

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

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электропривод и автоматика»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Автомобильный электромагнитный активатор топлива
УДК 621.318.3.629.33.063.6-022.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Волков Анатолий Станиславович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., профессор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., Доцент		

Томск – 2018 г.

**Запланированные результаты обучения  
профессиональные и общекультурные компетенции  
по основной образовательной программе подготовки бакалавров  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»**

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	работодателях.	стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электропривод и автоматика»

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ОЭЭ ИШЭ  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Дементьев Ю.Н.  
(Ф.И.О.)

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Волкову Анатолию Станиславовичу

Тема работы:

Автомобильный электромагнитный активатор топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02 2018г. № 645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Автомобильный активатор топлива:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Производительность активации топлива, рассчитанная на режим разгона и средней скорости.</li><li>2. Параметры источника энергии – бортовая электрическая сеть легкового автомобиля.</li><li>3. Конструктивная совместимость с топливной системой автомобиля.</li></ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Выбор объекта для разработки активатора.</li><li>2. Разработка конструкции основных элементов активатора.</li><li>3. Расчёт основных параметров электромагнитного привода активатора.</li><li>4. Разработка математической модели активатора.</li><li>5. Анализ работы активатора в различных режимах.</li><li>6. Разработка рекомендаций по практическому применению активатора в составе автомобиля.</li></ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Общий вид активатора</li><li>2. Конструкция активатора</li><li>3. Конструкция электромагнита</li></ol>

<i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	4. Конструкция пружины подвеса активатора
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Волков А.С.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Волкову Анатолию Станиславовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	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>	Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1% отчисления на социальные нужды

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение эффективности исследования

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

1. График Ганта
-----------------

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Волков Анатолий Станиславович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г4А	Волков Анатолий Станиславович

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Описание рабочего места дежурного инженера узла связи при работе с ИБП:</i></p> <p><i>- к вредным факторам производственной среды можно отнести повышенную или пониженную температуру воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение, повышенные уровни шума, электромагнитные поля, освещённость;</i></p> <p><i>- к опасным факторам производственной среды можно отнести опасность поражения электрическим током. пожароопасность, получение механической травмы;</i></p> <p><i>- к негативным факторам воздействия на окружающую среду можно отнести химический вред неправильно утилизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей</i></p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.033-81; СНиП 2.01.51-90; НПБ 105-03; ГОСТ 12.1.029-80; ГОСТ 12.4.125-83; ГОСТ Р 50571.2-94</i></p>

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

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li><i>– действие фактора на организм человека;</i></li> <li><i>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li><i>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>- Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение методы предотвращения их вредного воздействия - устройство отопления, вентиляции, применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4.011-89;</i></li> <li><i>- Повышенные уровни шума методы уменьшения вредного воздействия уменьшение в источнике, изменение направленности излучения ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ</i></li> <li><i>- Освещённость методы предотвращения вредного воздействия – правильное проектирование системы освещения СНиП 23.05-95</i></li> </ul>
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– механические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li><i>– термические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li><i>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i></li> <li><i>– пожаровзрывобезопасность (причины,</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>- Меры, предотвращающие опасность поражения электрическим током ГОСТ 12.1.030 – 81, ПУЭ;</i></li> <li><i>- Противопожарные меры ГОСТ 12.1.004-91, ППП</i></li> </ul>

<i>профилактик.мероприятия)</i>	
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- способы борьбы с газообразными отходами</li> <li>- способы борьбы с жидкими и твердыми отходами</li> <li>- способы борьбы с сбросами и выбросами в окружающую среду</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможных ЧС на узле связи и необходимые действия по разработке и осуществлению комплекса инженерно-технических мероприятий</li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i></p>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	16.03.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.		16.03.18г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Волков Анатолий Станиславович		16.03.18г.

