

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

---

Инженерная школа энергетики (ИШЭ) \_\_\_\_\_  
Направление подготовки -13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) \_\_\_\_\_

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Электромагнитный привод установки дегазации нефти</b>

УДК 62-83:622.276.057

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Филимонова Лилия Валерьевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	Спицына Л. Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Фех А. И.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н		

Томск – 2020 г.

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

Инженерная школа энергетики (ИШЭ) \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки -13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Ивашутенко А.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Филимонова Лилия Валерьевна

Тема работы:

<b>Электромагнитный привод установки дегазации нефти</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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></p>	<p><i>Объектом исследования является электромагнитный привод установки дегазации нефти. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструктивная совместимость с существующим оборудованием дегазации нефти;</li> <li>- электропитание от промышленной сети переменного тока;</li> <li>- электромагнитный привод на базе технологии ВСМА</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи исследования;</li> <li>- составление математической модели электромагнитного привода активатора;</li> <li>- исследование режимов работы активатора;</li> <li>- разработка конструкции модуля активатора и установки;</li> <li>- выбор основных элементов электропривода;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> </ul>

процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	- заключение.
--	---------------

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общий вид установки сепаратора;</li> <li>2. Общий вид электромагнитного привода;</li> <li>3. Чертёж электромагнита;</li> <li>4. Лист магнитопровода.</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Спицына Любовь Юрьевна
«Социальная ответственность»	Фех Алина Ильдаровна
Раздел на иностранном языке	Пташкин Александр Сергеевич

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**  
Основная и специальная части, «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность» – русский язык ; литературный обзор – иностранный язык

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Филимонова Л.В.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM88	Филимоновой Лилии Валерьевне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	При проведении исследований используется материально-техническая база НИ ТПУ, в исследовании задействованы 2 человека: научный руководитель и инженер-дипломник Бюджет проекта не более 500000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» Интегральный показатель эффективности не менее 4 баллов.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды составляют 27,1 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТИ)</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Не разрабатывается</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработка календарного плана работ, формирование сметы затрат.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсной эффективности</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Филимонова Лилия Валерьевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM88	Филимоновой Лилии Валерьевне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

<b>Электромагнитный привод установки дегазации нефти</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – электропривод установки вибромагнитной обработки нефти при ее дегазации. Рабочая зона - аудитория 125, расположенная в 8 корпусе НИ ТПУ. Алгоритм – численное моделирование установки и анализ режимов работы. Область применения- математическое моделирование технологии ВСМА применяется в научных институтах и позволяет увеличить эффективность установок, которые в дальнейшем можно использовать в нефтяной промышленности.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (ред. от 21.06.2016)
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Основные вредные и опасные факторы на рабочем месте: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенное значение напряжения в электрической цепи
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Утилизация ПК и бумаги оказывает воздействие на атмосферу, гидросферу и литосферу

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС на объекте: короткое замыкание электропроводки, возгорание оборудования. В качестве типичной чрезвычайной ситуации рассматривается пожар
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООТ	Фех Алина Ильдаровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Филимонова Лилия Валерьевна		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП  
13.04.02«Электроэнергетика и электротехника»**

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Универсальные компетенции</b>		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6)1, Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI работодателей
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с

	производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п.1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 132 страницы, 25 рисунков, 26 таблиц, 4 приложения, 38 источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АКТИВАТОР, ДЕГАЗАЦИЯ НЕФТИ, СЕПАРАТОР, АКТИВАЦИЯ.

В работе разработана (составлена) математическая модель электропривода установки дегазации нефти, которая позволила исследовать режимы работы электропривода, разработана конструкция электропривода установки в целом для дегазации нефти, произведен выбор основных элементов электропривода установки.

С помощью математической модели в Mathcad 15 проведено расчётное исследование режимов работы электропривода, определены технические характеристики установки, обеспечивающие максимальную производительность дегазации (активации).

Магистерская диссертация выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента отделения электроэнергетики и электротехники Данекера В.А. студенткой группы 5АМ88 Филимоновой Л.В.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 и представлена на диске CD-RW (в конверте на обороте обложки).

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

**ВСМА** - виброструйная магнитная активация.

**МВО** – модуль виброобработки.

**НГС** – нефтегазовый сепаратор.

**НДС** – нефтяные дисперсные системы.

**НПЗ** – нефтеперерабатывающий завод.

**ПЭ** – плоскостные элементы.

**УСПН** – узел сбора и подготовки нефти.

**ЭМП** – электромагнитный привод.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР .....	16
1.1 Обзор имеющихся оборудований и технологий для дегазации нефти .....	16
1.2 Оборудование для дегазации нефти .....	21
1.2.1 Классификация сепараторов .....	21
1.2.2 Сепараторы типа НГС .....	24
1.2.3 Центробежно-вихревые сепараторы .....	27
1.3 Технология и оборудования ВСМА .....	30
2 МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЕГАЗАЦИИ НЕФТИ .....	34
2.1 Выбор объекта модернизации .....	34
2.2 Расчет размеров электропривода .....	35
2.3 Расчёт производительности установки .....	37
2.4 Расчет жесткости пружинного подвеса .....	38
2.5 Основные размеры активатора и сердечника магнитопровода .....	40
2.6 Определение обмоточных данных обмоток электромагнитного привода ....	43
2.7 Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита .....	43
3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	46
3.1 Уравнения электрических контуров .....	46
3.2 Уравнение механического контура .....	51
3.3 Система уравнений работы электропривода установки .....	53
3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений .....	54
4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ .....	56
4.1 Оптимизация резонансных режимов работы электропривода установки при $R_{m0}=7763$ кг/с .....	56
4.2 Оптимизация производительности активации резонансных режимов работы электропривода установки при изменении массы активатора .....	60
5 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВКИ ДЕГАЗАЦИИ .....	68
5.1 Общие положения .....	68
5.2 Описание возможного места размещения установки в составе НГС 0,6-200068	

5.3 Разработка схемы подключения установки .....	70
5.3.1 Выбор преобразователя частоты .....	71
5.3.2 Выбор диода .....	72
5.3.3 Аппаратура управления .....	73
5.3.4 Аппаратура защиты .....	73
5.3.5 Выбор автоматического выключателя .....	73
5.4 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети .....	74
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	75
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	75
6.2 Анализ конкурентных технических решений .....	77
6.3 SWOT- анализ .....	79
6.4 Планирование научно-исследовательских работ .....	80
6.4.1 Контрольные события проекта .....	80
6.4.2 Планирование НИР .....	81
6.5 Бюджет научного исследования .....	84
6.6 Определение ресурсной и экономической эффективности исследования .....	89
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	92
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	92
7.2 Производственная безопасность .....	95
7.3 Экологическая безопасность .....	104
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	129

## ВВЕДЕНИЕ

Извлекаемая на нефтяных месторождениях сложная смесь, представляет собой совокупность попутного газа, нефти, механических примесей, таких как: песок, глинистые материалы, различные соли и тд. За счет совместного течения газонефтяной смеси и воды, возникают высокие значения потери давления на преодоление сил трения. Транспортировка такой смеси через трубопроводы невозможна, что вызывает осложнения в нефтяной промышленности,

При совместном течении нефти, газа и воды имеют место значительно большие потери давления на преодоление сил трения, чем при перекачке одной нефти. Большую часть в смеси составляет попутный газ, которого приходится около 100м<sup>3</sup> на тонну извлекаемой нефти.

Повышенное содержание газа в нефти, поступающих на переработку, ухудшает качество получаемых из неё продуктов, создаёт проблемы (на НПЗ), а именно к нежелательным и разрушительным последствиям для оборудования из-за коррозионной активности этих газов, а так же к увеличению сопротивления, которое создается газовыми шапками, защемленными в вершинах профиля и скоплений воды и пониженных точках трассы.

Целью промысловой подготовки нефти является ее дегазация, обезвоживание, обессоливание и стабилизация. Удаление растворенных газов является одной из основных задач в нефтяной промышленности.

Все известные способы дегазации нефти можно разделить на несколько групп:

1. Сепарация;
2. Ультразвуковая дегазация;
3. Электродегидраторы.

Существующие технологии и оборудование, применяемые для дегазации нефти достаточно энергозатратны, или требуют длительной обработки. Поэтому

разработка новых технологий и оборудования виброструйной магнитной активации, является актуальной.

Рассматриваемая в работе технология обработки нефти ВСМА позволяет эффективно решать обозначенную проблему. Эффективность применения оборудования ВСМА проявляется в уменьшении вязкости нефти, тем самым ускоряя процесс дегазации.

**Объект исследования** – электромагнитный электропривод установки дегазации нефти.

**Целью настоящей работы** является модернизация существующего оборудования для дегазации нефти с применением технологии виброструйной магнитной активации ВСМА.

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

- разработка конструкции установки, обеспечивающей максимальную производительность;
- разработка математической модели вибромагнитной установки, проведение анализа режимов ее работы для различных конструктивных решений;
- на основании результатов анализа работы установки на математической модели разработать практические рекомендации по выбору элементов электропривода установки.

**Методы исследования** – Численные методы решения дифференциальных уравнений, математическое моделирование в программной среде MathCAD15, использование общепринятых принципов конструирования электротехнических изделий.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается корректным применением допущений при математическом моделировании, применением известных методов решение систем дифференциальных уравнений.

# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

## 1.1 Обзор имеющихся оборудований и технологий для дегазации нефти

Нефть - горючая, маслянистая жидкость, преимущественно темного цвета, представляет собой смесь различных углеводородов. В нефти встречаются следующие группы углеводородов: метановые (парафиновые) с общей формулой  $C_nH_{2n+2}$ ; нафтеновые –  $C_nH_{2n}$ ; ароматические –  $C_nH_{2n-6}$ . При этом углеводороды от  $C_8H_{18}$  до  $C_{17}H_{36}$  – жидкие вещества [1].

В газовой фазе преобладают углеводороды метанового ряда (метан, этан, пропан и бутан), находящиеся при атмосферном давлении и нормальной температуре в газообразном состоянии. Пентан  $C_5H_{12}$ , гексан  $C_6H_{14}$  и гептан  $C_7H_{16}$  неустойчивы, легко переходят из газообразного состояния в жидкое и обратно.

Кроме углеводородных газов, в извлекаемой жидкости могут содержаться кислород, азот, углекислый газ, серосодержащие соединения, в небольших количествах хлор, фосфор [1].

Извлекаемая из недр Земли нефть содержит в своём составе не только жидкие и газообразные углеводороды, но также и растворённые газы, которые ухудшают качество последующей переработки нефти, приводят к нежелательным и разрушительным последствиям для оборудования из-за коррозионной активности этих газов.

Основной задачей процесса дегазации нефти является разделить газовую составляющую от нефтяной, при этом сам процесс называется сепарации, который происходит в необходимом оборудовании для технологических работ (сепараторы).

Дегазация нефти происходит поэтапно, или по «ступеням», соответственно при большем количестве ступеней, конечный результат будет более эффективным, чем при процессе дегазации с наименьшим количеством ступеней. Однако, необходимо учитывать тот факт, что тогда увеличатся капиталовложения в сепараторы.

Газонефтяную смесь из нефтескважин отправляют по трубопроводам в дегазатор, в котором происходит процесс разделения и нефти под высоким давлением. Далее выделившийся газ перемещается под собственным давлением.

В сепараторе под влиянием давления выделяется основная масса газа, который перемещается на большие расстояния.

Далее на нефть воздействует среднее и низкое нефть давление (следующие ступени сепарации) на которых происходит заключительный этап разделения нефти и газа. Сепарация происходит под влиянием [2]:

- гравитационных сил
- инерционных сил
- за счет селективной смачиваемости нефти

В зависимости от этого и различают следующие способы дегазации нефти:

- гравитационные
- инерционные
- пленочную сепарацию

В гравитационных сепараторах более легкие фракции, а именно, газ, поднимаются вверх, а более тяжелые (нефть с растворенными частицами воды) опускаются вниз. Пленочная сепарация капель нефти может возникать в газосепараторе за счет действия инерционных (центробежных) сил и в результате действия турбулентных пульсации, имеющих место в потоке газа. Турбулентные пульсации, перемешивая капли жидкости в потоке газа, смещают их в радиальном направлении к внутренней поверхности газосепаратора. Отдельные капли, достигая этой поверхности; смачивают ее и образуют на ней плотную жидкостную плёнку. Жидкость на этой пленке держится достаточно хорошо и при достижении определенной толщины начинает непрерывно опускаться вниз.

Еще одним перспективным способом для дегазации жидкостей является отделение газа от жидкости в поле центробежных сил. Аппараты подобного типа

уже успешно применяются для удаления из котловой воды кислорода и углекислого газа и имеют хорошие перспективы для решения задачи дегазации нефти [3].

Основные факторы, определяющие концентрацию газов в жидкости и их равновесное состояние, это - давление и температура жидкости, количественный состав газовой смеси, физическая природа газа.

Для идеального разбавленного раствора газов в жидкости согласно закону английского врача и физика Уильяма Генри (Henry) (1774-1836г.г.) равновесная массовая концентрация газа в растворе  $C_G$  (мг/кг) пропорциональна парциальному давлению  $P_G$  в газовой фазе над раствором:

$$c_G = K_G \cdot p_G, \quad (1.1.1)$$

Где:  $K_G$  — константа фазового равновесия (константа Генри), мг/(кг Па), которая изменяется в зависимости от температуры и не зависит от количественного состава и давления в системе;  $p_G$  — парциальное давление газа над раствором, ата.

Закон Генри можно выразить и через коэффициент абсорбции газа:

$$a^a = V_G/V_B, \quad (1.1.2)$$

$$c_G = \alpha^a \cdot \frac{\rho_G}{\rho_B} \cdot \frac{P_G}{P_0} \cdot 10^6, \quad (1.1.3)$$

Где:  $\rho_G$ ,  $\rho_B$  — плотность газа и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V_G$ ,  $V_B$  — объемы растворенного газа и воды, м<sup>3</sup>;  $P_0 = 0,101$  МПа.

Следовательно, массовая концентрация или растворимость такого газа, как кислорода в жидкости (мг/кг) равна:

$$c_G = \alpha_{O_2}^a \cdot \frac{\rho_{O_2}}{\rho_B} \cdot \frac{P_{O_2}}{P_0} \cdot 10^6 \quad (1.1.4)$$

Полное удаление растворенных газов практически невозможно. Процесс удаления газов из жидкости происходит до того момента, когда равновесное парциальное давление, соответствующее его концентрации в жидкой фазе, превышает парциальное давление этого газа  $P_G$  в газовой фазе над раствором.

Следовательно, для дегазации жидкости и удаления (десорбции) агрессивных газов необходимо понижать их парциальные давления над жидкостью. Это возможно осуществить либо понижением общего давления газовой смеси над жидкостью, либо перераспределением парциальных давлений газов при постоянном давлении газовой смеси.

Таким образом, из теории следует, что для эффективного разделения газовой и жидкой фазы из смеси необходимо:

- обеспечить некоторую разность между равновесным давлением газа в жидкости и парциальным давлением газа над жидкостью;
- создать необходимую поверхность контакта жидкости и газа;
- обеспечить отвод выделившихся из жидкости газов;
- обеспечить необходимое время для разделения газовой и жидкой фазой.

Если газожидкостную смесь направить по касательной к внутренней поверхности цилиндра, то она закрутится с образованием устойчивого вихря. В неинерциальной системе отсчета, которая вращается вместе с жидкостью, на каждый элемент вращающейся среды помимо обычной силы тяжести  $F_{гр}$ , направленной по вертикали вниз действует центробежная сила  $F_{цб}$ , направленная радиально от оси и лежащая в плоскости, которая проходит через вращающийся элемент жидкости, перпендикулярно оси вращения (рисунок 1.1).

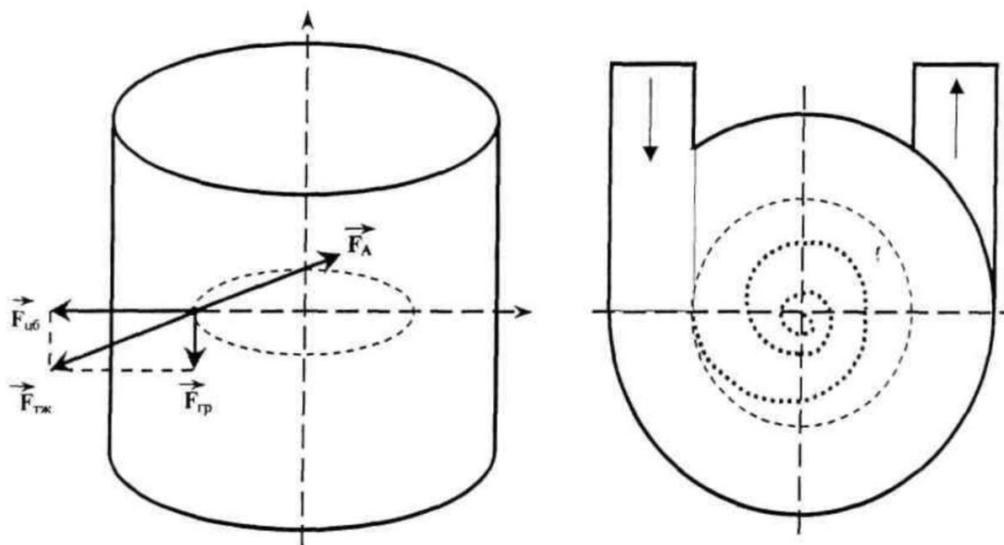


Рисунок 1.1 – Распределение векторов сил на элемент вращающейся среды в инерциальной системе отсчета

Результирующую этих сил  $F_{тж}=F_{цб}+F_{гр}$  можно рассматривать как силу тяжести, действующую на частицу жидкости со стороны некоего поля сил, которое представляет собой наложение поля центробежных сил и гравитационного поля Земли.

Сила  $F_{тж}$  направлена от оси вращения под небольшим углом к её нормали. Небольшой наклон этой силы вниз по отношению к нормали, восстановленной к оси, обусловлен тем, что на элемент жидкости помимо центробежной силы, действует еще сила тяжести (в рассматриваемом случае центробежная сила заметно больше её по величине). Вес выделенного элемента жидкости в таком поле равен численному значению силы  $F_{тж}$  по определению. С другой стороны, на любое тело, погруженное в жидкость (в том числе на пузырек воздуха или другого газа), должна действовать Архимедова сила  $F_A$  численно равная и противоположная силе  $F_{тж}$  по направлению т.е. эта сила должна быть направлена не от оси вращения, а к оси вращения, в противоположную сторону.

Если в этом поле сил вес тела  $F_T$  легче веса вытесненной жидкости  $F_{тж}$  ( $F_T < F_{тж}$ ), то архимедова сила, по определению равная весу вытесненной жидкости ( $F_A = F_{тж}$ ), будет больше веса тела  $F_T$ , и тогда первоначально покоящееся относительно водяного цилиндра тело должно устремиться к его оси вращения. Наоборот, если тело тяжелее вытесненной жидкости, то оно должно быть отброшено к стенке.

Именно на этом и основан принцип центробежной сепарации: разделения включений в жидкую среду на более легкую и более тяжелую, чем жидкость, фракцию.

Целесообразность использования центробежного и вихревого эффекта для конструирования аппаратов дегазации нефти обусловлено следующим:

- в цилиндрических вихревых аппаратах можно создать в сравнительно небольшом объеме достаточно большую поверхность контакта газовой и жидкой фазы;
- благодаря высокой скорости движения различных сред обеспечивается высокая скорость теплообмена, что позволяет уменьшить время контакта;

- потоки газовой и жидкой фазы устремлены на различные противоположные выходы аппаратов и возможны простые конструктивные решения для предотвращения смешивания фаз после их разделения.

Но, не смотря на все эти достоинства, вертикальные нефтегазовые сепараторы также имеют существенные недостатки, такие как:

- большая металлоемкость, поэтому их изготавливают из дешевых и доступных материалов, чаще всего из углеродистых и низколегированных сталей, обладающих высокими технологическими и механическими свойствами с последующей их защитой от коррозии;

- повышенная коррозия;

- высокое гидравлическое сопротивление, что, как правило, требует организации принудительной циркуляции пароводяной смеси [3].

## **1.2 Оборудование для дегазации нефти**

Ниже рассмотрены основные конструкции газонефтяных сепараторов, применяющихся в промышленности в настоящее время. Обзор патентных источников представлен в Приложении А.

### **1.2.1 Классификация сепараторов**

Все применяемые нефтегазовые сепараторы можно классифицировать по следующим признакам [1]:

- По назначению: замерно-сепарирующие и сепарирующие;
- По геометрической форме и положению в пространстве: цилиндрические, сферические, вертикальные, горизонтальные и наклонные;
- По характеру проявления основных сил: гравитационные, инерционные и центробежные;
- По рабочему давлению: высокого (6,4 МПа), среднего (2,5 МПа) и низкого (0,6 МПа) давления;

- По числу ступеней сепарации: первой, второй, и т.д ступеней сепарации;
- По технологическому назначению: двухфазные и трехфазные;
- По конструкции устройств ввода нефтегазового потока: с радиальным и с тангенциальным вводом;
- По конструктивному исполнению: одноёмкостные и двухёмкостные.

Несмотря на различия в конструкциях, в газонефтяных сепараторах можно выделить четыре основные секции, как, например, показано на рисунке 1.2.1, применительно к конструкции вертикального сепаратора.

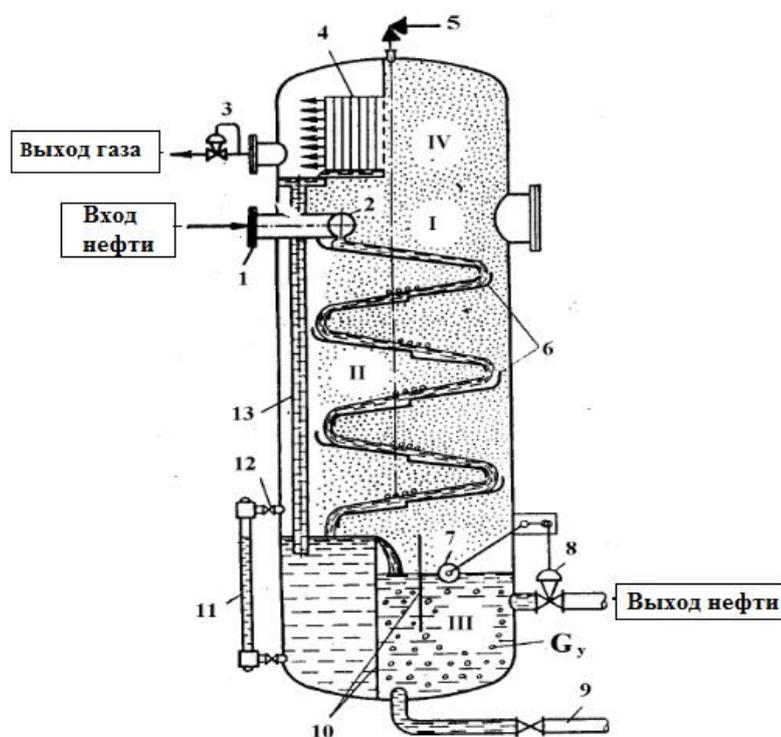


Рисунок 1.2.1 – Детали вертикального сепаратора

I – основная сепарационная секция; II – осадительная секция; III – секция сбора нефти; IV – каплеуловительная секция; 1 – ввод продукции скважин; 2 – раздаточный коллектор; 3 – регулятор уровня «до себя»; 4 – каплеуловительная насадка; 5 – предохранительный клапан; 6 – наклонные плоскости; 7 – датчик регулятора уровня поплавкового типа; 8 – исполнительный механизм; 9 – патрубок; 10 - предохранительный клапан; 11 – водомерное стекло; 12 – отключающие краны;  $G_y$  – масса газовых пузырьков, уносимых с нефтью из сепаратора; 13 – дренажная трубка

1) Основная сепарационная секция - служит для выделения из нефти газа. На работу сепарационной секции большое влияние оказывает конструктивное оформление ввода продукции скважин (радиальное, тангенциальное, использование различного рода насадок - диспергаторов, турбулизирующих ввод газожидкостной смеси).

