воздуха, °С	Энерготраты, Вт/м (категория работ)		
	88 (Iб)	113 (IIа)	145 (IIб)
-5	охлаждение через 1,4	охлаждение через 3,0	охлаждение поверхности тела отсутствует
-10	1,0	1,7	"
-15	0,8	1,1	охлаждение через 2,7
-20	0,7	0,9	1,5
-25	0,6	0,7	1,1

-30	0,5	0,6	0,8
-35	0,4	0,5	0,7
-40	0,3	0,4	0,6

Комплект средств индивидуальной защиты (СИЗ). Это комплект, включающий спецодежду, средства защиты головы, рук, специальную обувь, предназначенные для защиты работающего. [18]

6.2.3 Повышенный уровень шума

Шум является одним из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды, воздействие которого на работающих сопровождается развитием преждевременного утомления, снижением производительности труда, ростом общей и профессиональной заболеваемости, а также травматизма. При повышенном уровне шума у работающих снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций, снижается производительность труда и качество выполняемых работ. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях и к глухоте.

Шум на рабочем месте не должен превышать 85 дБА [10]. И соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-2014 "Шум. Общие требования безопасности".

А также для защиты работников от воздействия шума используют индивидуальные и коллективные средства защиты. К СИЗ относят наушники, вкладыши, шлемы, а к коллективным - звукоизоляцию и звукопоглощение, а также предусматривается установка кожухов и глушителей.

6.2.4 Повышенный уровень вибрации

По способу передачи человеку:

- локальная вибрация, передающаяся на руки работника;
- общая вибрация, передающаяся через опорные поверхности тела в положении сидя (ягодицы) или стоя (подошвы ног).

По временным характеристикам:

- постоянная вибрация, для которой величина виброскорости или виброускорения изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;
- непостоянная вибрация (колеблющаяся, переменная, импульсная), для которой величина виброскорости или виброускорения изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 минут.

Постоянное воздействие вибрации на организм человека может привести к профессиональному заболеванию – вибрационной болезни. При работе с очистительной виброустановкой может возникнуть данная болезнь.

Рабочий в данном случае может подвергаться вибрации второй и третьей категории:

- общая вибрация 2 категории — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений и т. п.;
- общая вибрация 3 категории — технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющих источников вибрации.

Основными методами и средствами защиты от вибрации являются:

- устранение непосредственного контакта с вибрирующим оборудованием путем применения дистанционного управления, промышленных роботов, автоматизации;
- уменьшение интенсивности вибрации непосредственно в источнике;
- применение вибродемпфирования, динамического виброгашения, активной и пассивной виброизоляции;
- рациональная организация режима труда и отдыха;
- создание комплексных бригад с взаимозаменяемостью профессий;
- использование средств индивидуальной защиты;

- организация активной дифференцированной диспансеризации работников виброопасных профессий.

К СИЗ от вибраций относят: рукавицы, перчатки, виброзащитная обувь и прокладки из пластмасс, резины. Крайне необходимой мерой для уменьшения опасного действия вибрации на организм является медицинское наблюдение, лечебно-профилактические мероприятия, правильная организация труда и отдыха.

Технические нормы ограничивающие нормы вибрации представлены в таблице 6.2.4. [20]

Таблица 6.2.4 – Ограничивающие нормы вибрации

Частота, Гц	Виброинструмент	Рабочее место		
	уровень колеб. скорости, дБ	колеб. скорость, см/с	уровень колеб. скорости, дБ	колеб. скорость, см/с
16	120	5,0	97	0,35
32	117	3,5	93	0,22
63	114	2,5	95	0,27
125	111	1,8	97	0,35
250	108	1,2	97	0,35
500	105	0,9	-	-
1000	102	0,63	-	-
2000	99	0,45	-	-

6.2.5 Недостаточное освещение рабочей зоны

Освещение оказывает влияние самочувствие, что в свою очередь определяет эффективность труда. Освещение рабочих мест должно отвечать требованиям, изложенным в ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». Оно должно равномерно

распределять яркость, быть постоянным во времени, без пульсации, иметь спектр близкий к естественному. На буровой используется естественное, искусственное и аварийное освещение.

В соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение светильники буровых установок должны обеспечивать освещенность:

- роторного стола – 100 лк [21];
- превенторной установки – 75 лк [21];
- помещения вышечного и насосного блоков – 75 лк [21];
- пути движения талевого блока – 30 лк [21] ;
- лестниц, маршей, сходов, приемного моста – 10 лк [21].

6.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Поражение электрическим током возможно из-за доступности прикосновения к токоведущим частям, отсутствия защитного заземления и защитных средств, при обслуживании электроустановок.

С целью снижения вероятности поражения рабочих электрическим током необходимо проводить следующие мероприятия:

- проектирование, монтаж, наладка, испытание и эксплуатация электрооборудования буровых установок должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ), «Межотраслевые правила по ОТ при эксплуатации электроустановок» [14].

- применения защитного заземления буровой установки;
- применение блокировочных устройств;
- применение СИЗ при обслуживании электроустановок;
- применение средств коллективной защиты: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и зануления, устройства автоматического отключения, плакаты по охране труда.

6.3 Экологическая безопасность

Разработка и эксплуатация вибратора не наносит вред окружающей среды. Глубина скважины измеряется километрами, поэтому использование вибрационной установки происходит на значительной глубине, где нет живых организмов, на которых повлияла бы вибрация.

6.3.1 Загрязнение атмосферы

Загрязнение атмосферы в процессе работы электромагнитного вибратора не происходит.