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

---

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Уровень образования Бакалавр

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника

Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

<b>Бакалаврская работа</b> (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
--

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018г.
--	-------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.02.2018	Обзор технологии ВСМА	5
28.02.2018	Разработка конструкции активатора топлива	25
15.03.2018	Разработка математической модели модуля электромагнитного активатора	20
1.04.2018	Анализ режимов работы электромагнитного активатора	15
10.04.2018	Схема подключения электромагнитного активатора	5
13.04.2018	Выбор силовых элементов	10
15.04.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
26.04.2018	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., к.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 119 страниц, 22 рисунка, 20 таблиц, 2 приложения, 47 источников.

Ключевые слова: ВИБРООБРАБОТКИ, ВИБРОАКТИВАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АКТИВАТОР.

В работе составлена математическая модель, которая позволяет исследовать режимы работы электромагнитного активатора, произведен выбор преобразователя частоты.

С помощью математической модели в Mathcad 15 проведено исследование режимов работы электромагнитного активатора, получены основные параметры.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

## СОДЕРЖАНИЕ

Список использованных сокращений.....	14
ВВЕДЕНИЕ.....	15
1. ТЕХНОЛОГИЯ ВСМА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ТОПЛИВА ДВС.....	24
1.1 Основы технологии ВСМА.....	24
1.2 Выбор объекта (марки автомобиля) для разработки активатора топлива.....	25
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АКТИВАТОРА ТОПЛИВА.....	29
2.1 Выбор количества активаторов.....	29
2.2 Основные размеры активатора и сердечника магнитопровода.....	30
2.3 Параметры обмоток электромагнита модуля ВСМА.....	31
2.4 Расчётное значение массы активатора.....	32
2.5 Значение жёсткости пружинного подвеса активатора модуля ВСМА.....	35
3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА.....	38
3.1 Расчётная схема модуля активатора.....	38
3.2 Моделирование электрических контуров.....	40
3.3 Расчет параметров электрической части активатора.....	41
3.4 Расчётное начальное значение индуктивности обмотки модуля ВСМА.....	42
3.5 Система уравнений активатора.....	44
3.5.1 Уравнение для электрических контуров.....	45
3.5.2 Уравнение механического контура.....	47
3.6 Система уравнения работы виброактиватора.....	48

3.7	Расчётное значение коэффициента потерь на вязкое трение.....	49
3.8	Алгоритм расчёта системы уравнений.....	50
4.	АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИБРОАКТИВАТОРА.....	52
4.1	Частотные характеристики при изменении частоты питающего напряжения.....	52
5.	СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА...	61
5.1	Выбор инвертора.....	61
5.2	Выбор частотного преобразователя.....	62
6.	РАСЧЕТ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	65
6.1	Расчет силовых диодов.....	65
6.2	Выбор силовых диодов.....	65
7.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	67
7.1	Анализ конкурентных технических решений.....	67
8.1	Планирование научно – исследовательских работ.....	69
8.2	Смета научно – технического проектирование (НТП).....	75
8.3	Вывод.....	78
9.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	80
9.1	Введение.....	80
9.2	Анализ вредных факторов.....	80
9.2.1	Шум.....	80
9.2.2	Недостаток естественного света.....	83
9.2.3	Микроклимат.....	85

9.2.4 Метеорологические условия.....	87
9.3. Анализ опасных факторов.....	89
9.3.1 Механические опасности.....	91
9.3.2 Электропоражение.....	92
9.3.3 Загорание (пожар).....	93
9.4 Система обращения с разными видами отходов.....	94
9.5. Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	97
9.5.1 Электропоражение как источник ЧС.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
Список используемых источников.....	102
Приложение 1	
Приложение 2	

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

**ДВС** – Двигатель внутреннего сгорания,

**ЯМР** - Ядерный магнитный резонанс,

**ВСМА** – Виброструйная магнитная активация,

**РКЭМП** – Резонансно-колебательный электромеханический преобразователь

**ЖС** – Жидкая среда.

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность**

Процесс горения топлива – это процесс химического соединения горючих элементов топлива с кислородом воздуха. Конечными продуктами сгорания топлива являются дымовые газы и зола. Различают полное горение, при котором происходит реакции полного окисления горючих компонентов топлива, и неполного горения, когда указанные реакции не завершены.