I. Осадительная секция - в ней происходит дополнительное выделение пузырьков газа, увлеченных нефтью из сепарационной секции. Для более интенсивного выделения окклюдированных пузырьков газа из нефти последнюю направляют тонким слоем по наклонным плоскостям, увеличивая тем самым длину пути движения нефти, т.е. эффективность ее сепарации. Наклонные плоскости рекомендуется изготавливать с небольшим порогом, способствующим выделению газа из нефти.

III. Секция сбора нефти - занимает самое нижнее положение в сепараторе и предназначена как для сбора, так и для вывода нефти из сепаратора. Нефть может находиться здесь или в однофазном состоянии, или в смеси с газом – в зависимости от эффективности работы сепарационной и осадительной секций и времени пребывания нефти в сепараторе.

IV. Каплеуловительная секция - расположена в верхней части сепаратора и служит для улавливания мельчайших капелек жидкости, уносимых потоком газа [4].

Вертикальный сепаратор работает следующим образом. Нефтегазовая смесь под давлением поступает через патрубок 1 к раздаточному коллектору 2, имеющему по всей длине щель для выхода смеси. Из щели нефтегазовая смесь попадает на наклонные плоскости 6, увеличивающие путь движения нефти и способствующие тем самым выделению окклюдированных пузырьков газа. В верхней части сепаратора установлена каплеуловительная насадка 4 жалюзийного типа, сечение которой показано на том же рисунке. Капельки нефти, отбиваемые в жалюзийной насадке 4, стекают в поддон и по дренажной трубе 13 направляются в нижнюю часть сепаратора. Каплеулавливающая насадка 4 может быть различной конструкции. Работа ее

должна основываться на следующих принципах: столкновении потока газа с различного рода перегородками; изменении направления и скорости потока; использовании центробежной силы; использовании коалесцирующей набивки (различного рода металлических сеток).

Перегородки 10 в сепараторе служат для успокоения уровня при пульсирующей подаче продукции скважин, а датчик регулятора уровня поплавкового типа 7 с исполнительным механизмом 8 – для циклического вывода нефти из корпуса сепаратора. Через патрубок 9 с установленной на нем задвижкой сбрасывается скопившаяся грязь. В верхней части сепаратора располагается предохранительный клапан 5, рассчитанный на сбрасывание газа при достижении в сепараторе давления выше нормы, предусмотренной технологическими процессами. На газовом патрубке сепаратора имеется также регулятор давления "до себя" 3, поддерживающий необходимое давление в корпусе сепаратора.

В нижней части корпуса сепаратора устанавливается водомерное стекло 11 с отключающимися краниками 12, предназначенное для измерения количества подаваемой жидкости.

Достоинствами вертикальных сепараторов являются относительная простота регулирования уровня жидкости, а также очистки от отложений парафина и механических примесей. Они занимают относительно небольшую площадь, что особенно важно в условиях морских промыслов, где промысловое оборудование монтируется в платформах или эстакадах [5].

Однако вертикальные сепараторы имеют и существенные недостатки: меньшую производительность по сравнению с горизонтальными при одном и том же диаметре аппарата; меньшую эффективность сепарации [4].

### **1.2.2 Сепараторы типа НГС**

Сепараторы нефтегазовые (НГС) предназначены для дегазации сернистой нефти и очистки попутного газа (рисунок 1.2.2). Сепараторы данного типа нашли широкое распространение на объектах ООО «Ванкорнефть», в том числе на

дожимных насосных станциях, центральном пункте сбора и узлах сепарации. Применяются на всех ступенях сепарации. Применяются в установках сбора и подготовки продукции нефтяных месторождений для эксплуатации в макроклиматических районах П<sub>5</sub> и П<sub>4</sub> по ГОСТ 16350 [6] и условиях умеренного и умеренно холодного климата по ГОСТ 15150 [7] с температурой воздуха при эксплуатации:

- для умеренного климата - от плюс 40 °С до минус 40 °С;
- для умеренно-холодного климата - от плюс 40 °С до минус 60 °С.

По конструкции данные сепараторы разделяются на следующие типы:

Тип I - применяются в компоновке с узлами предварительного отбора газа (депульсаторами).

Тип 1-П - применяется в компоновке с узлами предварительного отбора газа с пеногасящей насадкой.

Тип II - применяются без узлов предварительного отбора газа.

Тип И-П - применяется без узлов предварительного отбора газа с пеногасящей насадкой [8].

На рисунке 1.2.2 показан общий вид горизонтального сепаратора НГС. Работает данный сепаратор следующим образом. Нефтегазовая смесь подводится к корпусу сепаратора по наклонным трубопроводам 1 и 2. Наклон трубопровода 1 может колебаться в пределах 30 – 40 , а трубопровода 2 – 10 – 15 . К трубопроводу 2 вертикально привариваются три - четыре газоотводных трубки 3 диаметром 50 – 100 мм. Верхние концы этих трубок приварены к сборному коллектору (депульсатору) газа 5 подводящего этот газ к корпусу каплеуловителя 8, в котором устанавливается выравнивающая поток газа перфорированная перегородка 6 и жалюзийная кассета 7. Капельки нефти, уносимые основным потоком газа по сборному коллектору 5, проходя жалюзийную кассету 7 (или любую другую), прилипают к стенкам жалюзи и, скапливаясь на них, в сплошной пленки стекает вниз корпус сепаратора. Из корпуса каплеуловителя 8 газ направляется в эжектор 9, а из него под собственным давлением 0,6 МПа – на газоперерабатывающий завод (ГПЗ).

Нефть, освобожденная от основной массы в трубопроводе 2, поступает в корпус сепаратора, в котором установлены сплошная перегородка 14, успокоитель уровня 13 и две наклонные плоскости 10, увеличивающие путь движения нефти и способствующие выделению из нефти скрытых пузырьков газа, не успевших соединиться и выделиться в наклонном трубопроводе 2.

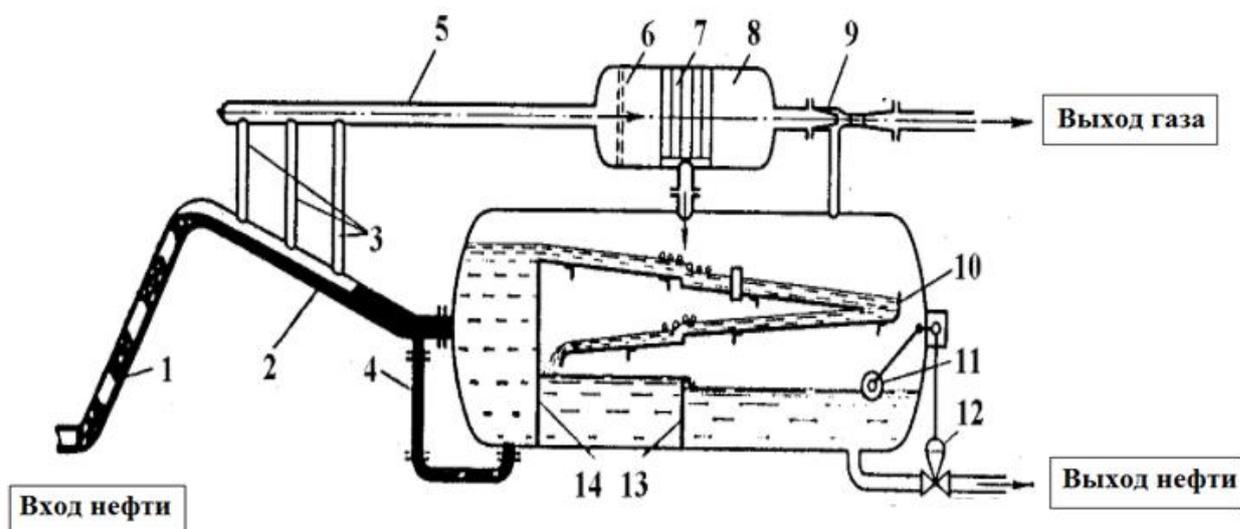


Рисунок 1.2.2 – Общий вид сепаратора НГС

1, 2 – наклонные трубопроводы; 3 – газоотводные трубки; 4 – выход газа; 5 – депульсатор; 6 – перфорированная перегородка; 7 – жалюзийная кассета; 8 – каплеуловитель; 9 – эжектор; 10 – наклонные плоскости; 11 – датчик уровнемера; 12 – исполнительный механизм; 13 – сплошная перегородка; 14 – успокоитель уровня

Выделившийся из нефти газ на нижней плоскости 10 проходит отвод и вместе с газом, выделившимся на верхней плоскости, поступает в эжектор 9 и транспортируется также на НПЗ.

Для вывода нефти из сепаратора имеется датчик уровнемера поплавкового типа 11 с исполнительным механизмом 12 [8].

За счет того, что в горизонтальных сепараторах капли жидкости падают перпендикулярно к потоку газа, а не навстречу ему, как в вертикальных сепараторах, они обладают большей пропускной способностью по сравнению с

вертикальными при одинаковых геометрических размерах, что обеспечивает лучшее качество сепарации, их также легче обслуживать, поэтому они получили большее распространение, чем вертикальные [2].

Таким образом, с точки зрения эффективности процесса, предпочтение стоит отдать горизонтальному сепаратору. Однако горизонтальные сепараторы имеют ряд недостатков, которые в определенных ситуациях могут изменить выбор в пользу вертикального сепаратора.

1. Горизонтальные сепараторы не столь эффективно, как вертикальные, работают с потоками, содержащими механические примеси;

2. Горизонтальный сепаратор должен быть оборудован несколькими дренажными линиями, проведенными по всей его длине;

3. Горизонтальные сепараторы занимают большую площадь, чем вертикальные с такой же производительностью. Этот фактор может не иметь большого значения на суше, но на морских месторождениях он играет очень важную роль.

### **1.2.3 Центробежно-вихревые сепараторы**

Устройства данного типа предназначены для удаления остаточных газов, в том числе растворённых, из нефти, нагретой выше температуры насыщения при вакуумном режиме, атмосферном или режиме повышенного давления [9].

Принципиальная схема центробежно-вихревого сепаратора представлена на рисунке 1.2.3. Устройство имеет двухкамерный цилиндрический корпус. Верхняя камера 1 предназначена для приема сепарируемой нефти и имеет один или несколько тангенциальных патрубков «А» в нижней части камеры расположена кольцевая перегородка 3 для создания и поддержания необходимой толщины водного слоя. Под кольцевой перегородкой находятся окна 4 для слива нефти в нижнюю камеру 2.

В крышке верхней камеры расположен патрубок вывода отсепарированного газа, при этом нижний конец патрубка достигает верха нижней камеры.

Нижняя камера 2 представляет собой циклон для отделения отсепарированного газа и вывода очищенной нефти. Она снабжена тангенциальными патрубками «В» для вывода нефти из устройства.

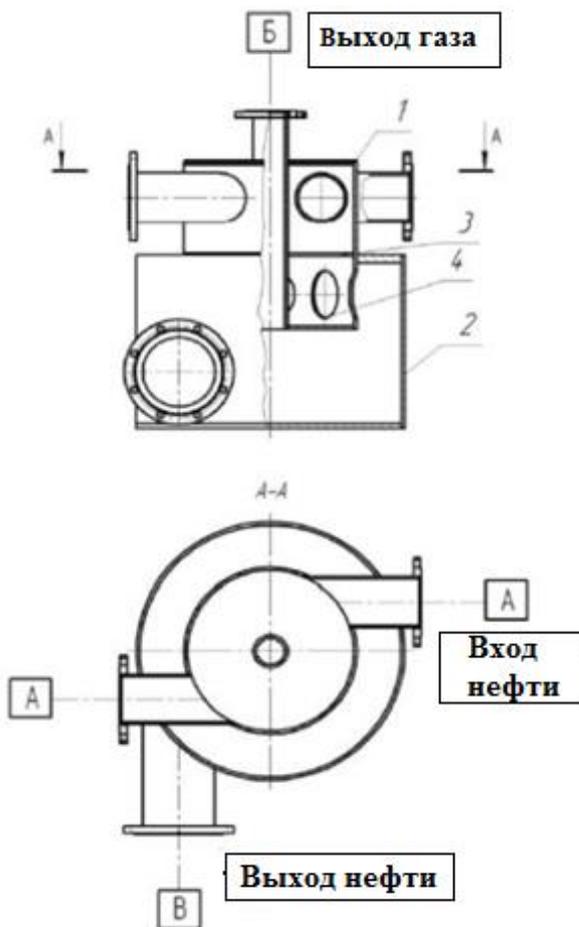


Рисунок 1.2.3 – Принципиальная схема центробежно-вихревого сепаратора

1 – верхняя камера; 2 – нижняя камера; 3 – кольцевая перегородка; 4 – окна для слива нефти

Принцип действия данного устройства заключается в следующем. Дегазируемая нефть поступает в тангенциальный патрубок «А», поток нефти закручивается в верхней камере аппарата, образуется цилиндрический слой воды с вертикальной границей раздела жидкой и газовой фазы. Так как нефть нагрета выше температуры насыщения, из неё начинает интенсивно выделяться газ который выводится через патрубок «Б», а нефть через окна 4 верхней камеры

сливается в нижнюю камеру 2 и выводится через патрубки «В».

Патрубок «Б» может быть соединён с откачивающим устройством, например, газоструйным эжектором. Тогда процесс будет осуществляться в вакуумном режиме, что позволяет ускорить отделение газа от нефти и повысить эффективность разделения [9].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применяемые в промышленности газонефтяные сепараторы, не смотря на все свои достоинства, имеют отдельные параметры, для которых имеются объективные предпосылки улучшения. К ним относятся громоздкость, большой удельный вес и высокие капитальные затраты. В вертикальных и горизонтальных дегазаторах одним из основных параметров, характеризующих выделение газа, являются размеры плоскостных элементов, по которым газосодержащая нефть стекает с определённой скоростью. Причём чем больше скорость и тоньше слой, тем выделение газа происходит более интенсивно. Кроме этого, чем длиннее путь движения газосодержащей нефти по указанным плоскостным элементам, тем большее количество газа выделится из нефти. Следовательно, если найти способ изменения этих параметров в имеющихся установках, то можно увеличить их производительность.

Наряду с развитием и совершенствованием традиционных методов воздействия на нефтяные и нефтегазовые системы, все большее применение находят методы, реализуемые на основе различной физической природы: лазерной, магнитной, ультразвуковой, радиационной и т.д. Модернизация традиционных технологий в области варьирования параметров и компонентов процесса или среды лишь незначительно повышает показатели существующих процессов.

На сегодняшний день решение этой проблемы представлено весьма ограниченным количеством технических решений, которые позволяют улучшать работу отдельных элементов конструкции, но не дают достаточного эффекта в комплексе. Поэтому поиск новых подходов к решению данной проблемы является актуальным.

Резкого повышения эффективности производства и качества получаемых продуктов можно добиться путем применения нетрадиционных способов воздействия на процесс. Одним из таких методов является вибромагнитная обработка нефтяных систем, которая открывает новые возможности в нефтяной и нефтегазоперерабатывающей промышленности.

### **1.3 Технология и оборудования ВСМА**

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

В данный момент времени уже глубоко изучена зависимость реологических свойств высоковязких нефтей от влияния вибрационных воздействий и высоких сдвиговых скоростей. Научно-исследовательские работы в области механики полимеров при решении таких актуальных вопросов трубопроводного транспорта, как снижение вязкости нефти, откачка высоковязких нефтей из нефтехранилищ, пуск нефтепроводов после длительных остановок и уменьшение асфальтосмолопарафиновых отложений трубопроводов, показали, что, изменяя интенсивность внешних механических воздействий, можно в довольно широком диапазоне управлять реологическими свойствами структурированных систем [10].

Для изменения реологических свойств НДС применяют метод виброструйной магнитной активации (ВСМА). Данный метод требует тонкого подбора режимов работы вибраторов и химических реагентов, но, он менее энергозатратен. При данной технологии в жидкой среде образуются замкнутые потоки жидкости, отдельные порции которых многократно попадают в зону обработки, при этом меняются их реологические параметры, нефти с высокими значениями вязкости становится менее вязкой. Известны технология и устройства виброструйной магнитной активации жидких систем, позволяющие производить магнитную обработку растворов с одновременной диспергацией

твердой составляющей. В основе данной технологии лежит применение электромагнитных преобразователей с низким энергопотреблением, способных работать в резонансном режиме, что способствует достижению максимальных амплитуд колебаний рабочего органа в жидкой среде (ЖС). Использование в данном техническом решении для обработки ЖС колебательного движения рабочего органа имеет существенные преимущества, заключающиеся в возможности получения максимальных амплитуд колебаний рабочего органа в режиме резонанса.

Основой для конструкций различных устройств ВСМА является единичный модуль, представляющий собой электромеханическое устройство с широким диапазоном регулирования частоты и величины питающего напряжения. Уникальное сочетание факторов активации в одном устройстве и высокие удельные характеристики достигаются оригинальными конструкциями отдельных узлов модуля.

Конструктивными элементами ЭМП являются электромагнитный привод, электрическая часть которого размещена в герметичном корпусе, рабочий орган устройства-активатор ВСМА, упругий подвес рабочего органа. Наличие некоторых других элементов обусловлено необходимостью крепления ЭМП в общей конструкции технологического оборудования. Вся конструкция устройства ВСМА должна быть погружена в среду ЖС. Рабочий орган электромагнитного привода должен совершать колебательные движения непосредственно в среде ЖС.

При формировании возмущающей силы, изменяющейся с частотой, равной резонансной частоте колебательной системы ЭМП, обеспечивается максимальная амплитуда колебаний рабочего органа устройства ВСМА. При колебаниях рабочего органа в среде ЖС формируется затопленная струя. Затопленная струя обеспечивает постоянную циркуляцию ЖС во всём объёме. Таким образом, весь объём ЖС многократно проходит через пространство, определяемое размерами рабочего органа устройства ВСМА[10].

Технология ВСМА - это способ многокомпонентного физико-химического воздействия, применяемый для изменения реологических свойств и получения требуемых параметров сложных жидких систем [11].

Основной целью, для получения требуемых значения статического напряжения сдвига рассматриваемых жидких систем или нормирование вязкости нефти, является регулирование или устранение локальных структурированных образований и сил взаимодействия.

Использование существующих способов и оборудования для дегазации нефти, частично решает проблемы, возникаемые при обработки нефти, например, таких как увеличение качества промывочных и цементных растворов, или эффективный забор нефтяных шламов и отстоя и тд. Тем не менее использование этих способов энергозатратно и не бюджетно, а так же они ограничены в действии [12].

На данный момент времени запасы нефти в нефтяной промышленности могут увеличить циркуляцию высоковязкой нефти. Свойства высоковязких нефтепродуктов характеризуются содержанием в своём составе парафина с высокой температурой застывания (кристаллизации) и образованием асфальтосмолопарафиновых отложений. Техническими требованиями предусмотрен оптимальный диапазон температуры нефти от 40 до 60оС. При эксплуатации в условиях низких температур обеспечение таких температур нефти является проблематичным.

Вследствие этого возникают существенные проблемы при её добыче, хранении и транспортировке. Использование технологии ВСМА позволяет изменить химические свойства нефти с высокими значениями вязкости, влияя на её супрамолекулярную структуру, а так же сохранить удовлетворительные значения нефти в течении длительного промежутка [11]. Снижение вязкости при применении технологии ВСМА достигает от единиц до нескольких десятков раз.

Процесс дегазации добываемой нефти из-за наличия её вязких свойств в существующих установках имеет ограничение по увеличению скорости течения и уменьшению толщины потока. Одной из основных проблем во всех видах

традиционных сепараторов является высокая металлоёмкость, недостаточно высокая эффективность отделения газа от нефти и ухудшение качества сепарации в холодное время года, а так же засорение очищающих элементов продуктами сепарации. Мероприятия, направленные на устранение или снижение негативного воздействия, как правило, малоэффективны, не решают проблему в целом, а также требуют значительных материально-технических затрат. На сегодняшний момент решение этой проблемы, представлено весьма ограниченным количеством технических решений.

Применение технологии и оборудования ВСМА в процессе дегазации нефти, учитывая выше отмеченные характеристики, позволяет позитивным образом воздействовать на указанные параметры, тем самым увеличить производительность существующего оборудования.

**Целью настоящей работы** является разработка электромагнитного колебательного электропривода плоскостных элементов горизонтального сепаратора НГС 0,6-2000

Для достижения указанной цели необходимо:

1. Установить допустимые массогабаритные показатели плоскостных элементов (ПЭ) дегазатора;
2. Разработать конструкцию ресурсоэффективного электромагнитного привода ПЭ;
3. Разработать математическую модель электромагнитного привода ПЭ;
4. На основе моделирования режимов работы электромагнитного привода ПЭ разработать рекомендации по эксплуатационным параметрам модернизированного дегазатора.

## 2 МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЕГАЗАЦИИ НЕФТИ

Решая задачу модернизации существующего оборудования для дегазации нефти, первостепенной мерой является выбор прототипа. При этом необходимо учитывать конструктивные исполнения оборудования, которые принципиально не исключают возможность проведения работ по их модернизации. На этапе проектирования трудно предвидеть конкретные параметры технологического процесса дегазации, поэтому при модернизации следует предусмотреть возможность регулирования этих параметров. Таким образом, модернизацию существующего оборудования дегазации нефти предлагается провести с использованием оборудования ВСМА, применяемое в качестве электропривода лотков, на которых происходит непосредственное выделение газа из газосодержащей смеси. В схеме питания электропривода должен быть предусмотрен частотный преобразователь, для формирования переменного напряжения с выходной частотой необходимой для определения максимальной производительности газоотделения.

### 2.1 Выбор объекта модернизации

Приступая к проектированию электропривода установки для дегазации нефти, важно учитывать существующие схемы и конструкции конкретного сепаратора. В качестве примера выберем горизонтальный сепаратор НГС 0,6-2000, характеристики которого представлены в таблице 2.1 [14].

Таблица 2.1 – Технические характеристики сепаратора НГС0,6-2000

Наименование параметра		Значение
1.	Габаритные размеры, мм;	
-	длина	10104
-	высота	3897
-	ширина	1212
2.	Масса, кг, не более	6630

Входными параметрами для начала проектирования электропривода являются заданная производительность дегазации и размеры основного технологического оборудования, для которого разрабатывается встраиваемый электропривод.