6.3.2 Загрязнение литосферы и гидросферы

К загрязнению почвы и воды вибрационная установка не приводит, так как в процессе эксплуатации не контактирует с гидросферой и не загрязняет почву, не разрушает горные породы и не препятствует росту растений.

К физическим методам утилизации и обезвреживания НСО относятся отстаивание, фильтрация, термомеханическое разделение на фазы, переработка с помощью декантеров и трикантеров. Методы направлены на разделение НСО на две или три фракции: твердая фаза, жидкая фаза и нефтяная фракция.

Утилизация данной установки производится физико-химическим методом. К таким методам утилизации и обезвреживания НСО относятся экстракция нефтяной части НСО с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ); технологии, основанные на электрохимических методах; капсулирование.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Самым опасным и типичным видом чрезвычайных ситуаций при бурении скважин, является газонефтеводопроявления (ГНВП).

Основными причинами возникновения ГНВП являются:

- недостаточная плотность бурового раствора;
- недолив скважины при СПО;
- поглощение жидкости, находящейся в скважине;
- уменьшение плотности жидкости при длительных остановках за счет поступления газа из пласта;
- длительные остановки скважины без промывки.

С целью предупреждения ГНВП перед вскрытием пласта с возможным проявлением необходимо:

- провести инструктаж членов буровой бригады;
- проверить состояние буровой установки, ПВО и инструментов;
- провести учебную тревогу;
- оценить готовность к утяжелению бурового раствора.

Перед вскрытием продуктивного горизонта и при наличии во вскрытом разрезе нефтегазосодержащих отложений, а также других высоконапорных горизонтов, на объекте должны быть вывешены предупредительные надписи.

Действия буровой бригады при сигнале «Выброс»:

- Зафиксировать показания давления в трубном и затрубном пространствах, плотность бурового раствора, объем поступившего флюида;
- Загерметизировать канал бурильных труб и устье скважины;
- Оповестить руководство предприятия о ГНВП;
- Далее действовать в соответствии с планом ликвидации аварии.

Ликвидация ГНВП проходит в два этапа:

- вымыв флюида – комплекс технологических операций, при которых производится удаление из скважины поступивших пластовых флюидов на дневную поверхность;
- глушение скважины – комплекс технологических операций, при которых скважина заполняется утяжеленным буровым раствором,

обеспечивающим условия безопасного ведения работ по строительству и ремонту скважины.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» была проведена всесторонняя оценка и анализ вредных и опасных факторов, возникающих при строительстве скважины, а также рассмотрены и разработаны мероприятия по минимизации их воздействия на организм человека и окружающую среду. Помимо этого, были рассмотрены вероятные ЧС и мероприятия по их предупреждению и ликвидации. Значение практического применения мер предосторожности трудно переоценить, т.к. дополнительно уделенное время безопасности выполнения работ внимание всегда окупается в виде сохраненных материальных ценностей, здоровья и жизни сотрудников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бекишев Р.Ф., Глазырин А.С., Карагодин П.А., Цурпал С.В., Шелестюк Д.В. Анализ результатов экспериментального исследования системы управления вибрационным электромагнитным активатором при работе в различных средах // Известия Томского политехнического университета. - Томск: Изд. ТПУ, 2005 - т. 308, - № 7. - с. 109-111 (13526168).
2. Бекишев Р.Ф., Глазырин А.С., Цурпал С.В. Математическая модель системы автоматического управления вибрационным электромагнитным активатором // Известия Томского политехнического университета. - Томск: Изд. ТПУ, 2005 - т. 308, - № 7. - с. 112-116 (42804349)
3. Значение нефтяной промышленности в экономике нашей страны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://www.bestreferat.ru/referat-62799.html> (дата обращения 18.05.2020 г.).
4. Форест Грей Добыча нефти/Пер. с англ. — М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. — 416 с.
5. Добыча нефти и газа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://neftandgaz.ru> (дата обращения 18.05.2020 г.).
6. Добыча нефти и газа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://oilloot.ru> (дата обращения 18.05.2020 г.).
7. Добыча нефти. <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения 18.05.2020 г.).
8. В.А. Данекер., Разработка и изготовление экспериментального образца скважинного вибратора для очистки НКТ от асфальтосмолопарафиновых отложений с применением технологии ВСМА. / ОАО “СКБ Сибэлектромотор”, - Томск 2008. – 31с. (Договор № 04/6)
9. Кошкин Н.И, Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Изд-во Наука, 1976. – 256 с.
10. Приводная техника в Украине. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://www.lenze.org.ua> (дата обращения 18.05.2020 г.).

11. А.В. Кабышев, С.Г. Обухов, Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию.// Учебное пособие, -Томск 2005. – 177 с.
12. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с
13. Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 18.05.2020 г.).
14. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/557235236> (дата обращения 18.05.2020 г.).
15. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/499011004> (дата обращения 17.05.2020 г.).
16. Инструкция по охране труда рабочих при бурении скважин.
17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный businessforecast.by (дата обращения 18.05.2020 г.).
18. ГОСТ 17.0.0.01-76 Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200003894> (дата обращения 15.05.2020 г.).
19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.
20. ТК РФ, Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.

21. Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

22. ГОСТ 12.4.303-2016 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования (Переиздание). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200136075> (дата обращения 17.05.2020 г.).

23. 21. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

24. 22. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»

25. 23. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

26. 24. МР 2.2.7.2129-06 Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях.

27. МР 2.2.8.0017-10 Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года.