В практических условиях при теоретическом расходе воздуха полного сгорания топлива достичь не удастся вследствие несовершенства процесса смесеобразования.

Источниками загрязнения атмосферы дымовыми газами продуктами сгорания являются практически все тепловые двигатели и установки, сжигающие углеводородное топливо. Атмосферный воздух, так необходимый для организации цепной реакции окисления (процесса горения) углеводородного топлива, поставляет в зону горения азот (около 78 процентов), кислород (около 21 процента) и 15 других химических веществ, соединений и элементов (до 1 процента). Следует отметить, что для сжигания одного килограмма углеводородного топлива в зону горения подается от 12-14 (для газообразного топлива) до 25 и более (для твердого топлива) килограммов атмосферного воздуха. Между тем в реакциях окисления участвует только кислород воздуха, а все другие компоненты выбрасываются в воздушный бассейн в виде экологически опасных загрязнителей, преобладающими из которых являются оксиды и диоксиды азота, называемые воздушными. В объеме горения весь воздух нагревается до температуры сгорания, часть его окисляет компоненты топлива, а избыток в виде горячих газов выбрасывается в атмосферу, являясь причиной теплового загрязнения и повышенного выхода вредных воздушных компонентов в составе дымовых газов [1].

Влияние на атмосферу выхлопных газов – актуальная экологическая проблема.

Выхлопные газы автомобилей образуются в процессе работы двигателя (ДВС), а также при неполном или полном сгорании используемого топлива. Всего в них обнаруживается свыше двухсот различных компонентов: одни существуют всего несколько минут, другие же разлагаются годами и витают в воздухе долгое время. Влияние выхлопных газов на здоровье человека, экологию и атмосферу крайне губительно. Прежде всего, вредные выбросы, образующиеся при сгорании топлива в автомобильных двигателях, сильно загрязняют воздух, образуя смог. Некоторые мелкие и легкие частицы способны подниматься и достигать атмосферных слоёв, меняя их состав и уплотняя структуру [2].

На сегодняшний день одной из актуальных экологических проблем является проблема эксплуатации автотранспорта, т. к. ДВС, работающие на продуктах нефтепереработки, оказывают наибольшее антропогенное воздействие на окружающую среду из-за неполного сгорания топлива в двигателе. Вследствие этого увеличивается расход топлива, падает КПД двигателя и уменьшается его моторесурс. Ежегодно в атмосферу Земли выбрасывается 250 млн. т. мелкодисперсных аэрозолей в результате использования автотранспорта [3].

Неполноценное сгорание топлива – одна из важнейших проблем автомобилестроения и всего автопрома в целом. Крупные автомобилестроительные компании по всему миру работают над повышением уровня сгорания топлива в двигателе, так как это должно приводить к повышению к.п.д. ДВС В России к ГОСТам, отвечающим за качество топлива относят: ГОСТ 2084-77 [4], ГОСТ Р 51105-97 [5], ГОСТ Р 52368-2005 [6], ГОСТ 305-82 [7].

Уменьшить выбросы органических токсикантов, образующихся при сгорании углеводородного топлива, можно несколькими способами:

- увеличить поступление кислорода в камеру сгорания топлива, что увеличит процент сгорания органических веществ;

- подавить каталитическую активность никеля и железа, входящих в состав сплава конструкции камеры сгорания, введя небольшое количество металлического свинца, являющегося каталитическим ядом для этих металлов;

- использовать топливо, в составе которого преобладают предельные углеводороды, природный газ, петролейный эфир, синтетический бензин [8, 9, 10].

Существуют и другие способы воздействий на топливо с целью увеличения сгорания топлива, уменьшения загрязнения окружающей среды, повышения КПД двигателя.