Общий вид установки дегазации, подлежащей модернизации, приведен в Приложении Б с габаритами, соответствующими техническим характеристикам выбранного прототипа (Таблица 2.1).

Исходя из представленных габаритов установки для дегазации, можно принять следующие рекомендации по исполнению ПЭ:

- количество ПЭ 8 штук;
- длина одного ПЭ – 1 м;
- ширина ПЭ: от 1,9 м до 3.2 м;
- высота бортов ПЭ: не менее 0,05 м.

ПЭ рекомендуется изготавливать из листового стального проката толщиной 0,004 м.

Указанные параметры ПЭ необходимы для определения параметров колебательной системы при составлении уравнения движения.

## **2.2 Расчет размеров электропривода**

Основным параметром, определяющим эффективность работы электропривода является размер активатора, которым, в данном случае, является лоток дегазатора. В свою очередь, массогабаритные характеристики лотка определённым образом сказываются на размерах электропривода. Вследствие этого в начале проектирования электропривода необходимо, хотя бы в первом приближении, определиться с размерами электропривода.

При определении размеров электропривода важным обстоятельством является габариты и масса звена, совершающего колебательные движения. Таким звеном в предлагаемой схеме модернизации установки дегазации является лоток дегазатора, обозначенный нами как ПЭ. В свою очередь лоток может является непосредственно якорем или механически связанным с якорем звеном

электромагнитного привода. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что при больших габаритах якоря соответственно будет расти и его масса. Для обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА при большой массе якоря потребуется обеспечивать и соответствующее большое значение жёсткости пружинного подвеса. Высокие значений жёсткости могут сказаться на увеличении габаритов узла подвеса активатора, что не всегда является приемлемым.

В данной системе в качестве условно якоря электромагнита выступает лоток дегазатора (рисунок 2.2), имеющий прямоугольную форму.

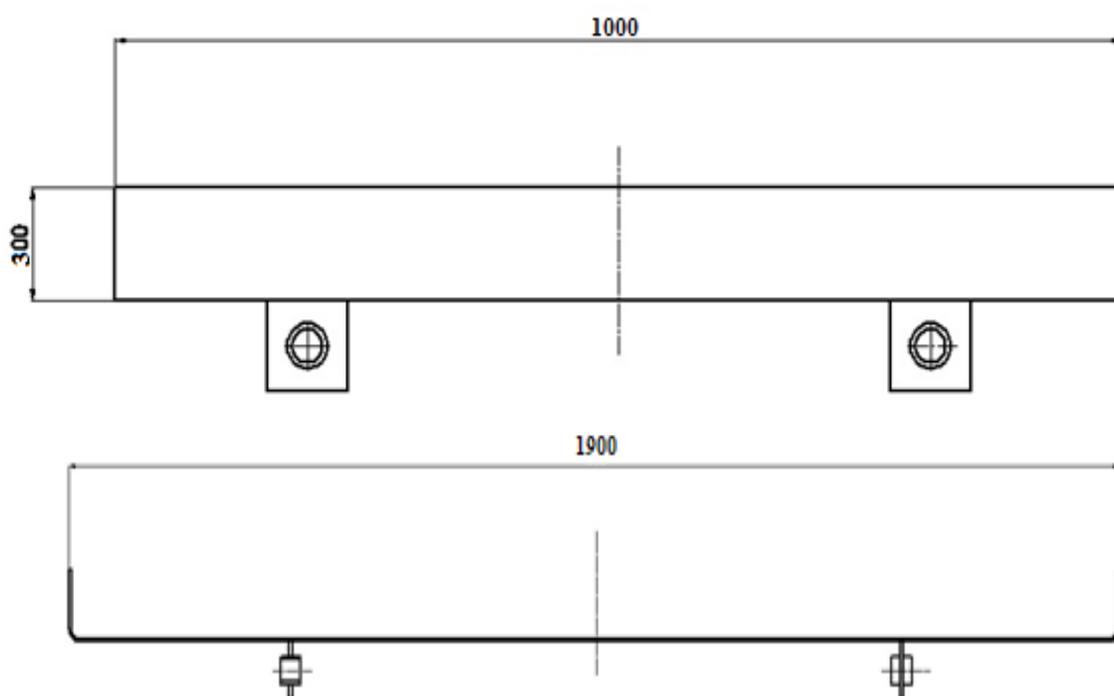


Рисунок 2.2 – Эскиз лотка

Габаритные размеры одного из которых представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные размеры лотков (ПЭ) установки дегазации

Длина ( $l_a$ )	1м	1м	1м
Ширина ( $l_b$ )	3,2м	1,9 м	2,5
Толщина материала лотка $\Delta$	0,004 м	0,004 м	0,004 м
Высота бортов ( $l_c$ )	0,03м	0,03м	0,03м

Массу якоря и массу газосодержащей нефти на лотке можно определить, воспользовавшись данными в таб. 2.2. Объём, занимаемый материалом лотка, определи по выражению:

$$V_{л} = (l_a \cdot l_b + 2 \cdot l_a \cdot l_c) \cdot \Delta \quad (2.2.1)$$

$$V_{л} = (1 \cdot 3,2 + 2 \cdot 1 \cdot 0,03) \cdot 0,004 = 0,013 \text{ м}^3$$

Вес одного лотка:

$$G = V_{л} \cdot \rho \quad (2.2.2)$$

$$G_{л} = 0,013 \cdot 7800 = 101,4 \text{ кг}$$

где:  $\rho = 7800$ - плотность стали, кг/м<sup>3</sup>.

Объём нефти, находящейся на одном лотке:

$$V_{н} = S_{лот} \cdot \Delta = 3,2 \cdot 1 \cdot 0,03 = 0,096 \text{ м}^3 \quad (2.2.3)$$

Вес нефти на одном лотке :

$$G_{н} = V_{н} \cdot \rho = 0,096 \cdot 850 = 81,6 \text{ кг} \quad (2.2.4)$$

Поскольку основу нефтяных смесей составляют углеводороды, то их плотность обычно меньше 1 г/см<sup>3</sup> . Плотности подавляющего большинства встречающихся в практике нефтяных смесей лежат в диапазоне от 0,80 г/см<sup>3</sup> до 0,95 г/см<sup>3</sup>. Примем плотность газонефтяной смеси равной 0,85 г/см<sup>3</sup>=850кг/м<sup>3</sup>.

### 2.3 Расчёт производительности установки

В качестве примера рассмотрим средний узел сбор и подготовки нефти (УСПН). Дегазацию нефти будем производить в одном из горизонтальных сепараторов. На данном УСПН перерабатывается до 5000 т/сутки или 57,8 кг/с.

Найдем расход подачи газонефтяной смеси на дегазатор:

$$Q_1 = \frac{Q_p}{\rho_{ж}} = \frac{57,8}{850} = 0,068 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.3.1)$$

Определим расчетное количество жидкости в установке. Скорость движения жидкости в установке можно определить следующим образом:

$$v = \frac{Q_1}{S_{сеч}} = \frac{0,068}{0,096} = 0,708 \text{ м} / \text{с}, \quad (2.3.2)$$

где:  $S_{сеч}$  - площадь поперечного сечения лотка .

$$S_{сеч} = l_a \cdot l_b \cdot \Delta = 3,2 \cdot 1 \cdot 0,03 = 0,096 м^2 \quad (2.3.3)$$

Тогда время активации нефти при общей длине восьми активаторов (лотков) будет равно:

$$t = \frac{l_a}{v} = \frac{8}{0,708} = 11,3 с, \quad (2.3.4)$$

Определим количество жидкости в УПН:

$$Q_2 = Q_1 \cdot t = 0,068 \cdot 11,3 = 0,768 м^3 \quad (2.3.5)$$

Таким образом, для дальнейших расчётов определяем общую расчётную массу якоря электромагнитного привода

$$M = G_{л} + G_{н} = 183 кг \quad (2.3.6)$$

Так как электропривод установки будем модернизировать для двух лотков, масса якоря электромагнитного привода будет составлять 366 кг.

Производительность является одним из основных характеристик, от которых необходимо отталкиваться при проектировании установок. В нашем случае необходимо обеспечить более высокие значения производительности, чем в прототипе: 0,00067 м<sup>3</sup>/с. Принимаем значение увеличения производительности равное 15%. Следовательно, заданная производительность модернизированной установки будет равна 0,0007705 м<sup>3</sup>/с. Для обеспечения данной производительности необходимо увеличить количество газосодержащей нефти на лотках дегазатора. Высоту бортов лотка необходимо увеличить соответственно на 15%. Это приведёт к увеличению массы газосодержащей нефти на лотке дегазатора, которая составит 93,84 кг. В таком случае масса якоря электромагнитного привода двух лотков составит 391,1 кг

## 2.4 Расчет жесткости пружинного подвеса

Так как потери практически отсутствуют, режим работу модуля виброобработки соответствует. Принимаем частоту колебаний равную 25Гц. Расчёт жёсткости пружин производится из условий обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА на собственной частоте колебательного контура.

Жесткость пружинного подвеса, при известных величинах массы и принимаемой собственной частоты колебательного контура 50 Гц определяется по выражению:

$$q_{пр} = \omega_0^2 \cdot M_a = 157,08^2 \cdot 391,1 = 9,65 \cdot 10^6 \text{ Н/м} \quad (2.4.1)$$

где:  $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 157,08 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота собственных колебаний механической части ЭМП;

$m$  – масса якоря электромагнитного ЭП.

По полученным данным можно произвести расчёт коэффициента потерь на вязкое трение:

$$R_{мех} = \sqrt{2 \cdot M_a^2 \cdot (\omega_{0,ж}^2 - \omega_{р,ж}^2)} = \sqrt{2 \cdot 391,1^2 \cdot (157,08^2 - 156,451^2)} = 7,763 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{с/м} \quad (2.4.2)$$

где:  $\omega_{0,ж} = \sqrt{\frac{q_{л}}{M_a}} = \sqrt{\frac{9650000}{391,1}} = 157,08 \text{ с}^{-1}$  – собственная частота колебаний

активатора;

Частота колебаний при этом будет равна:

$$f_{0,ж} = \frac{\omega_{0,ж}}{2\pi} = \frac{157,08}{2 \cdot 3,14} = 25 \text{ Гц} \quad (2.4.3)$$

Принимаем для ЖС со средним значением вязкости величину  $\Delta f = 0,5 \text{ Гц}$ .  
 При этом:  $\omega_0 = 2\pi \cdot (f_{0,ж} - \Delta f) = 156,451 \text{ с}^{-1}$  – резонансная частота вынужденных колебаний.

Произведем аналогичный расчет для других лотков с разными массогабаритными показателями для определения жесткости пружинного подвеса и коэффициента потерь на вязкое трение. Получившийся результат сведен в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Общий результат для трех активаторов

	Активатор 1	Активатор 2	Активатор 3
	1x1,9x0,03	1x2,5x0,03	1x3,2x0,03
Жёсткость пружины подвеса активатора, Н/м	$5,766 \cdot 10^6$	$7,56 \cdot 10^6$	$9,65 \cdot 10^6$

## Продолжение таблицы 2.4

Масса колебательного контура ВСМА, кг	233,7	306,4	391,1
Коэффициент механических потерь начальный, Н·с/м	4639	6082	7763

Рассчитанные значения будут использоваться при анализе режимов работы электропривода установки.

## 2.5 Основные размеры активатора и сердечника магнитопровода

Предварительные размеры магнитопровода, определенные исходя из рекомендаций по конструированию установки ВСМА, представлены в таблице 2.5.1 [10].

Данные размеры могут быть пересмотрены после анализа режимов работы электропривода при математическом моделировании.

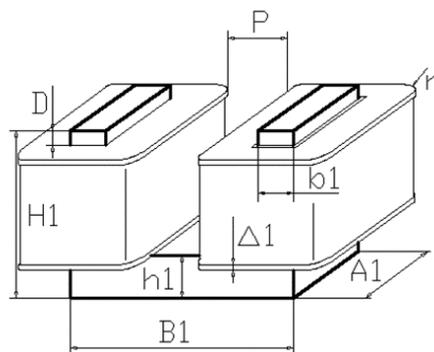


Рисунок 2.5.1 – Общий вид конструкции магнитопровода

Таблица 2.5 – Размеры магнитопровода

Расстояние между обмотками	$P = 4$ мм
Зазор между обмоткой и стенкой корпуса	$D = 6$ мм
Высота спинки	$h1 = 30$ мм
Высота стержня	$H1 = 140$ мм
Ширина полюса	$b1 = 25$ мм
Длина полюса	$A1 = 50$ мм

Продолжение таблицы 2.5

Длина спинки	$B1 = 130 \text{ мм}$
Толщина стенки каркаса обмотки	$\Delta 1 = 2 \text{ мм}$

Приведённые выше размеры основных элементов электропривода дегазатора позволяют приступить к разработке конструкции. На Рис. 2.5.2 приведён общий вид модуля электромагнитного привода. Всего в установке дегазации с учётом отличий в размерах ПЭ используется четыре модуля.

По принципу действия модуль электропривода является электромеханическим вибрационным устройством. Процесс дегазации нефти осуществляется действием вибрации и затопленных струй, образующихся при колебаниях активатора.

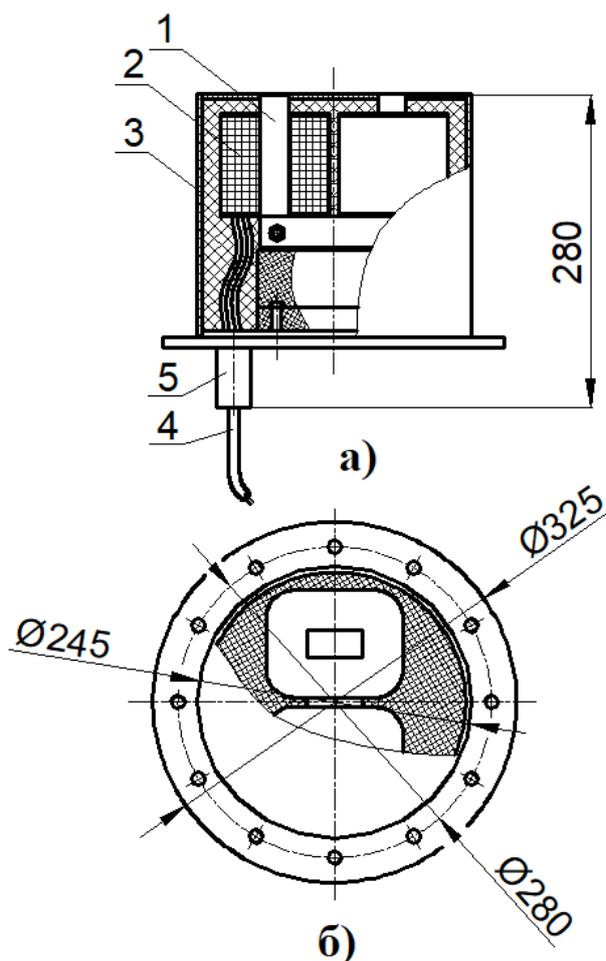


Рис. 2.5.2 – Общий вид модуля электропривода:  
а – поперечный разрез; б – вид сверху

1. Обмотки электромагнита;
2. Индуктор магнитопровода;
3. Стенка корпуса модуля;
4. Выводной кабель;
5. Устройство ввода;

Как было указано выше, технология ВСМА заключается в создании замкнутого потока ЖС и многократном прохождении ограниченных порций ЖС через зону активации. Зона активации характеризуется действием в ней подавляющего большинства из перечисленных ранее физических воздействий на ЖС. Сама зона активации оборудования ВСМА формируется рабочим органом, совершающим колебательные движения, и элементами корпуса ЭМП.

В корпусе модуля размещается электромагнит (приложение Г) . Сам корпус полностью изолирован от воздействия среды обработки, является герметичным. Пустое пространство корпуса наполняется компаундом, который обеспечивает теплоотвод с магнитопровода и обмоток. Напряжение подается по устройству ввода на ЭМП через диод. Электромагнит создает возмущающую силу в колебательной системе. Электромагнит и корпус жестко связаны, следовательно, в данной конструкции колебания совершает активатор, который является якорем электромагнита. Сердечник электромагнита выполняется из листов стали (обычной или электротехнической) П-образной формы. На стержнях сердечника располагаются катушки.

В данной установке используется 8 активаторов (4 пары модулей). Каждая пара этих модулей расположена под углом, для того чтобы обрабатывать весь поток нефти, проходящий по длине установки. При подаче номинального напряжения через VD и катушки электромагнитов будет протекать ток. Под действием силы электромагнитного притяжения в определенные моменты времени активаторы притягиваются к стенке оболочки корпуса модуля. Газонефтяная смесь, находящиеся под активатором, при этом вытесняются через активаторы, активно при этом смешиваясь и образуя затопленные струи. После активного смешивания смесь газа и нефти поступает на отстаивание.

## 2.6 Определение обмоточных данных обмоток электромагнитного привода

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

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

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

$$S_{\text{окн}} = (0,13 - 2 \cdot 0,025 - 2 \cdot 0,002 - 0,004) \cdot (0,14 - 0,03 - 2 \cdot 0,002 - 0,006) = 0,0072 \text{ м}^2$$

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

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

$$W_p = \frac{S_{\text{окн}} k_{\text{зап}}}{\pi d_{\text{пр.л}}^2} \quad (2.6.2)$$

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

$$W_p = \frac{0,0072 \cdot 0,65}{1,76 \cdot 10^{-6}} = 1307$$

В дальнейших расчётах принимаем количество витков в обмотке, равное 1300.

## 2.7 Расчёт активного сопротивления катушек электромагнита

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

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

$$\Delta t = \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta l - P}{2} = \frac{0,13 - 2 \cdot 0,025 - 2 \cdot 0,002 - 0,004}{2} = 0,036 \quad (2.7.1)$$

В свою очередь  $N$  можно определить следующим образом:

$$N_{cl} = \frac{\Delta t}{d_{np.u}} = \frac{0,036}{0,00151} = 23,241 \quad (2.7.2)$$

Принимаем  $N_{cl} = 23$

Отсюда радиус скругления определяется по следующей формуле:

$$r_{скр.об} = \frac{(N_{cl} + 1)d_{np.u}}{2} = \frac{(23 + 1) \cdot 0,00151}{2} = 0,018 \quad (2.7.3)$$

Длина среднего витка катушки равна:

$$l_{cp} = 2(b1 + A1 + 2\Delta l) + 2\pi \cdot r_{скр.об} = 2(0,025 + 0,05 + 2 \cdot 0,002) + 2\pi \cdot 0,018 = 0,242 \quad (2.7.4)$$

Длина провода катушки по полученным данным составляет:

$$l_{об} = W \cdot l_{cp} = 1300 \cdot 0,242 = 353,407 \text{ м} \quad (2.7.5)$$

Активное сопротивление катушки:

$$R_{об} = 4 \cdot \rho_m \cdot \frac{l_{np.об}}{\pi \cdot d_{np}^2} = 4 \cdot 0,0175 \cdot \frac{353,407}{1,76 \cdot 10^{-6}} = 3,5 \text{ Ом} \quad (2.7.6)$$

где:  $\rho_m = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  удельное сопротивление меди.

Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии:

$$R_{об.гор} = R_{об} \cdot (1 + \tau_m \cdot \Delta T) = 3,5 \cdot (1 + 0,0038 \cdot 55) = 4,231 \text{ Ом} \quad (2.7.7)$$

где:  $\tau_m$  – температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом · °С

$\Delta T$  – перегрев обмотки в рабочем состоянии, °С

Полученные в данном разделе параметры будут в дальнейшем необходимы для использования при решении системы уравнений в разделе математическое моделирование работы установки электропривода при дегазации нефти.

Таким образом, основными параметрами, которыми мы будем руководствоваться при моделировании это:

1. Масса подвижных частей (якоря) электромагнитного привода – 391,1 кг;
2. Количество витков в катушке - 1300 проводом марки ПЭТВ-1 диаметром 1,5 мм;
3. Активное сопротивление катушек:
  - в холодном состоянии – 3,5 Ом,
  - в горячем состоянии – 4,231 Ом;
4. Жесткость пруженного подвеса -  $3.865 \cdot 10^7$  Н/м;
5. Расчётный начальный зазор - 2 мм.

Полученные основные параметры колебательной системы позволяют увеличить производительность активации до  $0,0007705 \text{ м}^3/\text{с} = 2,77 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### 3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1 Уравнения электрических контуров

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

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

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

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

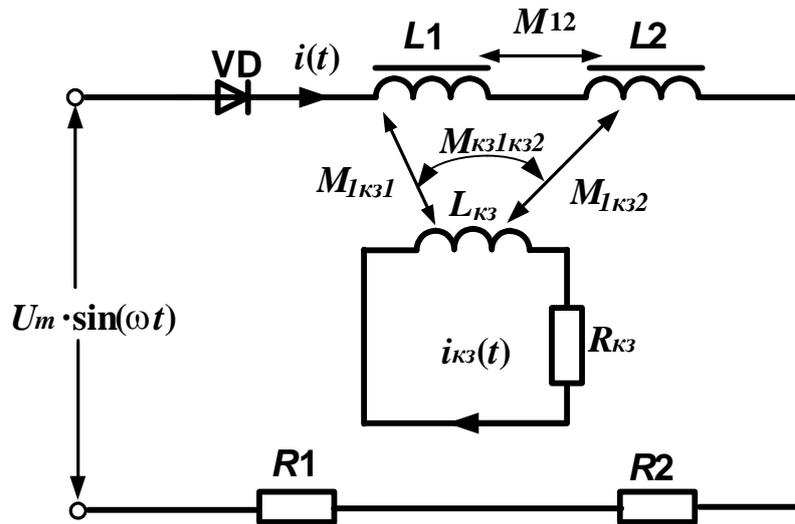


Рисунок 3.1 – Схема замещения электрических контуров электропривода

Рисунок 3.1 включает в себя следующие элементы:

- $L_1, L_2$  – индуктивности катушек;
- $R_1, R_2$  – активные сопротивления катушек;
- $M_{12}$  – взаимная индуктивность между катушками;
- $L_{к3}, R_{к3}$  – индуктивность и активное сопротивление расчётного короткозамкнутого контура соответственно;
- $M_{1к31}, M_{1к32}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и катушками;
- $M_{к31к32}$  – взаимоиндуктивность между к.з. витками.

Рассчитаем параметры электрического контура для начального зазора.

Активное сопротивления катушек по заданию:

$$R_1 = R_2 = R_{ак}$$

Активное сопротивление КЗ рассчитывается по формуле:

$$R_{к3} = \rho_{к3} \cdot \frac{\pi \cdot l_{к3}}{S_{к3}} = 0,047 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,14}{100} = 4,865 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \quad (3.1.1)$$

где :  $\rho_{к3}$  - проводимость материала к.з. витка (нержавеющая сталь);

$S_{к3}$  - сечение к.з. витка.