К нетрадиционным способам и методам внешних физических воздействий на углеводороды бензиновых фракций и моторные топлива относят: электрические, электромагнитные и магнитные воздействия полями, различные виды излучений (от средне- и высокочастотного до радиоактивного облучения слабой интенсивности) [11].

В 1952 году, доктор Феликс Блок из Стэнфордского университета, и доктор Эдвард Парселл Гарвардского университета, были удостоены Нобелевской премии за их работу в области магнитного резонанса. Позднее доктор Роберт Кан, продолжил их работу в области магнитной теории резонанса. Эти ученые доказали, что воздействие магнитного поля может изменить молекулярную структуру топлива [12].

При воздействии магнитного поля на топливо происходят следующие процессы: на физико-химические частицы, такие как: свинцовые соединения, сажа, диоксид серы, оксид углерода [13], из которых состоит жидкость, начинает действовать сила Лоренца, разворачивая их перпендикулярно первоначальному положению.

В топливном проводе ДВС проявляется резонансный эффект магнитострикции для углеводородов бензиновых фракций, в результате

которого рвутся длинные углеводородные цепочки при этом образуются мелкие молекулы, которые сжигаются быстрее. А за счет активизации их спин-состояния они привлекают к процессу горения дополнительный объем кислорода, что дает более полное их усвоение по сравнению с изначальными молекулами [11].

Подобная подготовка должна проводиться непосредственно перед началом горения топлива. Поэтому самое грамотное размещение аппарата – максимально близко к исполнительному узлу – форсунке, распылителю или карбюратору.

Примеры установленных магнитных активаторов топлива на различных автомобилях представлены на рисунках 1-3



Рисунок 1 – Установленный магнитный активатор топлива на Volkswagen Golf Variant 1.9 TDI



Рисунок 2 – Установленный магнитный активатор на Renault Kangoo 1.5 dCi



Рисунок 3 – Установленный магнитный активатор на Mazda3 2.0

Согласно данным испытательных экспериментов [13], установка магнитного активатора приносит следующие преимущества. Остановимся для начала на экологических аспектах. Использование прибора SUPEX FUEL MAX[14] магнитного активатора топлива для бензина снижает выбросы углеводородов (цепочки СН с разными индексами и структурой) на 6-7%, угарного газа – на 15-20%, оксида азота – до 16%, уменьшает расход топлива до 20% [14].

Уменьшение выброса данных вредных веществ при сгорании топлива в ДВС машины делает использование автомобиля более экологически чистым видом транспорта, а учитывая тот факт, какое количество машин сейчас в России и мире – это очень заметное уменьшение выброса вредных веществ и загрязнение окружающей среды.

Ученые еще в 50-х годах доказали, что воздействие магнитного поля влияет на молекулярную структуру вещества [12], а воздействие с помощью магнитного резонанса – и того более.

Ни для кого не секрет, что, воздействуя магнитом на тот или иной материал, этот материал может приобрести магнитные свойства – его молекулы будут ориентированы в пространстве одинаково, как это показано на рисунке 4. На рис. 4 изображён один из возможных вариантов применения магнитного активатора для активации топлива в ДВС. На топливопроводе

расположен магнит постоянного тока, вектор магнитного поля которого направлен перпендикулярно движению топлива.

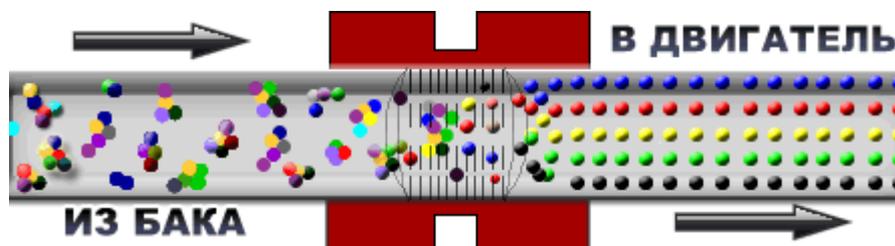


Рисунок 4 – Прохождение топлива через Super FUEL MAX

Все материалы условно можно разделить на:

**Ферромагнетики и ферримагнетики** – материалы, которые считаются «магнитными»;

**Парамагнетики** – относятся к слабомагнитным веществам, магнитная проницаемость вещества чуть больше 1, они намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля. Атомы (молекулы или ионы) парамагнетика обладают собственными магнитными моментами, которые под действием внешних полей ориентируются по полю и тем самым создают результирующее поле, превышающее внешнее.

**Диамагнетики** – это вещества, в которых имеет место полная взаимная компенсация как орбитальных, так и спиновых магнитных моментов. Магнитная проницаемость  $\mu \approx 0,99999$  и не зависит от напряженности внешнего магнитного поля. К ним относится большинство веществ, в частности, углерод, вода, пластик [15].

Бензин – диамагнетик, смесь легких углеводородов с температурой кипения от 30 до 200 °С, его плотность около 0,75 г/см<sup>3</sup>, а теплотворность около 10500 ккал/кг (46 МДж/кг, 34,5 МДж/литр) [10].

Таким образом, воздействуя магнитным полем на топливо, можно сориентировать определенным образом его молекулы. Кроме того, если напряженность поля быстро меняется – у вещества изменяется

диэлектрическая проницаемость, зависящая от частоты поля, и при определенных условиях возникает ядерный магнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс- резонансное поглощение или излучение электромагнитной энергии веществом, содержащим ядра с ненулевым спином во внешнем магнитном поле, на частоте  $\nu$  (называемой частотой ЯМР), обусловленное переориентацией магнитных моментов ядер[17-20].

Эффект переменного магнитного поля достигается последовательным расположением нескольких магнитов в устройстве активации топлива.

На рисунке 5 показана структура топлива до магнитного активатора и после прохождения через магнитный активатор топлива Super FUEL MAX.

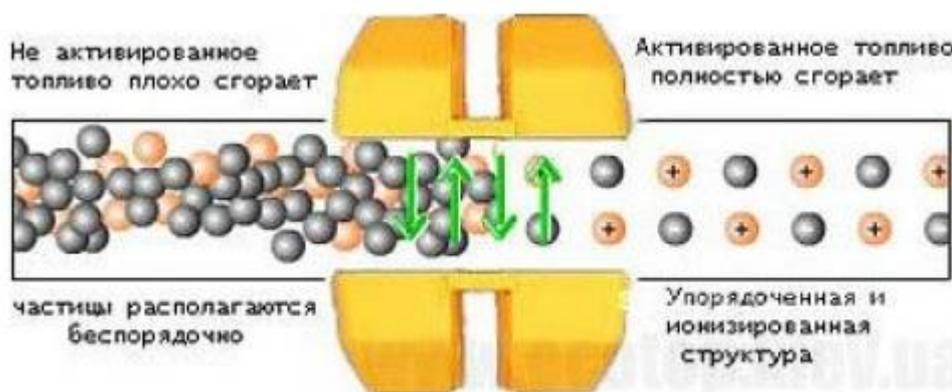


Рисунок 5 – Принцип работы магнитного активатора топлива

То есть, с помощью магнитного поля можно добиться не только «активизации» вещества, но даже возникновения радиоизлучения.

Бензин содержит в различных пропорциях ароматические, нафтеновые, нормальные парафиновые и непредельные углеводороды. Поэтому зависимость резонансной частоты (а для водорода она составляет 21,29 МГц при индукции магнитного поля в 0,5 Тл [21] от сорта бензина имеет весьма сложный и индивидуальный характер для каждого сорта бензина. Достичь явления резонанса для топлива можно, но для каждого его вида и состава требуется индивидуальная частота поля.