$l_{к3}$  -длина к.з. витка, которая определяется следующим образом:

$$l_{кз} = \pi \cdot D_{кз} = 0,104 м \quad (3.1.2)$$

$$\text{где: } D_{кз} = \frac{((A1 + b1) + 0,01)}{2} = 0,033 м \text{ - диаметр к.з витка.} \quad (3.1.3)$$

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

$$L = \frac{\mu_0 \mu_{сер} W^2 S_{сер}}{k1 \cdot \left( \frac{\delta_0}{\sigma} \mu_{сер} + l_m \right) + 10 \cdot \Delta t}, \quad (3.1.4)$$

где:  $\mu_0$  - магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{сер}$  - относительная магнитная проницаемость стали Ст10;

$S_{сер}$  - поперечное сечение сердечника магнитопровода, которое определяется формулой:

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

$W$  - число витков катушки;

$k1$  - конструктивный коэффициент;

$\sigma$  - коэффициент, учитывающий рассеяние;

$\delta_0$  - величина зазора;

$l_m$  - длина средней линии замыкания магнитного потока;

$\Delta t$  - толщина обмотки.

$$L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 1300^2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot \left( \frac{0,002}{10} \cdot 4000 + 0,47 \right) + 10 \cdot 0,036} = 0,499 Гн \quad (3.1.6)$$

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{кз} = \mu_0 \cdot \pi \cdot D_{кз} \cdot \left( \ln \left( 8 \cdot \frac{D_{кз}}{d_{кз}} \right) - 1,75 \right) = 9,899 \cdot 10^{-4} Гн \quad (3.1.7)$$

Рассчитываем значения взаимных индуктивностей:

$$M = \frac{\mu_0 \mu_{сер} W^2 S_{сер}}{k2 \cdot \left( \frac{\delta_0}{\sigma} \mu_{сер} + l_m \right) + 10 \cdot \Delta t}, \quad (3.1.8)$$

$$M = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 1300^2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot \left( \frac{0,002}{10} \cdot 4000 + 0,47 \right) + 10 \cdot 0,036} = 0,249 Гн$$

где:  $k_2$  – конструктивный коэффициент, учитывающий взаимное расположение обмоток.

Взаимоиндуктивность между короткозамкнутыми витками:

$$M_{кз} = \frac{W \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X_0 - x) + h_{об}} = \frac{1300 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}}{(7 \cdot 10^{-3} - 0) + 0,03} = 5,521 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} \quad (3.1.9)$$

Уравнение для основного контура определяется по формуле:

$$U_m \sin \omega t = i_k \cdot R_k + \frac{d\Psi_{\Sigma}}{dt} \quad (3.1.10)$$

где:  $\Psi_{\Sigma}$  – суммарное потокосцепление катушек  $L1, L2$

$i_k$  – ток, протекающий в основном контуре;

$R_k$  – Активное сопротивление основного контура.

$\Psi_{\Sigma}$  – суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\Psi_{\Sigma} = \Psi_1 + \Psi_2, \quad (3.1.11)$$

$\Psi_1$  – суммарное потокосцепление катушки  $L1$ , представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимными индуктивными связями.

$\Psi_2$  – суммарное потокосцепление катушки  $L2$ , представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимными индуктивными связями.

$\Psi_1$  суммарное потокосцепление катушки  $L1$  определяется как:

$$\Psi_1 = \Psi_{соб.инд1} + \Psi_{в.инд1} + \Psi_{в.инд.K1}, \quad (3.1.12)$$

где:

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

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

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

$\Psi_2$  – суммарное потокосцепление катушки  $L2$  определяется как:

$$\Psi_2 = \Psi_{соб.инд2} + \Psi_{в.инд2} + \Psi_{в.инд.K2}, \quad (3.1.13)$$

где:

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

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

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{\kappa 3} \cdot M_{1\kappa 3 2}$ , - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение 3.1.1:

$$U_m \sin \omega t = i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{d\Psi_2}{dt} \quad (3.1.14)$$

где: потокосцепление  $\Psi_1, \Psi_2$  будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.К1}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_1}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 3 1}}{dt}, \quad (3.1.15)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.К2}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_2}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 3 2}}{dt}, \quad (3.1.16)$$

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

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \\ & + i_{\kappa} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 2}}{dt} \right) + \\ & + \frac{di_{\kappa}}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\kappa 3 1} + M_{1\kappa 3 2}); \end{aligned} \quad (3.1.17)$$

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

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & Um \cdot \sin(\omega t) - i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - \\ & - i_{\kappa} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\kappa 3 1} + M_{\kappa 3 2} + M_{\kappa 3 2} + M_{\kappa 3 1}) = \\ = & \frac{di_{\kappa}}{dt} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 3 2}}{dt} \right); \end{aligned} \quad (3.1.18)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

$$0 = i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} + \frac{d\Psi_{\kappa 3 1}}{dt}; \quad (3.1.19)$$

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

$$\Psi_{кз} = \Psi_{соб.инд.К} + \Psi_{в.инд.К} + \Psi_{в.инд.К1} + \Psi_{в.инд.К2}, \quad (3.1.20)$$

где:

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

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

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

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

Перепишем уравнение 3.1.19:

$$\frac{d\Psi_{кз}}{dt} = \frac{di_{кз}}{dt} (L_{кз} + M_{кз1кз2} + M_{1кз1} + M_{1кз2}) \quad (3.1.21)$$

### 3.2 Уравнение механического контура

Схема модуля устройства механического контура, учитывающая массу колебательной системы, жёсткость пружины представлена на рисунке 3.2.

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

$$m \cdot \frac{d^2x(t)}{dt^2} + R \cdot \frac{dx(t)}{dt} + k \cdot x(t) = F(t) \quad (3.2.1)$$

где:

$m$  -общая масса;

$R$  – коэффициент демпфирования;

$k$  – коэффициент жесткости;

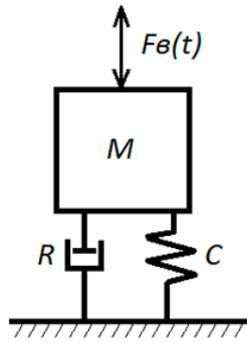


Рис. 3.2 – Расчётная схема модуля устройства

где:  $M$  – масса колеблющихся элементов,  $C$  – жёсткость пружинного подвеса,  $R$  – сопротивление механических потерь,  $F_{\delta}(t)$  – возмущающая сила.

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

Проводим аналогичные расчеты для двух других пар лотков. В результате расчётов составим таблицу 3.2.2 постоянных коэффициентов системы дифференциальных уравнений.

Таблица 3.2.2 – Постоянные коэффициенты системы дифференциальных уравнений

	Активатор 1 1x1,9x0,03	Активатор 2 1x2,5x0,03	Активатор 3 1x3,2x0,03
Активное сопротивление обмоток электромагнита, Ом	3,5	3,5	3,5
Активное сопротивление к.з.к, Ом	$4,865 \cdot 10^{-5}$	$4,865 \cdot 10^{-5}$	$4,865 \cdot 10^{-5}$
Жёсткость пружины подвеса активатора, Н/м	$5,766 \cdot 10^6$	$7,56 \cdot 10^6$	$9,65 \cdot 10^6$
Масса колебательного контура ВСМА, кг	233,7	306,4	391,1
Коэффициент механических потерь начальный, Н·с/м	4639	6082	7763

Найденные коэффициенты используются при составлении дифференциальных уравнений для анализа режимов работы установки электропривода.

### 3.3 Система уравнений работы электропривода установки

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

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

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_k \cdot R_k - i_k \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \quad (3.3.1)$$

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

$$\frac{i_{k3}}{dt} = \frac{-i_{k3} \cdot R_{k3} - i_{k3} \left( \frac{L_{k3}}{dt} + \frac{M_{k31k32}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_{k3}}, \quad (3.3.2)$$

Запишем уравнение для механического контура:

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

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

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad (3.3.4)$$

Тогда перепишем общее уравнение движения колебательного контура:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t)}{m} - \frac{R}{m} y - \frac{kx}{m}, \quad (3.3.5)$$

где:  $F(t)$  - возмущающая сила;

$J$  - намагничивающая сила одного стержня, Н;

$S_{пол}$  - сечение полюсного наконечника, м<sup>2</sup>;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;

$x$  – амплитуда колебаний активатора;

$X_0$ -зазор между активатором и магнитопроводом, м.

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_k}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_k \cdot R_k - i_k \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \\ \frac{di_{k3}}{dt} = \frac{-i_{k3} \cdot R_{k3} - i_{k3} \left( \frac{L_{k3}}{dt} + \frac{M_{k31k32}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_{k3}}, \\ \frac{dy}{dt} = \frac{\mu_0 \cdot S_{\text{пол}} \cdot 2J(I)^2}{m(X_0 - x)^2} - \frac{R}{m}y - \frac{kx}{m}, \\ \frac{dx}{dt} = y \end{array} \right.$$

### 3.4 Алгоритм расчёта системы уравнений

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

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

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

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

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

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

Алгоритм расчетов учитывает соответствующие коэффициентами, изменяющиеся во времени.

Матрица для алгоритма расчета выглядит следующим образом

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

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

## 4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

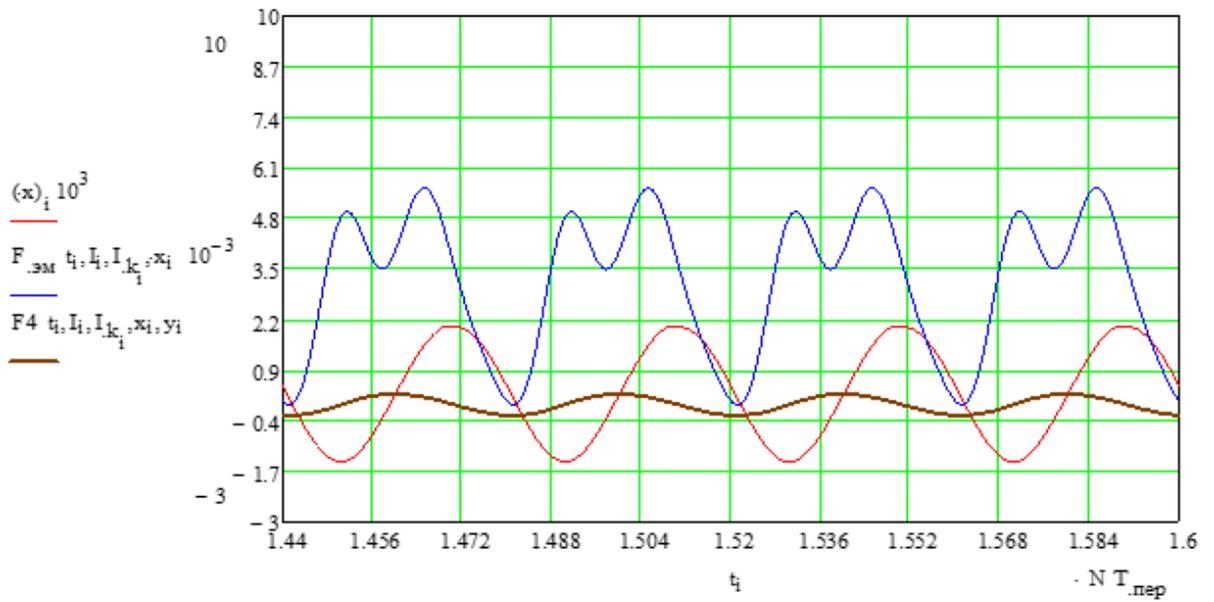
### 4.1 Оптимизация резонансных режимов работы электропривода установки при $R_{m0}=7763$ кг/с

Проанализируем работу активатора при обработке нефти в установке для дегазации. При проведении анализа необходимо определить начальный воздушный зазор. Для его определения проведём расчёты при частоте 25 Гц, которая соответствует резонансу для указанных значений  $R_{m0}$  и массы колебательной системы. Соблюдая условие ограничения допустимого тока в проводнике катушек, который составляет не более 4,6 А, необходимо при уменьшении частоты снижать и величину питающего напряжения, соблюдая, например, постоянство соотношения  $U/f=\text{const}$ .

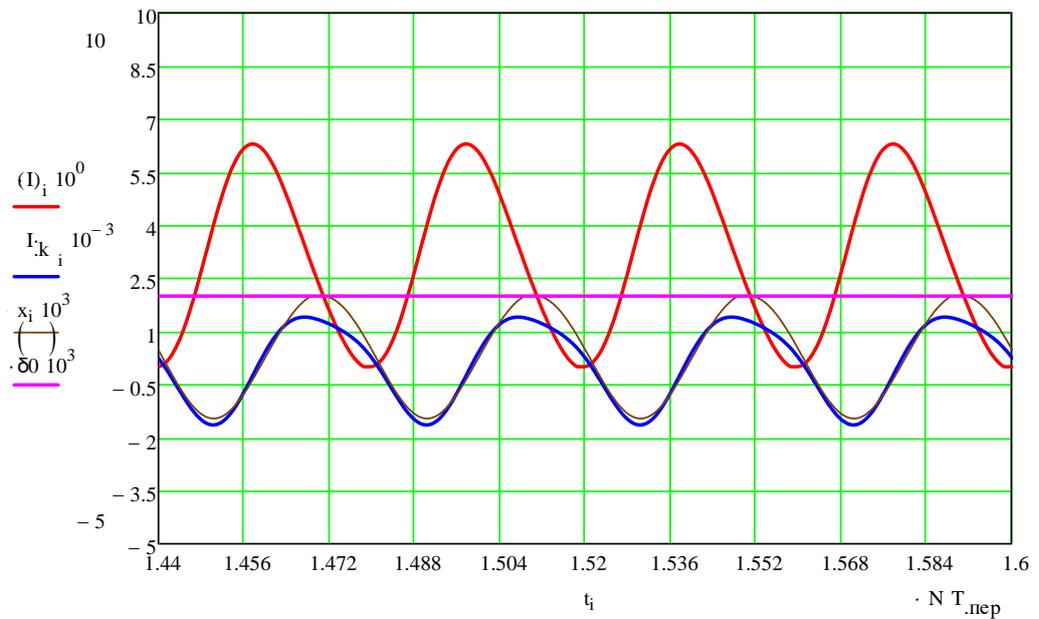
До начала моделирования было найдено усредненное значение механического сопротивления в нефти  $R_{m0} = 7763$  кг/с. Для анализа необходимо рассмотреть временные характеристики колебательной системы в установившемся режиме.

Учитывая тот факт, что принцип работы установки резонансный, необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения от 23,5 до 26,5 Гц с шагом 0,5 Гц для определения зоны резонансной частоты колебаний активатора, обеспечивающей максимальную амплитуду колебаний.

На рисунке 4.1.1(а) и 4.1.1(б) приведены характерные зависимости основных параметров вибратора: амплитуда колебаний, начальный зазор, электромагнитная сила, тока в основной цепи и тока в короткозамкнутых контурах в зависимости от времени.



а)



б)

Рисунок 4.1.1 – Графики изменения основных параметров работы активатора нефти при  $R_{мех} = 7763 \text{ кз/с}$ ,  $U = 707,107 \text{ В}$ ,  $f = 25 \text{ Гц}$

$X_i$  – амплитуда колебаний активатора;

$F_{эм}$  – электромагнитная сила;

$X_0$  – начальный зазор;

$I$  – ток в основной цепи;

$I_k$  – ток в короткозамкнутых контуре.

F4 – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.1.1 следует, что при частоте питающего напряжения 25 Гц и напряжении 707,107 В амплитуда колебаний активатора практически равна начальному зазору 0,002 м, производительность активации при этом  $Q=4,211$  м<sup>3</sup>/час. Кроме этого можно увидеть, что изначально выставленный зазор практически выбирается полностью, обеспечивая максимальную производительность работы установки.

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

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

Таблица 4.1.1 – Данные расчетов частотных характеристик для нефти

f, Гц	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5
U, В	707,107	707,107	707,107	707,107	707,107	707,107	707,107
$\Delta x$ , мм	1,49	1,725	1,768	1,799	1,74	1,491	1,209
Id, А	3,731	3,722	3,743	3,776	3,753	3,701	3,617
V, м3/час	2,246	3,562	4,119	4,211	4,02	2,491	1,355

На основе полученных данных, на математической модели построим графики частотных характеристик работы активатора при дегазации нефти.

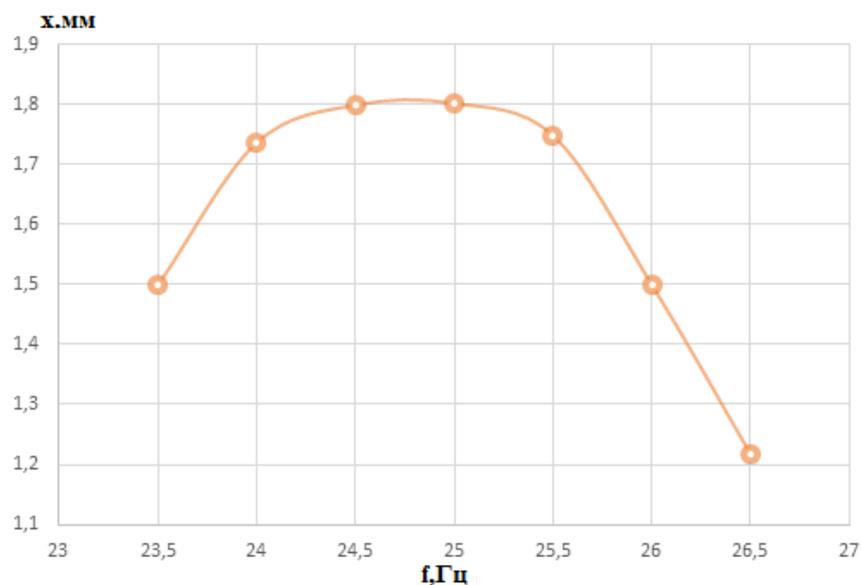


Рисунок 4.1.2 – Изменение амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения

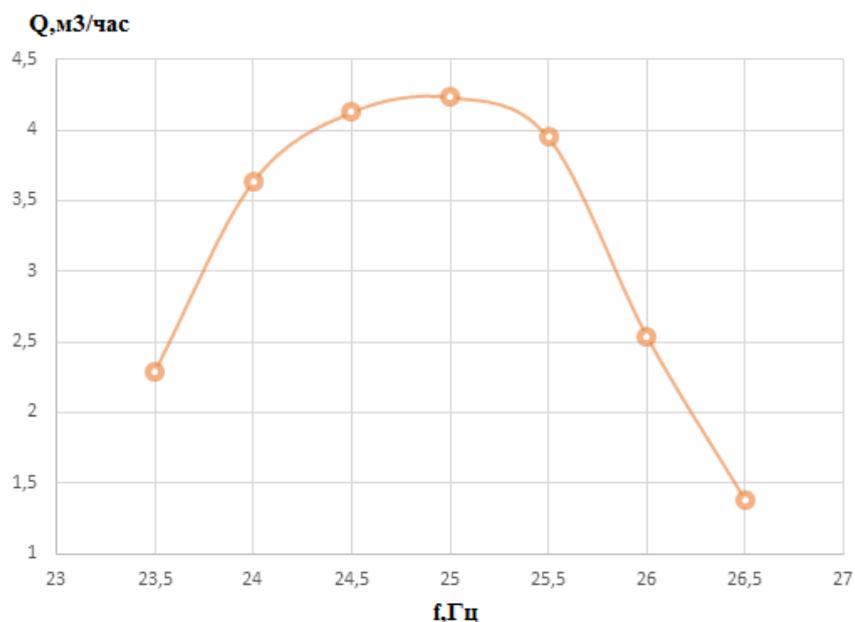


Рисунок 4.1.3 – Изменение производительности активации от частоты питающего напряжения

Как видно из рисунка 4.1.2 и 4.1.3 при механическом сопротивлении, равном 7763 кг/с. перекачиваемой нефти, при частоте 25 Гц наблюдается максимальное значение амплитуды колебаний активатора, равное 1,799 мм. При этом значение тока в основном контуре равно 3,766 А при напряжении 707,107

В. Максимальная производительность активации одного модуля виброобработки наблюдается при частоте 25 Гц и составляет не менее  $Q=4,211 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Таким образом, изначально выставленный зазор практически выбирается полностью, обеспечивая максимальную производительность работы установки. Работа вибратора не всегда осуществляется над веществами имеющие сложные реологические свойства, имеет место поиск оптимальной резонансной частоты для среды с определенным механическим сопротивлением. Этим мы сможем добиться более высокой производительности.

Для обеспечения максимальной производительности установки, необходимо оптимизировать резонансный режим работы установки для дегазации нефти, изменяя такие данные как, величина резонансной частоты, масса активатора.

#### **4.2 Оптимизация производительности активации резонансных режимов работы электропривода установки при изменении массы активатора**

Следующим научным исследованием на стадии разработки установки, является изменении массы активатора. При изменении массы активатора, так же изменяется ее ширина, жесткость пружинного подвеса и механическое сопротивление. Произведем аналогичный анализ для другого активатора, обладающего следующими параметрами:

- Размеры активатора: длина- 1 м, ширина -2,5м, высота бортов –0,03м, толщина материала лотка- 0,004м;
- Постоянный начальный зазор  $X_0=0,002 \text{ м}$  ;
- Собственная частота системы  $f_0= 25 \text{ Гц}$  ;
- Механическое сопротивление  $R_{m0}=6082 \text{ кг/с}$ .

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления  $R_{m0}=6082 \text{ кг/с}$ , и полученные данные заносятся в таблицу 4.2.1.