Кроме того, так как переменное магнитное поле достигается последовательным расположением нескольких магнитов, то частота

воздействия поля будет зависеть от скорости протекания топлива по (в) топливопроводу.

Таким образом, анализ представленных материалов свидетельствует об эффективности применения магнитных активаторов для обработки топлива автомобилей, сопровождающейся снижением токсичных выбросов и расхода на пробег. Важными техническими параметрами известных устройств обработки топлива являются величина индукции магнитного поля в зоне обработки и скорость протекания топлива через зону действия магнитного поля. Так значение индукции магнитного поля в известных устройствах находится в пределах от 0.5 до 1 Тл, а скорость перемещения топлива в зоне действия магнитного поля не превышает значения 0.8 м/с. Кроме этого, можно предположить, что многократно повторяющееся прохождение топлива через магнитное поле, будет способствовать усилению позитивного известного эффекта. Учитывая природу указанных воздействий магнитного поля на свойства топлива автомобилей, можно предположить, что чем выше будут эти значения в зоне протекания топлива, тем выше будет и эффективность его использования: уменьшение в большей степени и вредных выбросов, и расхода на пробег.

Следовательно, разработка устройств обработки топлива автомобилей, имеющих более высокие значения индукции, скорости перемещения топлива и многократное прохождение топлива через зону действия магнитного поля является актуальной задачей.

**Целью настоящей работы** является разработка ресурсоэффективного автомобильного электромагнитного активатора топлива.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать эффективную технологию обработки топлива.
2. Выбрать объект для разработки конкретного изделия.
3. Разработать конструкцию активатора топлива.
4. Разработать математическую модель активатора.

5. Провести анализ режимов работы активатора топлива.
6. Разработать схему подключения активатора топлива.

# 1. ТЕХНОЛОГИЯ ВСМА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ТОПЛИВА ДВС

## 1.1 Основы технологии ВСМА

Технология и оборудования ВСМА в жидких сред положены на принципе создания РКЭМП. Основой для конструкций различных устройств ВСМА является единичный модуль, представляющий собой электромеханическое устройство с широким диапазоном регулирования частоты и величины питающего напряжения. Уникальное сочетание факторов активации в одном устройстве и высокие удельные характеристики достигаются оригинальными конструкциями отдельных узлов модулях [10].

Применение технологии и оборудование ВСМА обеспечивает наличие в среде замкнутых потоков жидкости, которые, в свою очередь создают условия для многократного попадания отдельных порций жидкости, в зону активации, изменяя химические свойства высоковязких нефтепродуктов.

Рациональная организация процессов добычи нефти, транспортировка и переработка её по наиболее эффективным схемам с максимальным использованием соединений требуют знаний физических и физико-химических свойств нефти [10].

Высоковязкие нефти при температурах ниже температуры кристаллизации парафина обладают такими структурно-механическими свойствами, в соответствии с которыми эти нефти занимают промежуточное положение между жидкостями и твёрдыми телами [10].

В последнее время всё шире находит применение такой вид комплексного физического воздействия как ВСМА. Применение таких видов физических воздействий создают условия для достижения предельного уровня разрушения структуры молекулярных кристаллов парафиновых углеводородов и поддержания этого уровня в течение времени, необходимого для осуществления массообменных процессов [11]. ВСМА с определенной энергией в следствии разрушению кристаллизационных

структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти [10].

Наиболее разработанным направлением эффективного использования технологии ВСМА является применение для обработки высоковязких нефтепродуктов их для транспортировку и обработки значительного снижения вязкости. Полученный эффект снижения вязкости нефти при обработке ее устройствами ВСМА наблюдается в широком температурном диапазоне [11].

Технология ВСМА - это запатентованный способ многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные жидкие системы, применяемый для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров [13]. Вибратор электромагнитный активационный ВЭМА-0,3 предназначен для активации (перемешивания, разжижения, диспергации) нефтепродуктов, содержащих парафины, асфальтены и т.п., и других высоковязких жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами. ВЭМА-0,3 может применяться в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом [10].