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

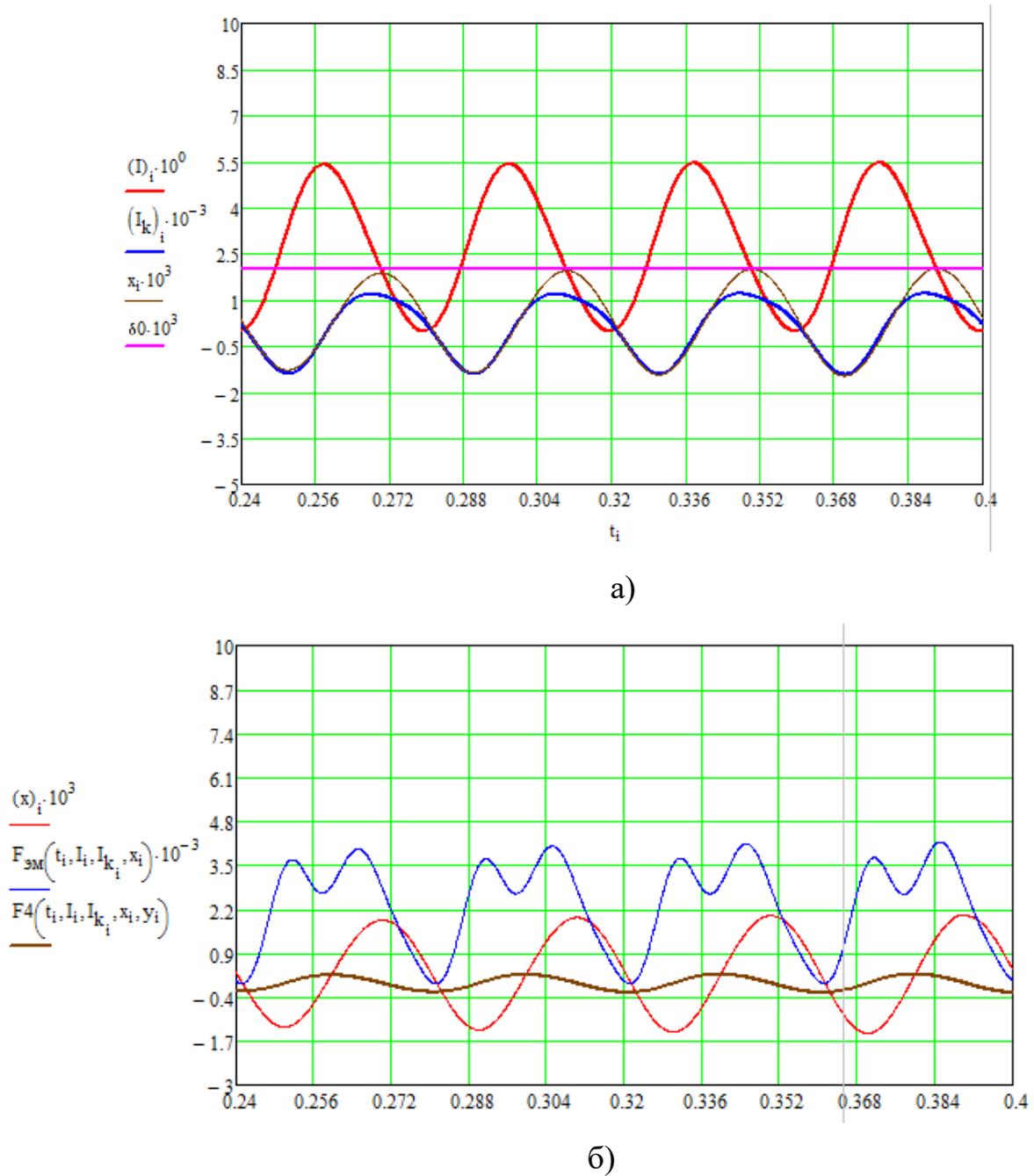


Рисунок 4.2.1 – Графики основных параметров работы модуля для нефти при  $R_{мех} = 6082 \text{ кг/с}$ ,  $U = 615,183 \text{ В}$ ,  $f = 25 \text{ Гц}$

$X_i$  – амплитуда колебаний активатора;

$F_{эм}$  – электромагнитная сила;

$X_0$  – начальный зазор;

I-ток в основной цепи;

Iк- ток в короткозамкнутых контуре.

F4 – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.2.1 следует, что при частоте питающего напряжения 25 Гц и напряжении 615 В амплитуда колебаний активатора практически равна начальному зазору 0,002 м., при которой производительность активации является максимальной  $Q=4,11$  м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 4.2.1 – Данные расчетов частотных характеристик для нефти

f, Гц	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5
U, В	615,183	615,183	615,183	615,183	615,183	615,183	615,183
Δх, мм	1,43	1,651	1,782	1,785	1,664	1,429	1,161
Id, А	3,243	3,244	3,258	3,273	3,261	3,215	3,144
V, м <sup>3</sup> /час	1,988	3,121	4,006	4,11	3,398	2,193	1,2

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

Как видно из рисунка 4.2.2 и 4.2.3 при механическом сопротивлении, равном 6082 кг/с, при частоте 25 Гц наблюдается максимальное значение амплитуды колебаний активатора, равное 1,785 мм. При этом значение тока в основном контуре равно 3,273 А при напряжении 438 В. Максимальная производительность активации наблюдается также при частоте 46 Гц и составляет не менее  $Q=4,11$  м<sup>3</sup>/час.

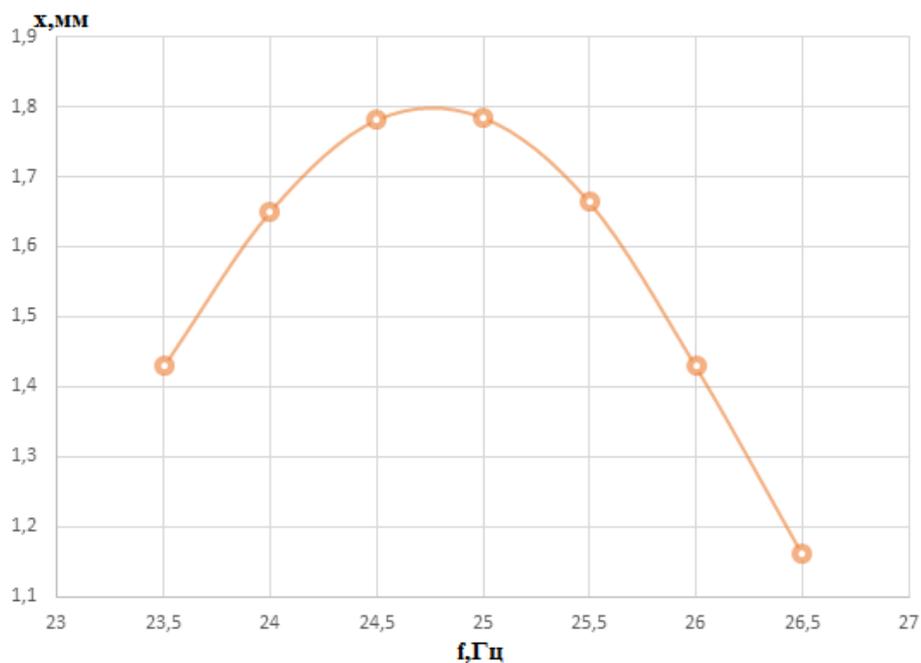


Рисунок 4.2.2 – Изменение амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения

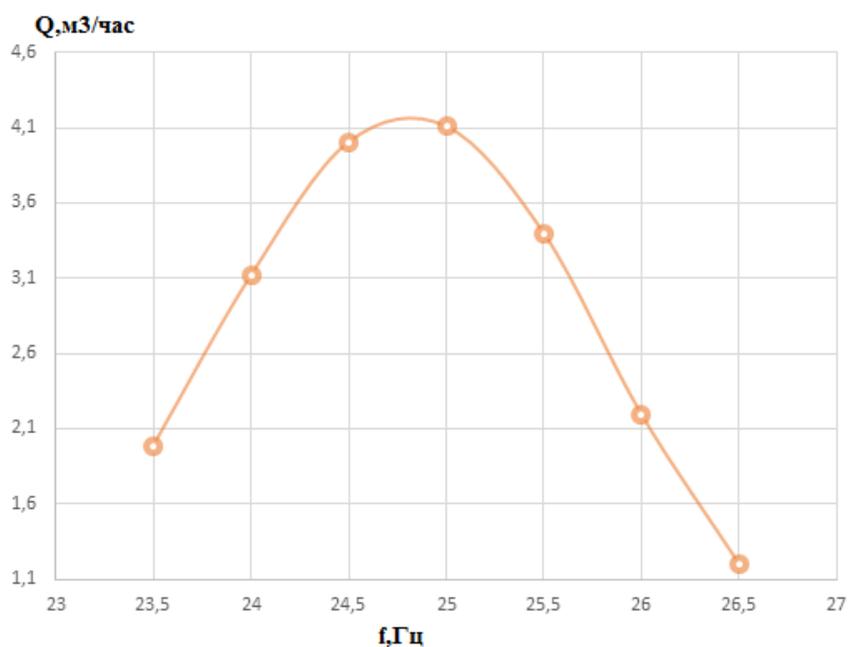


Рисунок 4.2.3 – Изменение производительности активации от частоты питающего напряжения

Произведем анализ режима работы для третьей пары лотков обладающих следующими показателями:

- Размеры активатора: длина- 1 м, ширина -1,9м, высота бортов –0,03м, толщина материала лотка- 0,004м;
- Постоянный начальный зазор  $X_0=0,002$  м ;
- Собственная частота системы  $f_0= 25$  Гц ;
- Механическое сопротивление  $R_{m0}=4639$  кг/с.

Типичные графики изменения основных показателей колебательного процесса для выше обозначенных параметров работы активатора приведены на рис 4.3.1.

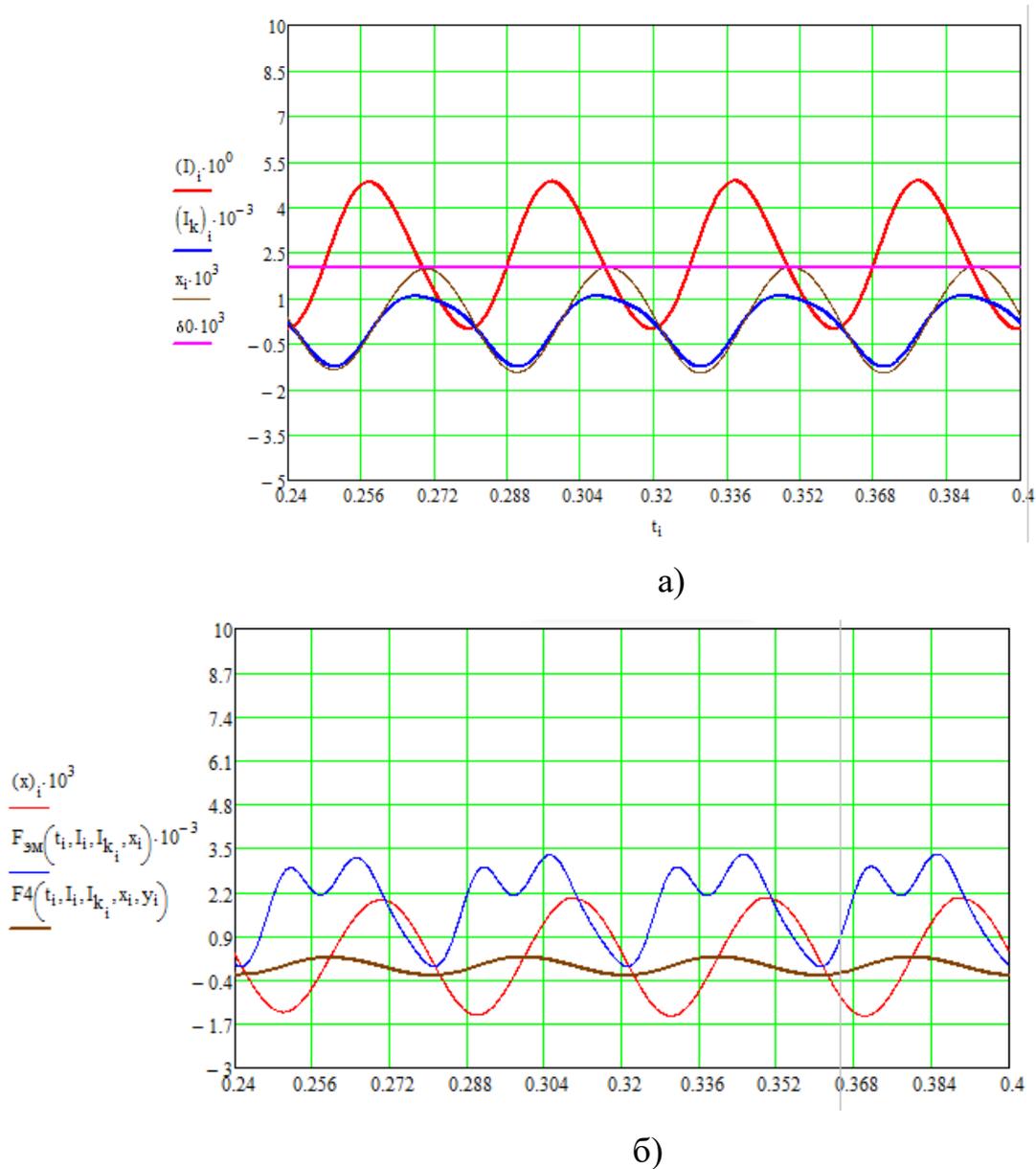


Рисунок 4.3.1 – Графики основных параметров работы модуля для нефти при  $R_{mex} = 4639$  кг/с,  $U=548$  В,  $f=25$  Гц

$X_i$  – амплитуда колебаний активатора;

$F_{эм}$  – электромагнитная сила;

$X_0$  – начальный зазор;

$I$  – ток в основной цепи;

$I_k$  – ток в короткозамкнутом контуре.

$F_4$  – ускорение колебаний активатора.

Из рисунка 4.2.1 следует, что при частоте питающего напряжения 25 Гц и напряжении 548 В амплитуда колебаний активатора практически равна начальному зазору 0,002 м., при которой производительность активации является максимальной  $Q=4,233$  м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 4.2.1 – Данные расчетов частотных характеристик для нефти

f, Гц	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5
U, В	548,008	548,008	548,008	548,008	548,008	548,008	548,008
$\Delta x$ , мм	1,499	1,737	1,8	1,803	1,749	1,5	1,217
$I_d$ , А	2,89	2,884	2,9	2,915	2,909	2,868	2,804
V, м <sup>3</sup> /час	2,288	3,634	4,127	4,233	3,947	2,539	1,379

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

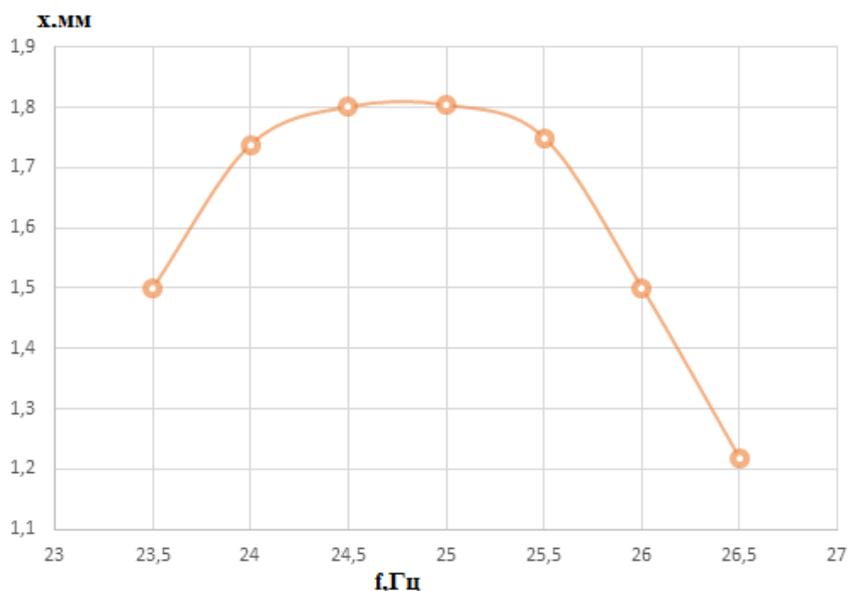


Рисунок 4.2.2 – Изменение амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения

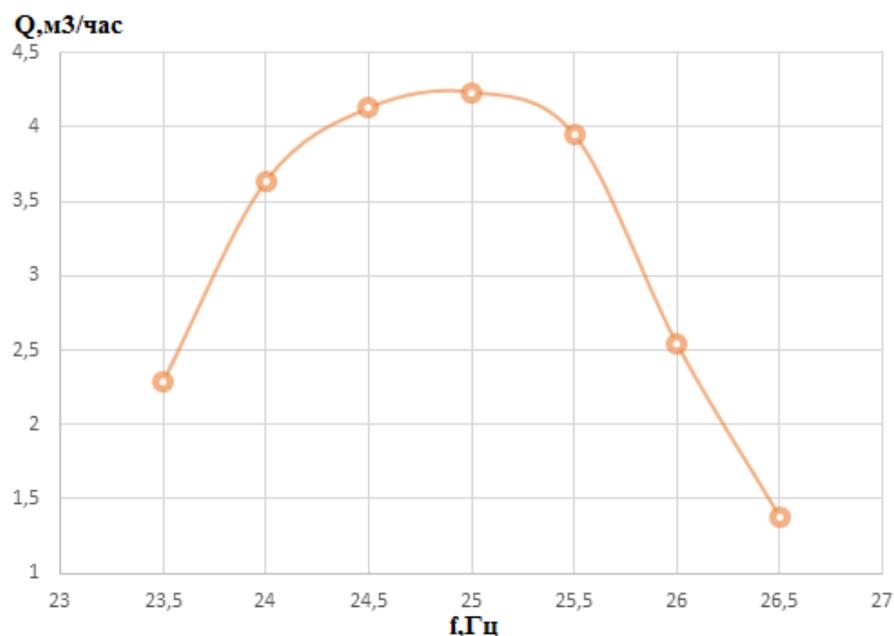


Рисунок 4.2.3 – Изменение производительности активации от частоты питающего напряжения

Как видно из рисунка 4.2.2 и 4.2.3 при механическом сопротивлении, равном 4639 кг/с, при частоте 25 Гц наблюдается максимальное значение амплитуды колебаний активатора, равное 1,803 мм. При этом значение тока в основном контуре равно 2,915 А при напряжении 548 В. Максимальная производительность активации наблюдается также при частоте 25 Гц и составляет не менее  $Q=4,233$  м³/час.

Производительность установки перекачиваемой нефти с более низким показателем механического сопротивления будет более эффективна, чем при более высоком. Это объясняется тем, что процесс дегазации будет эффективнее при меньших значениях вязкости нефти. Следовательно, работа устройства будет более эффективна при механическом сопротивлении равном 4639 кг/с.

Таким образом, при более низких показателях частоты, амплитуда колебаний во всех трех случаях будет неравномерна, это может привести к разрушению активатора. Главным фактором, при выборе режима работы вибратора, является производительность. Частота питающего напряжения при котором производительность является максимальной - 25 Гц. При

максимальном увеличении питающего напряжения и отклонении от диапазона резонанса производительность активации нефти совсем мала и имеет минимальный размах амплитуд колебаний.

## **5 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВКИ ДЕГАЗАЦИИ**

### **5.1 Общие положения**

В зависимости от общей производительности установки и конкретных габаритов области применения целесообразно использовать принцип компоновки, предусматривающий конструктивное размещение установки в резервуаре для дегазации нефти.

### **5.2 Описание возможного места размещения установки в составе НГС 0,6-2000**

Исходя из анализа принципов действия установки осреднения и технологии электромагнитной активации становится ясно, что предполагаемое размещение установки – это выбранный ранее сепаратор, в котором происходят основные этапы технологического процесса дегазации нефти. Предполагаемое место размещения изображено на рисунке 5.2.1.

Разрабатываемая технология магнитной активации газонефтяной смеси предполагает её внедрение в уже существующие установки для дегазации нефти. В связи с этим возникают ограничения, связанные с конструктивными особенностями, которые можно определить по рисунку 2.1.

Габариты основных элементов сепараторы были определены ранее в разделе 2. Основным параметром, определяющим габаритные размеры области применения устройства, в нашем случае является диаметр сепаратора. Обработка смеси предполагает, что устройство должно размещаться в потоке нефтепродукта. Следовательно, разрабатываемое устройство и его элементы должны размещаться внутри потока нефтепродукта и при этом не создавать дополнительные препятствия течению.

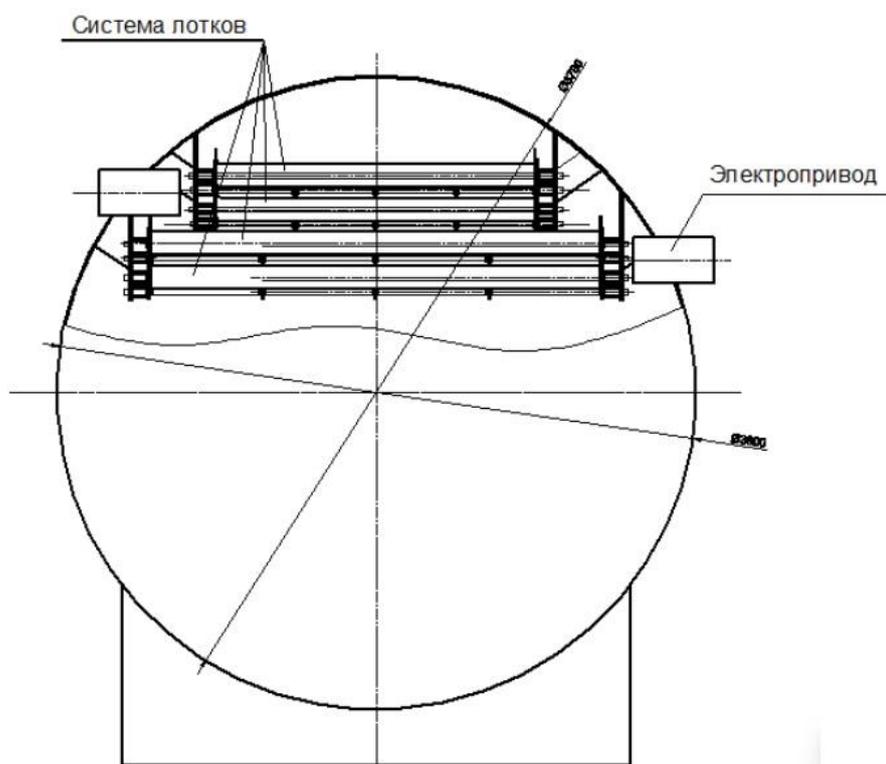
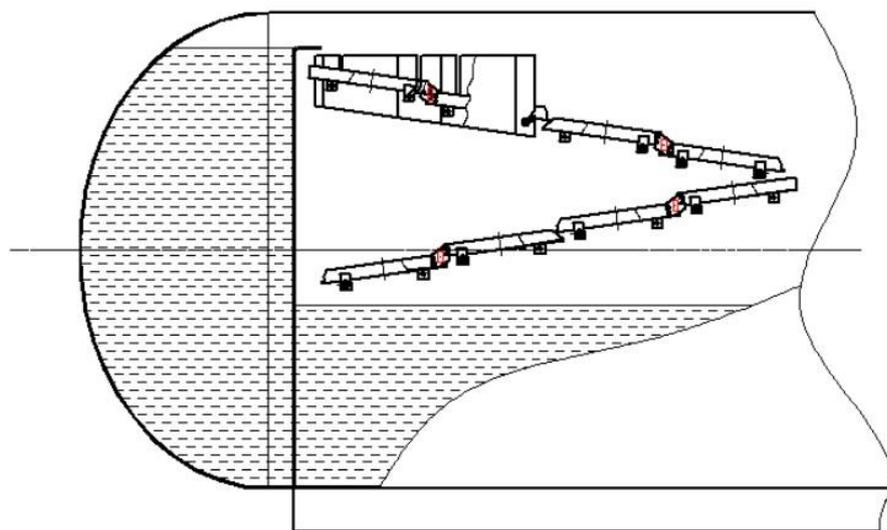


Рисунок 5.2 1 – Конструктивное размещение электропривода

Данное требование можно выполнить, если установить массогабаритные размеры активаторов в соответствии с габаритными размерами выбранного прототипа. Ранее было установлено, что для обеспечения заданной производительности активации разрабатываемое устройство ВСМА состоит из системы трех пар лотков (активаторов) . Три активатора ВСМА размещаем на одном уровне в общей конструкции

### 5.3 Разработка схемы подключения установки

Промышленная энергосистема позволяет осуществить подключение виброактиватора как на однофазную сеть, так и на трехфазную. Исходя из полученных данных анализа режимов работы активаторов, были определены общие рекомендации для всей установки. Используем однофазную схему питания, при этом:

- 1) Фазный ток будет равен 4,6 А;
- 2) При изменении механического сопротивления  $R_{m0}$  от 4639 до 7763 кг/с резонансная частота установки должна быть в диапазоне от 23,5 до 26,5 Гц, что можно обеспечить подачей напряжения, соответствующей частоты.
- 3) Напряжение, которое необходимо подавать на установку обрабатываемой нефти колеблется от 548 В до 708 В.

Основными элементами схемы подключения установки являются активатор, преобразователь частоты (ПЧ), и блок питания (БП), который включает в себя автоматический выключатель (АВ) и диод. На рисунке 5.3 представлена схема подключения активатора в общем виде.



Рисунок 5.3 – Функциональная схема регулируемого электропривода.

По рассчитанным ранее значениям тока, напряжения и частоты напряжения, приведенными в таблице 5.3., выбираем преобразователь частоты и автоматический выключатель.

Таблица 5.3 – Данные для выбора преобразователя частоты

Диапазон регулирования частот, Гц	от 23,5 до 26,5
-----------------------------------	-----------------

Продолжение таблицы 5.3

Номинальное напряжение сети, В	220
Ток фазы	$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot k_z = 4,6 \cdot 1,2 = 5,52 \text{ А}$ <p><math>I_{\text{max}}</math>-максимальный ток, протекающий в катушке;</p> <p><math>k_z</math>- коэффициент запаса примем равным 1,2</p>

Таким образом, исходя из данных представленных в таблице 5.3 можно выбрать основные элементы электропривода.

### 5.3.1 Выбор преобразователя частоты

По справочным данным выбираем частотный преобразователь производителя Веспер E4-8400-S2L [15]. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены в рисунке 5.3.1 и таблице 5.3.1.



Рисунок 5.3.1 – Внешний вид преобразователя частоты Веспер E4-8400-S2L

Таблица 5.3.1 – Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность ПЧ, кВт	2
Номинальный ток нагрузки, А	7,5
Номинальное напряжение на входе, В	200 – 240, 380 – 480 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 0 В до напряжение питания
Диапазон регулирования частоты, Гц	0,2-650

Данный преобразователь позволяет равномерно и экономичное регулирования производительности путем изменения частоты.

### 5.3.2 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора выбираем диод марки VS-10ETS12-M3 (рисунок 5.3.2) [16]. Характеристики диода приведены ниже:

- $U_{об.мах} = 1200$  В.
- $I_{пр.мах} = 10$  А.
- диапазон рабочих температур  $-60...+125$  С°
- гарантийная наработка не менее – 10000 ч

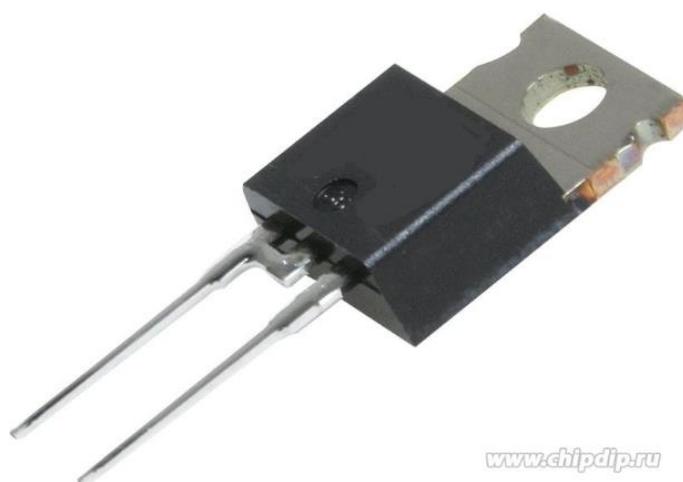


Рисунок 5.3.2 – Внешний вид диода  
VS-10ETS12-M3

С помощью данного диода, помимо высокого быстродействия и малого времени восстановления, можно повысить рабочую частоту.

### 5.3.3 Аппаратура управления

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

### 5.3.4 Аппаратура защиты

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

### 5.3.5 Выбор автоматического выключателя

Для выбора автоматического выключателя отдельного электроприемника:

1.  $I_{\phi} \geq I_{\text{номЭП}} = 5,52 \text{ A}$
2.  $U = 220 \text{ В}$

Используя справочную литературу, выбираем автоматический выключатель типа ВА47-29 [17]. Его параметры приведены в таблице 5.3.5.

Таблица 5.3.5 – Характеристики автоматического выключателя

Номинальный ток, А	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10
Номинальная отключающая способность, А	4500
Род тока:	АС
Время срабатывания, с	0,004
Степень защиты (IP):	IP20
Диапазон рабочих температур (°C)	от -40°C до +50°C
Гарантийный срок эксплуатации (лет)	3

Автоматический выключатель QF используется для защиты электрической схемы от токов короткого замыкания однофазной схемы питания.

## 5.4 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети

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

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{5,52}{1} = 5,52 \text{ А}, \quad (5.4.1)$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot \frac{I_{\text{н.расц}}}{k_{\text{прок}}} = 1 \cdot \frac{8}{1} = 8 \text{ А}. \quad (5.4.2)$$

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

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

Выбираем трехжильный кабель марки ВВГнг(А)-FRLS [18] (установочный провод, с медными жилами, поливинилхлоридная изоляция, поливинилхлоридная оболочка. Используется для прокладки в сухих и влажных помещениях). Сечение жилы  $S=35\text{мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 32\text{А}$

Таким образом, электропривод установки отвечает требованиям конструктивного размещения в газонефтяном сепараторе. В данном разделе были выбраны основные силовые элементы ЭП в соответствии с параметрами рассчитанными ранее.

## **6      ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

### **РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» – определение экономической целесообразности использования электропривода установки с применением технологии виброструйной магнитной активации (ВСМА) для дегазации нефти, а также оценка ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- Произвести планирование научно-исследовательских работ;
- Определить ресурсную и финансовую эффективность исследования.

#### **6.1      Потенциальные потребители результатов исследования**

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Выпускная квалификационная работа посвящена модернизации существующего оборудования для дегазации нефти с применением технологии ВСМА. Новые технологии и модернизация существующего оборудования, являются существенным фактором для успешного продвижения продукта. Современный рынок требует от отечественных производителей коренной реконструкции и модернизации устаревшего производственного оборудования. Совершенствование производственных технологий с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и, таким образом, появление новых продуктов с новыми свойствами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требуют производителям разработать и внедрить новое технологическое оборудование.

Так как применение технологии ВСМА совместимо с любым типом электрооборудования, главной задачей работы является выбор наиболее

выгодного варианта электропривода для рассматриваемой технологии.

Потенциальными потребителями данного исследования являются нефтеперерабатывающие заводы, расположенные на территории РФ, которые заинтересованы в увеличении энергоэффективности и производительности, при процессах обработки нефти.

В нашем случае, для коммерческих организаций критерии сегментации могут быть: место нахождения; промышленность; промышленные товары; размер и другие.

Сегментирование рынка нефтяной промышленности будем проводить по следующим критериям (представлены в таблице 6.1):

- 1) Размер НПЗ, в качестве примера рассмотрим: «Газпромнефть-ОНПЗ»; ЗАО «НефтеХимСервис»; ООО «Томскнефтепереработка»
- 2) Тип электропривода (ЭП).

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид электропривода (ЭП)		
		ЭП переменного тока	ЭП АД с фазным ротором	ЭП с регулирование частоты
Размер компании	Крупные НПЗ «Газпромнефть-ОНПЗ»			
	Средние НПЗ ЗАО «НефтеХимСервис»			
	Мелкие НПЗ ООО «Томскнефтепереработка»			

Фирма А		Фирма Б		Фирма В	
---------	--	---------	--	---------	--

Для составления данной карты было взято три фирмы, которые занимаются производством электроприводов (Фирма А- ГЗ Электропривод, Фирма Б - АО "Тулаэлектропривод", Фирма В - ООО "БЗТпА"). В этом примере сегментации карта показывает, какие ниши на рынке оборудования, не занятые конкурентами или где уровень конкуренции находится на минимальном уровне.

В результате сегментации:

-основные сегменты этого рынка включают в себя использование электропривода с частотным регулированием средних и малых предприятий;

-наиболее перспективным сегментом предложения является привод с частотным регулированием средних предприятий;

-сегмент рынка, которые являются привлекательными для компаний в будущем, является обеспечение частотно-регулируемого электропривода с небольшими динамическими, компаниями.

Преимуществами применения электроприводов с преобразователями частоты с использованием технологии ВСМА на рынке нефтяной промышленности по сравнению с другими видами ЭП являются: более низкая стоимость; минимальные затраты на обслуживание; обеспечение требуемой степени защиты.

По данным на 2018 год, применение ЭП с преобразователем частоты в разных отраслях промышленности составляет около 45% на рынке электроэнергетики электротехники, что составляет большую часть среди разнообразия электроприводов.

## **6.2 Анализ конкурентных технических решений**

С помощью данного анализа в научный проект вносятся коррективы, которые помогают успешно противостоять конкурентам. В ходе проведения анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Для этой цели используется вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта приведена в таблице 6.2.

Так как объектом исследования является электропривод установки с применением технологии ВСМА, то сравнение будем делать на основе данных о двух электроприводах: электропривод переменного тока и регулируемый электропривод с частотным преобразователем, который является объектом

исследования. Данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который будет наиболее конкурентоспособным, а также определить в каком направлении необходимо действовать для его дальнейшего улучшения.

Таблица 6.2 – Оценочная конкурентных технических решений

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

Анализ конкурентных технических решений определяется следующим образом:

$$K = \sum B_i \cdot B_j \quad (6.2)$$

Где:  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_j$  – балл  $i$ -го показателя.

Пример расчета:

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

Результаты показывают, что конкурентоспособность проекта составила 3.72, в то время как у нерегулируемого электропривода 2.8 соответственно. Отсюда следует, что исследуемая научная разработка, в основе которой лежит регулируемый электропривод для дегазации нефти, является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ по техническим и экономическим показателям ресурсоэффективности, а значит заметно отличающимся высоким уровнем качества, в котором заинтересованы покупатели.

### 6.3 SWOT- анализ

SWOT – анализ проводят для того, чтобы исследовать внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Проведение анализа осуществляется в несколько этапов:

- Описание сильных (**Strengths**) и слабых (**Weaknesses**) сторон проекта,
- Выявление возможностей (**Opportunities**) и угроз (**Threats**), которые могут появиться во внешней среде проекта;
- Выявление соответствия внешним условиям среды сильных и слабых сторон исследовательского проекта; составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны (S)</b>  С1. Простота и удобство в эксплуатации;  С2. Безопасность; С3. Низкие расходы;  С4. Время исследования</p>	<p><b>Слабые стороны (W)</b>  Сл1. Результаты требуют экспериментального подтверждения;  Сл2. Недостаточно информации о методе;  Сл3. Не достаточная точность результатов на данном этапе исследования</p>
--	---	--

### Продолжение таблицы 6.3

<p><b>Возможности (О)</b>          В1. Исследование образцов из разных материалов без затрат; В2. Отсутствие разрушения образца; В3. Государственная поддержка исследования; В4. Проведение исследований на любом компьютере</p>	<p>В1С3С4. Благодаря низким материальным и временным затратам, можно исследовать большой теоретический пласт информации для подбора наиболее подходящих характеристик и условий эксперимента; В3С1С2С3С4. Удобство в эксплуатации, безопасность, низкие материальные и временные затраты на исследование способствуют получению государственной поддержки; В4С1. За счет простоты и удобства в эксплуатации, исследование можно проводить на любом компьютере, без специального оборудования.</p>	<p>В1Сл1. Благодаря Возможности проводить исследования для различных материалов, расширяется круг имеющихся экспериментальных данных, с которыми можно произвести сравнение; В1В4Сл2. За счет того, что исследования можно проводить для большого количества материалов и на любом компьютере, а информации о методе не достаточно, есть возможность публикации актуальных статей в научных журналах.</p>
<p><b>Угрозы (Т)</b>          У1. Возникновение конкурентов; У2. Технические сбои, которые могут повлечь за собой потерю наработанной информации</p>	<p>1С3С4. За счет сокращения материальных и временных затрат на исследование, обеспечивается преимущество перед возможными конкурентными разработками; У2С1. Простая технология позволит достаточно быстро воссоздать утерянные результаты.</p>	<p>У1Сл1Сл3. Недостаточная точность результатов, достигнутая на данном этапе исследования, может привести к опережающим активным исследованиям со стороны возможных конкурентов, но простота и доступность данного метода, помогут уменьшить риски.</p>

Применение технологии ВСМА в установках электропривода при дегазации нефти целесообразно. Достоинства превосходят недостатки, к тому же имеются возможности по улучшению проекта.

## 6.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.4.1 Контрольные события проекта

При организации проекта необходимо оптимально планировать сроки проведения работ. В таблице 6.4.1 определены ключевые события проекта, их даты и результаты.

Таблица 6.4.1 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор направления исследований	20.10.2019	Отчет
2	Разработка технического задания	16.01.2020	Бланк задания
3	Разработка календарного плана	20.01.2020	Календарный план-график
4	Теоретические исследования	25.02.2020	Литературный обзор
5	Практические исследования и разработки	20.04.2020	Графики, расчеты
6	Обобщение и оценка результатов	06.05.2020	Отчёт о результатах исследований
7	Оформление расчетно-пояснительной записки	20.05.2020	Расчётно-пояснительная записка

#### 6.4.2 Планирование НИР

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является календарный план, представленный в таблице 6.4.2.

Таблица 6.4.2 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Исполни тели
1	Составление и утверждение технического задания	2	16.01.2020	17.01.2020	НР
2	Разработка календарного плана	2	18.01.2020	19.01.2020	НР, И
3	Подбор и изучение литературных и патентных источников	15	20.01.2020	03.02.2020	И
4	Постановка задач исследования	5	04.02.2020	08.02.2020	И,НР
5	Подготовка методической части	7	09.02.2020	15.02.2020	И
6	Исследование технологии ВСМА при дегазации нефти	9	16.02.2020	24.03.2020	И

Продолжение таблицы 6.4.2

7	Расчет математической модели установки	29	25.02.2020	25.03.2020	И, НР
8	Анализ режимов работы	15	26.03.2020	09.04.2020	И, НР
9	Выбор элементов электропривода	10	10.04.2020	19.04.2020	И
10	Разработка технической документации	11	20.04.2020	31.04.2020	И
11	Оценка экономической эффективности исследуемой технологии	12	01.04.2020	12.05.2020	И
12	Рассмотрение вопросов социальной ответственности	6	13.05.20	18.05.2020	И
13	Оформление пояснительной записки	7	19.05.2020	25.05.2020	И

Для иллюстрации календарного плана построим диаграмму Ганта, таблица 6.4.2– календарный план-график проведения работ с разбивкой по месяцам и декадам, где ■ – научный руководитель, □ – исполнитель работ по проекту.

Таблица 6.4.2 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ														
		Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5		■													
2	5			□												
3	20															
4	6					■										
5	11															
6	12															
7	22															
8	9															
9	5															
10	4															
11	18															
12	14															
13	12															

## 6.5 Бюджет научного исследования

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

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

### Основная заработная плата (компенсация трудозатрат).

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

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

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.5.1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12÷20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя и исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (6.5.2)$$

где:  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (из таблицы 9);  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{22100 \cdot 10,4}{247} = 930,5 \text{ руб.}, \quad (6.5.3)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot k_p = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.}, \quad (6.5.4)$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней –  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 1.3.1).

Таблица 6.5.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: • выходные дни и праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени: • отпуск и невыходы по болезни	60	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	239	247

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.5.2.

Таблица 6.5.2 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	35 000	1,3	45 000	1 979,9	53	104 935
Исполнитель	17 000	1,3	22 100	930,5	128	119 104
<b>Итого:</b>						224 039

### Дополнительная заработная плата.

Данная статья включает сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, таких как: оплата отпусков, выплата вознаграждения за выслугу лет, отклонение от нормальных условий труда и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 104935 \cdot 0,15 = 15740 \text{ руб.},$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным  $0,10 \div 0,15$ ).

В таблице 6.5.3 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.5.3 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	104 935	119 104
Дополнительная зарплата, руб.	15 740	11 910
Зарплата, руб.	120 675	131 014
<b>Итого по статье <math>C_{зн}</math></b>	251 689	

#### Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (6.5.5)$$

где:  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования, фонд социального страхования.)

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.5.4.

Таблица 6.5.4 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	104 935	15 740
Исполнитель	119 104	11 910
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	32 703	
Исполнитель	35 504	
<b>Итого по статье <math>C_{внеб}</math></b>	68 207	

### Прочие расходы.

Расчет стоимости материальных затрат на прочие расходы производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В их стоимость включают транспортно-заготовительные расходы, которые составляют 3÷5% от цены. В эту же статью включаются затраты на оформление документации. Результаты по данной статье представлены в таблице 6.5.5.

Таблица 6.5.5 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные материалы

Наименование	Марка	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	Сутuehjxrf, 500 листов	1	268	268
Тетрадь	ВІС	2	50	100
Ручка шариковая	Paper Mate	2	80	160
Скоросшиватели	-	1	30	30
Степлер	ErichKrause	1	300	300
<b>Всего за материалы</b>				858
<b>Транспортно-заготовительные расходы (3÷5%)</b>				43
<b>Итого по статье <math>C_{np}</math></b>				901

### Накладные расходы.

Затраты организации: печать и копии материалов исследований, оплата электроэнергии, оплата услуг связи и интернета и тд., - не попавшие в предыдущие статьи расходов, являются накладными расходами. Их размер определяет с помощью следующей формулы ( $k_{np}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принят 15%):

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (6.5.5)$$

$$C_{накл} = 0.15 \cdot 251689 = 37753 \text{ руб.}$$

## Амортизация

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

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

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (6.5.6)$$

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

где:  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация будет равна:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p \quad (6.5.7)$$

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

где:  $I$  – итоговая сумма в тыс. руб.;

$m$  – время использования в днях.

## Полная смета затрат

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ. Полная смета затрат приведена в таблице 6.5.6.

Таблица 6.5.6 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1. Заработная плата	251 689
2. Отчисления во внебюджетные фонды	68 207
3. Прочие расходы	901
4. Накладные расходы	37 53
5. Амортизация	2750
<b>Бюджет проекта</b>	<b>361 300</b>

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

- составлена структура работы и на ее основе проведены расчеты сложности НИР, а также ее бюджет;
- рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 361300 рублей.

## 6.6 Определение ресурсной и экономической эффективности исследования

Ресурсоэффективность – это интегральный критерий ресурсоэффективности и определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (6.6)$$

где:  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент проекта;

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

Таблица 6.6 - Ресурсоэффективность

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

Тогда интегральный показатель ресурсоэффективности для нашего проекта равен:

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

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

его реализации.

Оценить экономическую эффективность предлагаемого решения - крайне сложная задача, потому что, потребитель не имеет на данный момент аналогов применения электропривода установки с применением технологии ВСМА.

Таким образом, регулируемый электропривод с преобразователем частоты сейчас остается эффективным, и продолжается развиваться в таких направлениях как, улучшение энергетических, и эксплуатационных характеристик. Благодаря ускоренному развитию силовой полупроводниковой преобразовательной техники, открылись новые возможности применения регулируемого электропривода в реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, где ранее использовались нерегулируемые электроприводы или применение других типов электропривода было нецелесообразно.

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

1) С помощью карты сегментирования была проанализирована перспективность применения технологии ВСМА в установках электропривода при дегазации нефти;

2) С помощью анализа конкурентных технических решений был выбран регулируемый электропривод с частотным преобразователем, при сравнении его с нерегулируемым электроприводом, так как он оказался наиболее предпочтительным вариантом по итогам расчетов.

3) Оценив факторы, влияющие на проект, с помощью SWOT- анализа был сделан вывод о целесообразности осуществления проекта применением технологии ВСМА;

4) Был составлен календарный план – график выполнения работы каждого из участников: научного руководителя и инженера-дипломника.

5) Рассчитан бюджет НИР, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 361300 рублей. руб.;

6) Интегральный показатель ресурсоэффективности, равен 4,45 по 5 –

бальной шкале. Такой результат говорит о том, что данный проект будет эффективным.

По итогам раздела было установлено, что проект отвечает необходимым требованиям в области ресурсоэффективности. Является конкурентоспособным и привлекательным с экономической точки зрения.

## **7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В настоящей выпускной квалификационной работе ведется моделирование установки электропривода вибромагнитной обработки для дегазации нефти. Модернизация и разработка научных основ новых (имитационных) методов исследования для обеспечения: технологической безопасности и отсутствия побочных явлений в процессах дегазации нефти, является актуальной в наше время.

Численное моделирование режима работы вибромагнитной обработки нефти применяется в научных лабораториях и исследовательских институтах, и позволяет получить необходимые теоретические сведения для проведения экспериментов по повышению производительности установки, которая в дальнейшем может быть использована на нефтяных месторождениях.

Моделирование осуществлялось на персональном компьютере (ПК). Рабочая зона – аудитория 125, 8-го корпуса НИ ТПУ, оборудованная системами отопления, пожарной и охранной сигнализации. В аудитории имеются источники естественного и искусственного освещения. Рабочее место – стационарное, оборудованное ПК.

### **7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации [19].

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя (статья 212 «Трудового кодекса Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)) [20].

Нормативная продолжительность рабочего времени согласно статье 91 Трудового кодекса РФ [1] не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно статье 111 Трудового кодекса РФ [19] работникам необходимо предоставить один выходной день при шестидневном рабочем графике.

В соответствии с Приложением 7, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21] виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А - работа по считыванию информации с экрана ВДТ (видеодисплейный терминал) с предварительным запросом; группа Б - работа по вводу информации; группа В - творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня ( таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ [21]

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [22], конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Требования к организации рабочих мест:

- Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на

расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

- Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

- Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм.

- Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

- Рабочее место с ПЭВМ, при работе, вызывающей значительное умственное напряжение, рекомендуется изолировать перегородками от других работников в помещении.

- При выполнении длительных работ с ПЭВМ рабочий стул должен обеспечивать возможность изменения позы с целью минимизации статического напряжения в позвоночном отделе опорно-двигательного аппарата.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21] при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с мониторами (в направлении тыла поверхности одного монитора и экрана другого монитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м. На рисунке 7.1 приведено правильное расположение человека на рабочем месте.

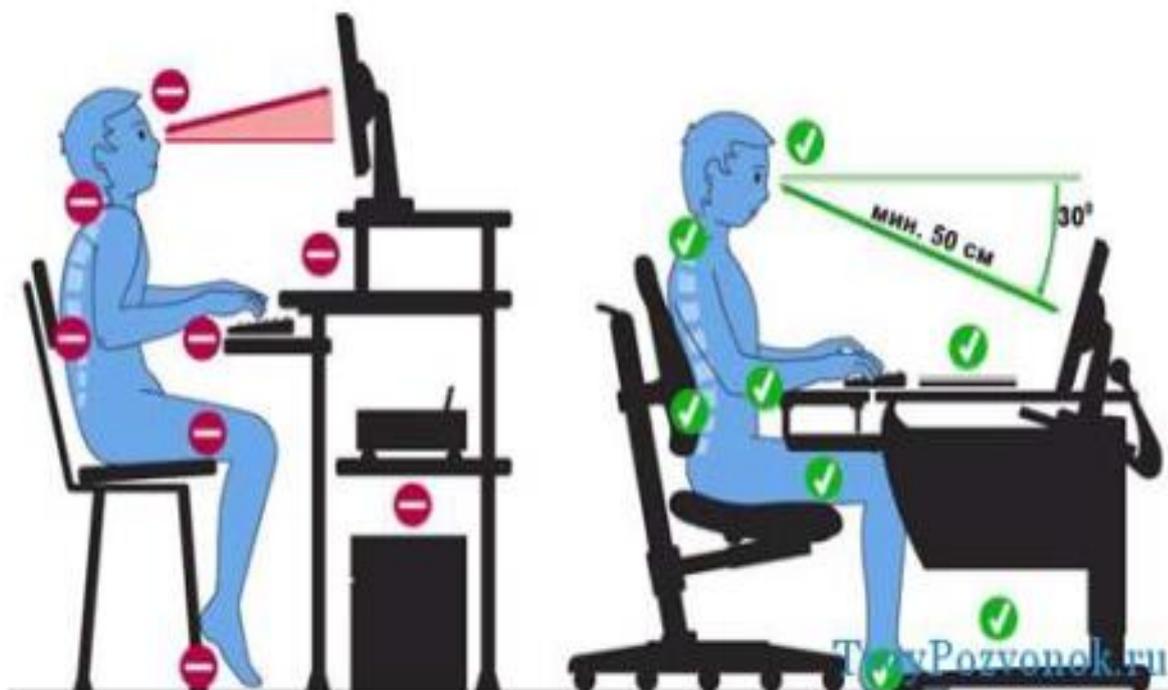


Рисунок 7.1 – Правильное положение тела при работе за компьютером

Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда (нормальная линия взгляда 15 градусов вниз от горизонтали)

## 7.2 Производственная безопасность

В данном разделе рассматривается рабочая зона – аудитория 125, находящаяся в 8 корпусе ТПУ.

В аудитории расположено: 4 ПК, система охраны и сигнализации, маршрутизатор локальной сети (LAN), розетки и проводка сети АС 220 В, освещение.

Составим обобщающую таблицу «Возможные опасные и вредные факторы» (таблица 7.2.1), которая необходима для целостного представления обо всех характерных для рабочего места вредных и опасных факторах, связи их с запроектированными видами работ.

Для идентификации потенциальных опасных и вредных факторов используем ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [23].

Таблица 7.2.1 – Возможные опасные и вредные факторы [23]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[6]
2. Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [8]
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [7]
4. Превышение уровня электромагнитных излучений	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[8]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи , замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. ПУЭ, -7-е изд.-М.: Энергоатомиздат, 2001-640с. [9]

### **Отклонение показателей микроклимата**

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения. Высокая

относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

Санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения, в соответствии с «СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [24].

Таблица 7.2.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата [24]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia* (до 139)	22 - 24	60 - 40	0,1
Теплый	Ia* (до 139)	23 - 25	60 - 40	0,1

\* К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением

Таблица 7.2.3 – Допустимые величины показателей микроклимата [24]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	20,0-25,0	15-75	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-28,0	15-75	0,1-0,2

Таблица 7.2.4 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тел работающих от производственных источников [24]

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на

рабочих местах не должна превышать 25°C - при категории работ Ia [24].

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используется: механизация и автоматизация технологических процессов; устройство систем вентиляции, системы местного кондиционирования воздуха и отопления; установка регламента времени работы [25].

### **Повышенный уровень шума на рабочем месте**

Источником возникновения шума в аудитории 125 являются 4 ПК (процессор, охлаждение внутри системного блока, оптические приводы, DVD-ROM).

Длительное воздействие повышенного шума на рабочем месте способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. [26].

Таблица 7.2.5 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ [27]

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и программирование	86	71	61	4	9	5	2	0	8	50

Уровень шума блока питания компьютера составляет примерно 5–10 дБА, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15–20 дБА, а остальные элементы охлаждения имеют незначительный уровень шума, поэтому их можно не учитывать.

Для защиты от шума согласно «ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» [28] применяется рациональное размещение оборудования.

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

В аудитории 125 предусматривается естественное (окно) и искусственное освещение.

Неудовлетворительное в количественном или качественном отношении освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того явиться причиной травматизма. Вредной для человека является как недостаточная освещенность, так и чрезмерная.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов [21].

Рабочее место соответствует нормам, кратко обозначенным в таблице 7.2.6.

Таблица 7.2.6 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ [21]

Освещенность на рабочем столе:	300-500 лк
Освещенность на экране ПЭВМ:	не выше 300лк
Блики на экране:	не выше 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блесккость источника света:	200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослепленности:	не более 20
Показатель дискомфорта:	не более 15
Отношение яркости	
- между рабочими поверхностями:	3:1-5:1
- между поверхностями стен и оборудования:	10:1

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* [29] – определяет нормы

освещенности (таблица 7.2.7).

Таблица 7.2.7 – Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий [29]

Плоскость (Г-горизонтальная, В-вертикальная) нормирования освещенности и КЕО	Разряд и подразряд зрительно й работы	Искусственное освещение		Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		Освещенность, лк		КЕО* е <sub>н</sub> , %			
		при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
В-1,2 – на экране дисплея	Б-2	-	200	-	-	-	-
Г-0,8 – на рабочих столах	А-2	500/300	400	3,5	1,2	2,1	0,7

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях с ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

### **Повышенный уровень электромагнитных излучений**

В аудитории 125 расположено: 4 ПК, система охраны и сигнализации, маршрутизатор локальной сети (LAN), розетки и проводка сети АС 220 В, освещение

Источники ЭМ полей (излучения): 1. Монитор персонального компьютера; 2. Системный блок ПК; 3. Электрооборудование (сетевые фильтры, люминесцентные лампы, проводка, розетки, выключатели, система охраны и сигнализации); 4. Различные периферийные устройства (клавиатура, мышь); 5. Соседние ПК.

Мероприятия по снижению электромагнитного излучения:

1. Заземление аппаратуры; 2. Оптимальная расстановка рабочих

мест;

3. Удаленность расположения электрооборудования;
4. Использование ЖК- экранов, на которых не образуется статического потенциала;
5. Экранирование электроники корпусом. Для снижения влияния внешних излучений и для снижения выхода собственных излучений во внешнюю среду;
6. Использование сетевых фильтров, для снижения влияния кондуктивных помех (которые передаются по проводам);
7. Гальваническая развязка (система питания компонентов соединена звездой).

Система охраны получает питание постоянным током 10-25 В. Световая и звуковая сигнализация 12 В. Как источником помех ими можно пренебречь.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 7.2.8.

Таблица 7.2.8 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ [21]

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

Организационные мероприятия: выбор рациональных режимов работы оборудования, соблюдение правил безопасной эксплуатации источников ЭМП, ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМП.

### **Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Основными причинами воздействия тока на человека являются: появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции, ошибочно поданное напряжение на рабочее место; отсутствие заземления, замыкание в результате аварии.

Электрический ток, протекая через тело человека, производит

термическое, электролитическое, биологическое, механическое действие. Термическое действие характеризуется нагревом кожи, тканей вплоть до ожогов. Электролитическое действие заключается в разложении жидкостей, в изменении их состава и свойств. Биологическое действие проявляется в нарушении биологических процессов, протекающих в организме человека. Механическое действие приводит к разрыву тканей в результате электродинамического эффекта [25].

Электрические установки, к которым относятся ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Согласно классификации помещений по опасности поражения электрическим током ВКР разрабатывался в помещении без повышенной опасности (ПУЭ) [30], характеризующимся наличием следующих условий: напряжение питающей сети 220 В, частота 50 Гц; относительная влажность воздуха не более 75 %; средняя температура не более 35 °С.

При нормальном режиме работы оборудования опасность электропоражения невелика, однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземленными конструкциями.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются: защитное зануление; выравнивание потенциалов; защитное заземление; электрическое разделение сети; изоляция токоведущих частей; оградительные устройства и другое.

К средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся: заземляющие устройства; нейтрализаторы; увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества.

**Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия вредных и опасных факторов на исследователя**

Рабочая зона – аудитория 125, 8-го корпуса ИШЭ ТПУ (рисунок 7.2.1),

оборудованная системами отопления, пожарной и охранной сигнализации. В аудитории имеются источники естественного и искусственного освещения. Рабочее место – стационарное, оборудованное ПК.

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие основные мероприятия: устройство систем вентиляции; кондиционирование воздуха и отопление. Кроме того, большое значение имеет правильная организация труда и отдыха работников.

Нормируемые уровни шума обеспечиваются путем использования малошумного оборудования, применением незвуковых материалов (например, пластмассы), рациональным размещением оборудования, проведением периодического контроля шума на рабочих местах.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях с ПЭВМ проводится чистка стекол, оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводится своевременная замена перегоревших ламп.

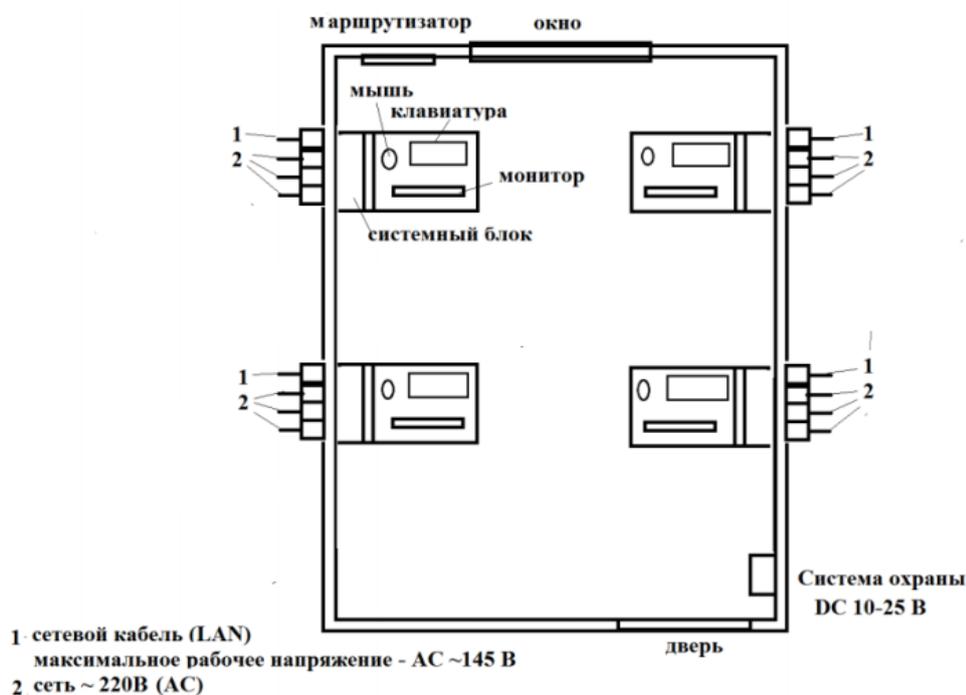


Рисунок 7.2.1 – План аудитории 125

Рабочий стол рекомендуется устанавливать таким образом, чтобы световой поток был направлен слева от работника.

### 7.3 Экологическая безопасность

Каждый ПК содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду.

Также в процессе утилизации из техники извлекаются и материалы, которые могут быть использованы для вторичной переработки.

Техника, подвергающаяся процессу утилизации, проходит специальную процедуру: непосредственный процесс переработки; отправку некоторых частей оргтехники на аффинаж (это металлургический процесс изъятия высокочистых благородных металлов при отделении от них загрязняющих примесей, один из видов извлечения металлов). Полную процедуру утилизации офисной техники могут осуществлять только специализированные зарегистрированные предприятия.

Отходы, содержащие в себе части цветных металлов, относятся к категории металлолома и попадают под соответствующий регламент ГОСТ Р 54565-2011 [31].

ЖК-экраны один из источников парниковых газов, которые намного вреднее диоксида углерода.

К воздействию на литосферу можно отнести и образование отходов в виде использованной бумаги. Бумага используется в процессе проведения всей научной работы и требуется в больших количествах. После использования, бумага выносится в специальные контейнеры, предназначенные для сбора макулатуры на переработку для вторичного использования. Вторсырье, находящееся в специальных контейнерах отвозится на склад компании, на складе весь собранный материал преобразовывается: сортируется по типу и цвету, измельчается и превращается в полуфабрикат. Утилизируется бумага на специальных предприятиях, которые занимаются переработкой макулатуры.

Методы обеспечения экологической безопасности: совершенствование технологических процессов и разработка новой техники с меньшим уровнем негативного воздействия на окружающую среду; вовлечение образовавшихся отходов во вторичное производство.

#### **7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятная ЧС: пожар.

Вопросы обеспечения пожарной безопасности производственных зданий и сооружений имеют большое значение и регламентируются специальными государственными постановлениями и указами ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда «Пожарная безопасность. Общие требования» (ред. от 12.09.2018) [32].

В соответствии с «НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» аудитория 125, 8го корпуса ТПУ относится к категории «В4», так как в аудитории находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы [33].

Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Горючие компоненты в помещении – строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. В рабочей зоне размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того, размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания.

В аудитории находится памятка о соблюдении правил пожарной безопасности.

В целях обеспечения пожарной безопасности ЗАПРЕЩЕНО: курить; пользоваться неисправными электронагревательными приборами; использовать временную электропроводку и/или удлинители для питания электроприборов; перегружать электрическую сеть; скручивать, завязывать электрические провода; накрывать горючими материалами включенные электрические лампы; закрывать датчики пожарной сигнализации посторонними предметами. Нельзя загромождать пути эвакуации.

Необходимо знать: порядок эвакуации; место нахождения первичных средств пожаротушения.

Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители и системой пожарной сигнализации.

В случае пожара звонить по телефону 01, 101, 112: назвать точный адрес; оповестить всех о случившемся; организовать эвакуацию граждан, документов и материальных ценностей; принять меры к ликвидации пожара.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) – накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дожидаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем.

#### **Вывод по разделу:**

Таким образом, можно сделать вывод о том, что безопасность жизнедеятельности - это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Безопасность следует принимать как комплексную систему, мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более компактна система защиты.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным

требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму. Деятельность, осуществляемая в помещении, не представляет опасности окружающей среде.

При анализе на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, предложены методы минимизации этих воздействий и защиты от них. Рассмотрено влияние шума, микроклимата, электромагнитного излучения и освещенности.

Приведены рекомендации по снижению неблагоприятных воздействий на среду. Рассмотрены чрезвычайные ситуации и приведены действия при чрезвычайной ситуации на примере пожара.

Таким образом, из всего раздела можно сделать вывод, что проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана магистерская диссертация, аудитория 125 8 корпуса НИ ТПУ удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенное новое конструктивное решение по модернизации промышленного образца дегазатора НГС0,6-2000, позволяет увеличить производительность дегазации нефти до 15 % путём создания колебаний лотков дегазатора, создаваемых устройствами ВСМА.

2. Разработанная конструкция вибрационного электропривода привода позволяет встроить его в конструкцию дегазатора. Для создания колебаний различных по габаритам лотков дегазатора необходимо использовать четыре электропривода.

3. Разработанная математическая модель электропривода модернизированного дегазатора позволяет анализировать и оптимизировать режимы работы устройства на стадии проектирования. Оптимизация режимов работы электропривода обеспечивается реализацией резонансного режима работы, обеспечивающего энергоэффективность установки в целом.

4. Увеличение производительности дегазации обеспечивается в диапазоне частот колебаний лотков от 24,5 Гц до 26,5 Гц при величине напряжения от 550 В до 710 В. Амплитуды колебаний лотков дегазатора при этом составляют не менее 1,5 мм.

5. Выбраны основные элементы электропривода. Подключение и регулирование указанных параметров обеспечивается применением преобразователя частоты Веспер Е4-8400-S2L, диода марки VS-10ETS12-M3. В качестве аппаратуры защиты был выбран автоматический выключатель АВВ S203 и трехжильный кабель марки ВВГнг(А)-FRLS.

6. В качестве экономического обоснования проведенных исследований составлен план работ и на его основе проведены расчеты трудоемкости НИР и ее бюджет, рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 361163 руб.; Рассчитано время проведения НИР – 143 календарных дня.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### An electric drive of a vibromagnetic set for oil degassing

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Филимонова Лилия Валерьевна		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Пташкин Александр Сергеевич	к.ф.н		

## **Introduction**

Currently, the situation is that many oil fields are faced with problems of oil production and transportation. This is due to the fact that a mixture, which contains the following components: mechanical impurities, water, gas, sand, etc., is extracted from the oil-fields. An oil-well gas is the main part of such impurities; it occupies about 50-100m<sup>3</sup> for each ton of oil. The transportation of this type of oil through pipelines causes great problems at oil refineries.

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

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

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

### **1.1 Overview of existing equipment and technologies for oil degassing**

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

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

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

The degassing process itself is carried out in several stages, and the larger the

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

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

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

Hence, the following oil separation methods should be distinguished:

- Gravitational;
- Inertial;
- Separating.

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

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

The ideal concentration of gas in oil was revealed by William Henry. According

to this law, the equilibrium mass concentration of gas in a solution is proportional to the partial pressure in the gas phase above the solution.

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

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

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

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

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

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

It can be seen from the figure that the gravity of the rotational element is directed from the axis of rotation to the normal at a small angle. Since the centrifugal force and

gravity force act on a particle of the liquid phase, there will be a small angle between these forces, since gravity is smaller in magnitude than centrifugal force. In this case, gravity will be equal to the weight of the selected fluid element in the field.

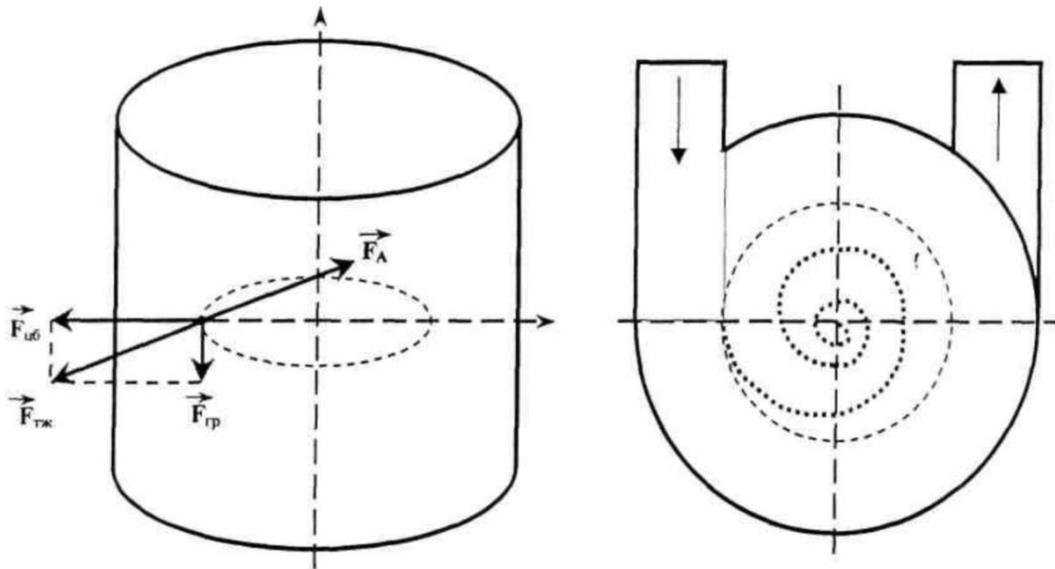


Figure A1.1 – Vector forces of a rotating element in a liquid medium

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

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

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

- Liquid and gaseous components are intended for opposite outputs, since there is a risk of mixing the phases after they are separated. This problem can be solved using a constructive approach;

- Providing a large contact surface of the liquid and gaseous phases in cylindrical vortex devices;
- It is necessary to ensure a high heat and mass transfer rate. This will reduce the contact time of the liquid and gas components, due to the high speed of various media.

## 1.2 Equipment for oil degassing

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

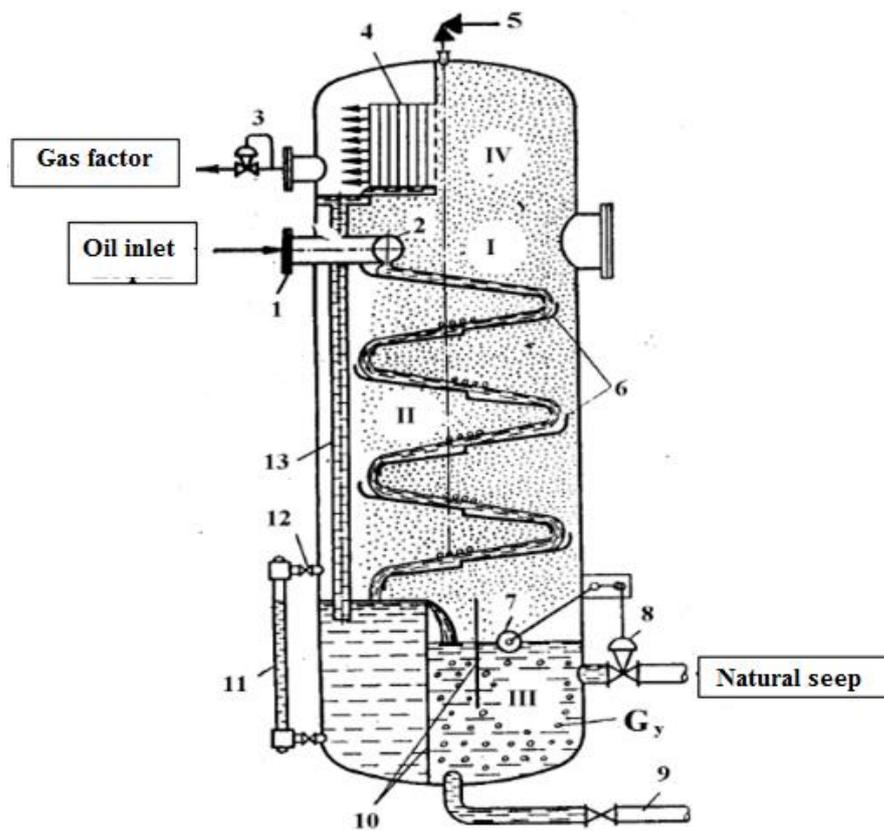


Figure A1.2.1 – Vertical Separator

The principle of operation of the separator is as follows. Being under pressure, the mixture consisting of oil and associated gas flows through the pipe 1 to the distributing header 2, which has a gap along the entire length, designed to discharge

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

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

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

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

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

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

shows a general view of the horizontal NGS separator.

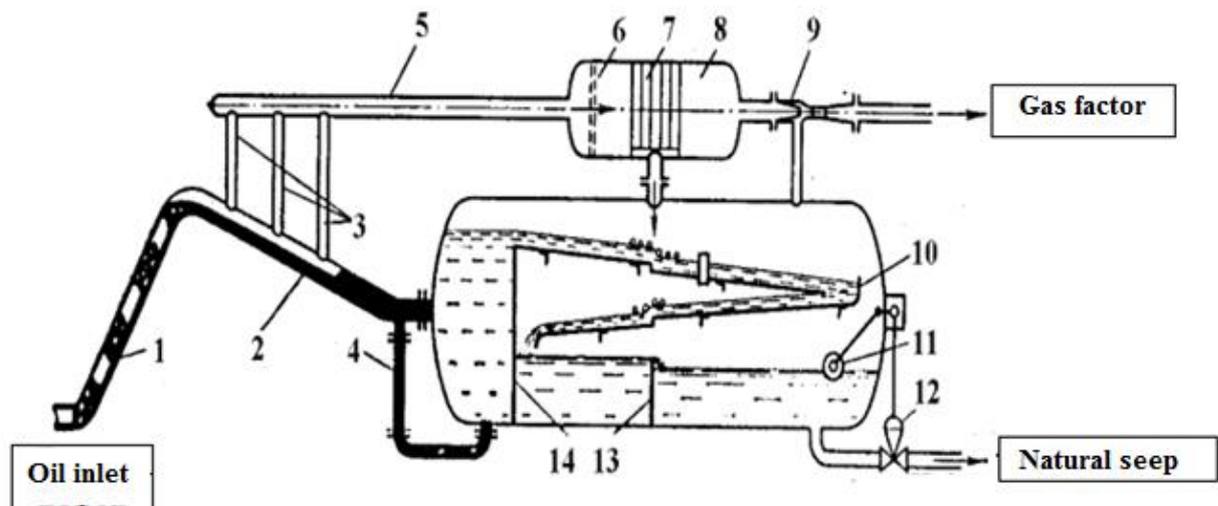


Figure A1.2.2 – General view of the separator NGS

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

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

A schematic diagram of a centrifugal vortex separator is shown in Figure A1.2.3. The device has a two-chamber cylindrical housing. The upper chamber 1 is designed to receive the separated oil and has one or more tangential nozzles "A" in the lower part of the chamber is an annular partition 3 to create and maintain the required thickness of the water layer. Under the annular partition there are windows 4 for draining oil into the lower chamber 2.

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

The lower chamber 2 is a cyclone for separating the separated gas and

withdrawing the refined oil. It is equipped with tangential nozzles "B" for the removal of oil from the device.

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

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

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

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

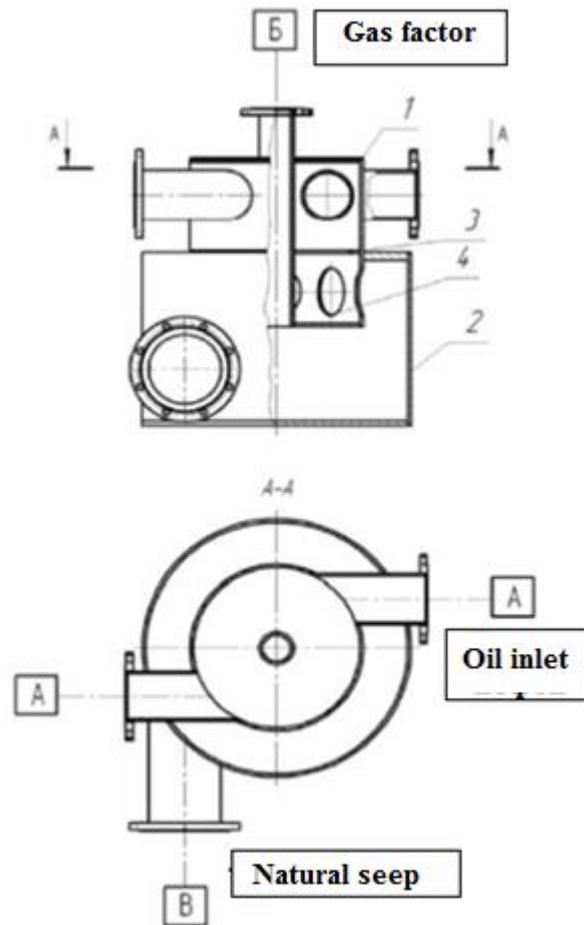


Figure A1.2.3 – Schematic diagram of a centrifugal vortex separator

1– upper chamber; 2 – lower chamber; 3 – an annular partition; 4 – windows for oil discharge.

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

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

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

### **1.3 VJMA Technology**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **1.4 Vibromagnetic installation of electric drive for oil degassing**

Solving the problem of modernizing existing equipment for oil degassing, the primary measure is the choice of a prototype. In this case, it is necessary to take into account the design of the equipment, which does not exclude the possibility of carrying out work to upgrade them. At the design stage, it is difficult to foresee the specific parameters of the degassing process, therefore, during modernization, it should be possible to regulate these parameters. Thus, it is proposed to upgrade the existing oil degassing equipment using VJMA equipment, which is used as an electric drive for trays on where gas is directly released from the gas-containing mixture. A frequency converter must be provided in the power supply circuit of the electric drive to generate an alternating voltage with an output frequency necessary to determine the maximum gas separation performance.

When starting to design the electric drive of an oil degassing installation, it is important to take into account existing schemes and designs of a particular separator. As an example, we choose a horizontal separator NGS 0.6-2000.

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

### **1.4.1 Vibratory activator**

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

Determining the dimensions of the electric drive, an important circumstance is the dimensions and mass of the link making oscillatory movements. Such a link in the proposed modernization scheme is the tray for the degasser. In turn, the tray can be directly an anchor or a link of the electromagnetic drive mechanically connected to the

anchor. To ensure the resonant mode of operation of the VJMA device with a large mass of the armature, it will be necessary to provide the corresponding large value of the spring suspension stiffness. High stiffness values can affect the increase in the dimensions of the activator suspension assembly, which is not always acceptable. The degasser tray (figure A1.4.1) in this system has a rectangular shape and acts as a conditionally anchor of the electromagnet. The overall dimensions of this degasser tray are presented in table A1.4.1.

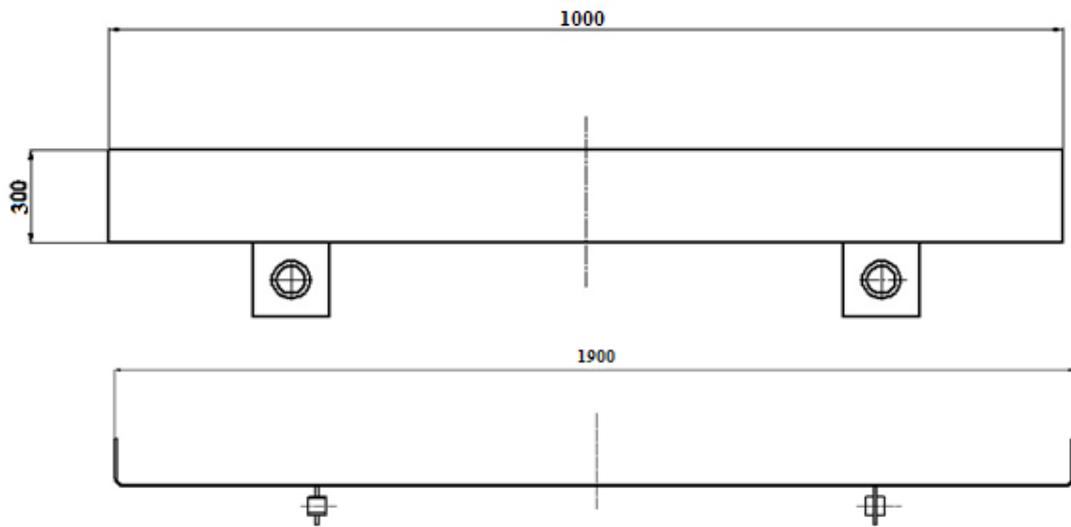


Figure A1.4.1 – Tray sketch

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

Length ( $l_a$ )	$1m$
Width ( $l_b$ )	$3,2m$
Tray Material Thickness $\Delta$	$0,004 m$
Side Height ( $l_c$ )	$0,03m$

### 1.4.2 Mathematical model

The electrical part is the main and two short-circuited circuits. Short circuits are formed by stainless steel plates that separate the inner cavity of the activator from the external environment. The main electrical circuit includes two series-connected electromagnets which consist of inductances, a diode and the active resistances of the windings. In this case, the energy of the oscillatory movements of the activator in space

will be inversely proportional to the frequency of the disturbing force. The greater the frequency of the disturbing force, the smaller the radius of propagation of the energy of vibrational movements. If a frequency of 50 Hz is applied to the electromagnet, then the perturbing force will change with a frequency two times higher – 100 Hz. It should be noted that in this case, the stiffness coefficient will increase with increasing frequency. It raises a problem in the manufacture of the spring, since its manufacture will not always be economically viable. Therefore, there is a diode in the power circuit that allows you to ensure the frequency of the disturbing force, at the frequency of the supply network.

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

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

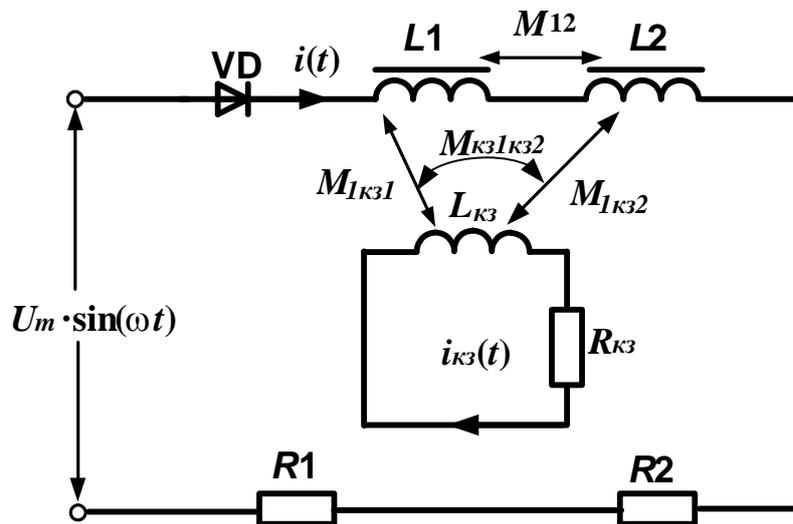


Figure A1.4.2 – The equivalent circuit of the activator electrical circuits

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Патентные исследования**

Объектом исследования является устройство для отделения газов от нефти. Область применения устройства нефтяная промышленность.

Поиск российских патентов проводился по базе данных Федерального института промышленной собственности ([www.fips.ru](http://www.fips.ru)) с использованием ключевых слов: озонатор, генератор озона.

Глубина патентного поиска – 20 лет.

В качестве аналогов можно выделить несколько запатентованных устройств для очистки нефти от газов.

#### **Газовый сепаратор (RU 47765)**

Гравитационный сепаратор с коробкой передач установлен во впускном пространстве для увеличения местоположения топлива.

Предлагаемое базовое решение может быть использовано для перекачки газообразных и жидких смесей, а также для предварительного слива насосных станций.

Однако конструкция описанного устройства отличается высокой металлоёмкостью и, соответственно, высокими капитальными затратами на изготовление.

#### **Сепаратор (RU 2206734)**

Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности и может быть использовано для переработки нефти и производства сточных вод на нефтяных месторождениях. Это повышает эффективность процесса разделения газо-масляной эмульсии и снижает потребление энергии.

Согласно изобретению газ и масло разделены на две части в теплообменнике.

Реализация предложенных способов и оборудования позволяет повысить эффективность процесса разделения нефти и газа, снизить энергопотребление, увеличить время ремонта и снизить риск возникновения пожара.

Однако, при всех своих достоинствах, данное устройство дорого в изготовлении.

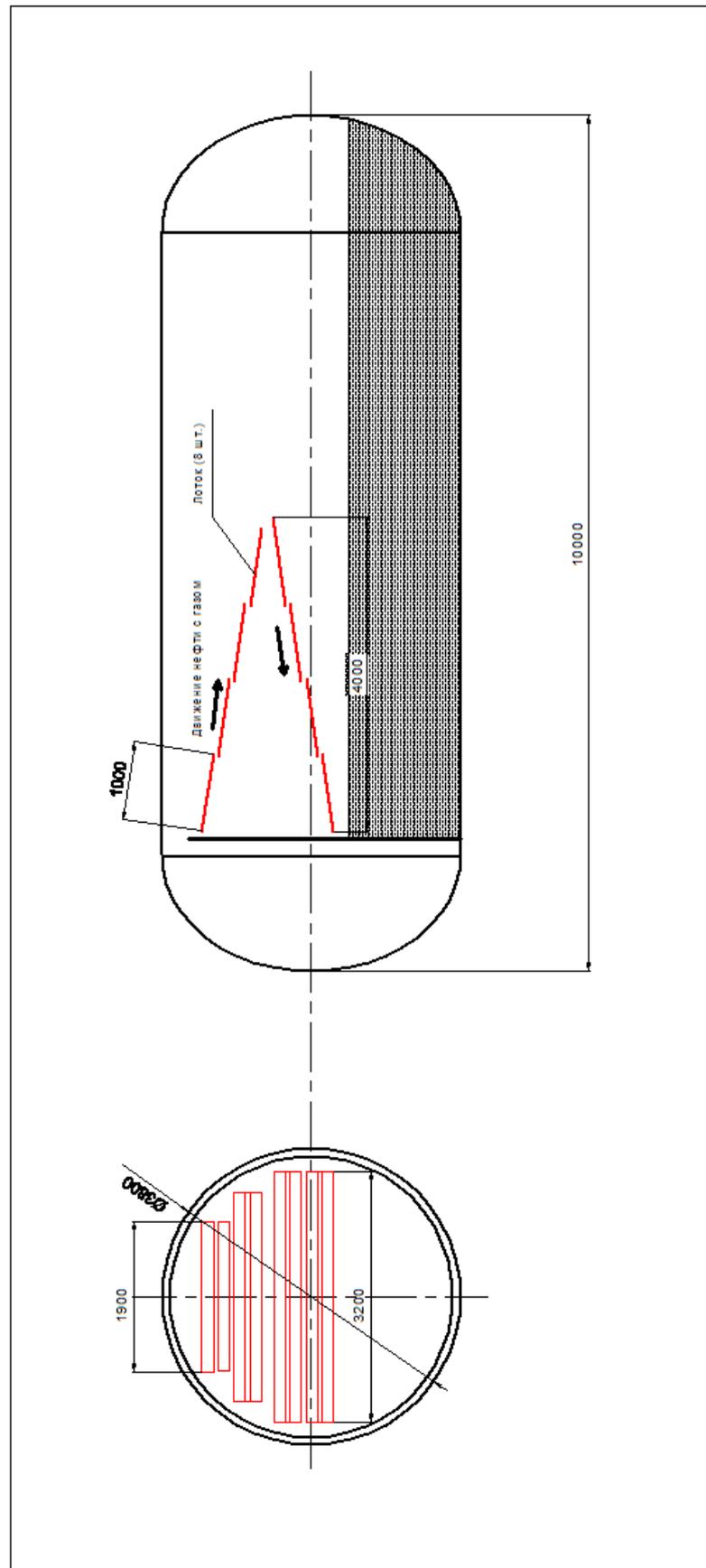
### **Сепарационная установка (RU 2315645)**

Разделительный блок, состоящий из просверленной колонны, трубы для газа, жидких примесей и подачи газа, нефти и воды, описанный ранее, предназначен для подачи, когда капельные устройства и дренажные полки расположены вертикально на входе в колонну в верхней части ее косвенно соединенной верхней трубы смеси. в части сбора и слива масла должен быть установлен барьер, который перекрывает проход отделенного масла и перекрывает рабочую часть колонны.

Предлагаемая установка имеет высокий ресурс и надёжность. Но при этом имеет высокую металлоёмкость и капитальные затраты на изготовление.

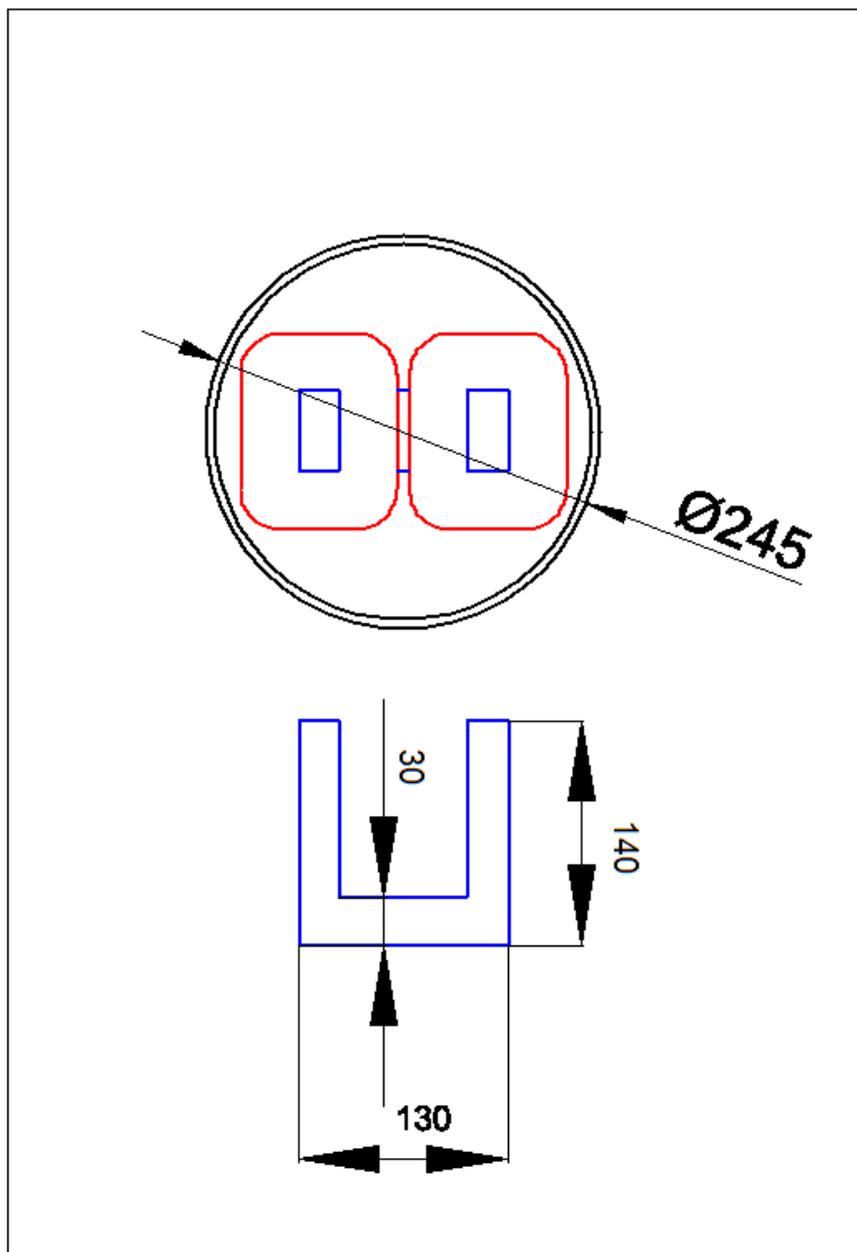
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Чертеж общего вида установки дегазации нефти



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Чертеж электромагнита модуля электропривода



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедьков А.Е. Справочник инженера по подготовке нефти. Нефтеюганск: ООО РН-ЮГАНСКНЕФТЕГАЗ, 2007.
2. Молоканов, Ю.К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки. Ю.К. Молоканов. Москва: Химия, 1980.
3. Добыча нефти и газа [Электронный ресурс]: <http://oilloot.ru/83-pererabotka-nefti-i-gaza/140-vertikalnye-separatory> (дата обращения: 18.02.2020)
4. Крец В.Г., Шадрин А.В. Основы нефтегазового дела. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 200 с.
5. Демиденко А.И., Летопольский А.Б., Геракин Н.И. Основы процесса дегазации нефти при промысловой подготовки // Наука и общество в условиях глобализации. – 2019. - №1. – С. 36-40.
6. ГОСТ 16350-80 «Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей»
7. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»
8. Промышленная переработка нефти и газа [Электронный ресурс]: <http://oilloot.ru/83-pererabotka-nefti-i-gaza/143-separatory-pervoj-stupeni-s-predvaritelnyim-otborom-gaza> (дата обращения: 18.02.2020)
9. Патент RU 2363514. Зимин Б.А., Маликов Н.Г. Десорбер очистки нефти от вредных газов. Приоритет от 26.11.2007. Оpubл. 10.08.2009, Бюл. №22.
10. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.И. Теплов, Особенности электромагнитного расчета вибратора струйного погружного ВСП-0,25. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.

11. С.П. Гузеев, В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Виброструйный перемешиватель и разжижитель жидкостей и суспензий, Патент № 2128547, Бюл. № 10, 1999 г.
12. И.В. Прозорова, Ю.В. Лоскутова, Н.В. Юдина, С.В. Рикконен, В.А. Данекер, Изменение реологических свойств нефтей под воздействием виброструйной магнитной активации. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.
13. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Резонансно-колебательные электромеханические преобразователи для обработки жидких систем. Химия нефти и газа. Материалы IV международной конференции. В 2-х томах.- Томск: «SST», 2000.-Т1-608с.
14. Нефтегазовые сепараторы НГС [Электронный ресурс]: <http://tehnoeo.ru/product/separ/separato/> (дата обращения: 18.02.2020)
15. Каталог преобразователей частоты [Электронный ресурс]: <https://www.vesper.ru/catalog/invertors/e4-8400/specification/> (дата обращения: 25.03.2020)
16. Каталог диодов [Электронный ресурс]: <https://www.chipdip.ru/catalog/diodes-rectifier?x.1154=MvM> (дата обращения: 25.03.2020)
17. Каталог автоматических выключателей [Электронный ресурс]: <http://www.elektro-portal.com/series/show/vykljuchatel-47-29> (дата обращения: 25.03.2020)
18. Энциклопедия электрики [Электронный ресурс]: <http://kabel-vvg.ru/> (дата обращения: 25.03.2020)
19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)
20. Статья 212 «Трудового кодекса Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)

21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (ред. от 21.06.2016)
22. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
23. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
24. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
25. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие/ О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.
26. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
28. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
29. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
30. Правила устройств электроустановок - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 2001-640с.
31. ГОСТ Р 54565-2011 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Термины и определения
32. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда
33. «Пожарная безопасность. Общие требования» (ред. от 12.09.2018)
34. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
35. William L. Leffler. Natural Gas Liquids. Budapest: Pennwell Corp, 2005. – 221 p.
36. Maurice Stewart and Ken Arnold. Gas-Liquid And Liquid-Liquid Separators. USA: Gulf Professional Publ, 2008. – 240 p.
37. Winston [R. Revie](#). Oil and Gas Pipelines Integrity and Safety Handbook. USA:

Wiley, 2015. – 856 p.

38. Méndez Julio. Evaluation of Vertical Tanks Gas-Liquid Separation by Gravity. Maracaibo: Del Zulia University Publ, 2012. – Pp. 43-44.