## **1.2 Выбор объекта (марки автомобиля) для разработки активатора топлива**

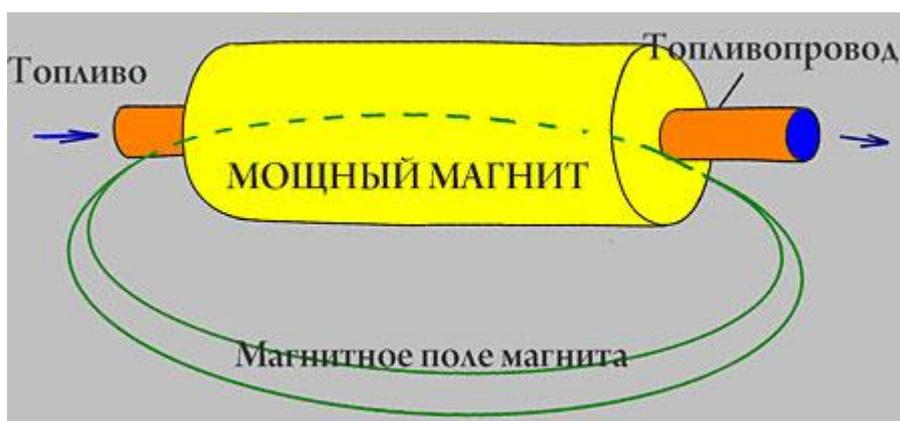


Рисунок 6 – Пример установки магнита на топливopовод автомобиля

Приступая к проектированию автомобильного активатора топлива, важно учитывать существующие схемы и конструкции топливной системы конкретного автомобиля.

Диаметр бензопроводов современных отечественных и зарубежных легковых авто лежит в пределах 6-8 мм. Расход топлива в различных режимах рассчитывается по различным циклам, такие как: NEDC, EPA, WLTC или JC08.

Для данной выпускной квалифицированной работы выбираем отечественный автомобиль ВАЗ-2121 «Нива». Расход топлива этого автомобиля без магнитного активатора топлива составляет при городском цикле от 11.2 до 13.4 литра на 100км. При смешанном цикле работы расход составляет от 10.2 до 13.4 литра на 100 км. При загородном цикле работы от 8.2 до 10.8 литра на 100 километров. Внутренний диаметр бензопровода в автомобиле ВАЗ-2121 «Нива» составляет 6мм.

Для расчета потребления бензина автомобилем при разгоне с 0 до 100км/ч сделаем ряд допущений и уточнений. Сначала требуется рассчитать время достижения автомобилем скорости до 100 км/час. Время разгона в среднем составляет 27,78м/с. Автомобиль при этом движется по ровной поверхности с асфальтированным покрытием. Далее учтём , что автомобиль не может двигаться на одной ступени механической передачи при таком широком диапазоне скоростей от 0 до 100 км/час. Для автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» мы примем, что для поддержания скорости в 100км/час требуется 4 ступень при 4000 об/мин двигателя. Для разгона и достижения заданной скорости в минимальное время нам нужно использовать максимальную развиваемую мощность двигателя, которая достигается при 5400об/мин и равна 61кВт. Для первой ступени отведем диапазон скоростей от 0 до 20км/ч (5,56м/с). Для второй передачи диапазон скоростей будет от 20 до 40км/ч (11,12м/с). Для третьей передачи диапазон скоростей будет от 40 до 60 км/ч (16,67м/с). Для четвертой: от 60 до 100км/ч. Среднее время достижения 100км/ч варьируется от 17 до 21 секунды. Удельный расход топлива для двигателя при разгоне возьмем из графика (рисунок 7) внешней скоростной характеристики двигателя ВАЗ-21213, которым комплектуется автомобиль ВАЗ-2121 «Нива».

Удельный расход топлива автомобиля ВАЗ-2121 "Нива" при разгоне до 100км/ч

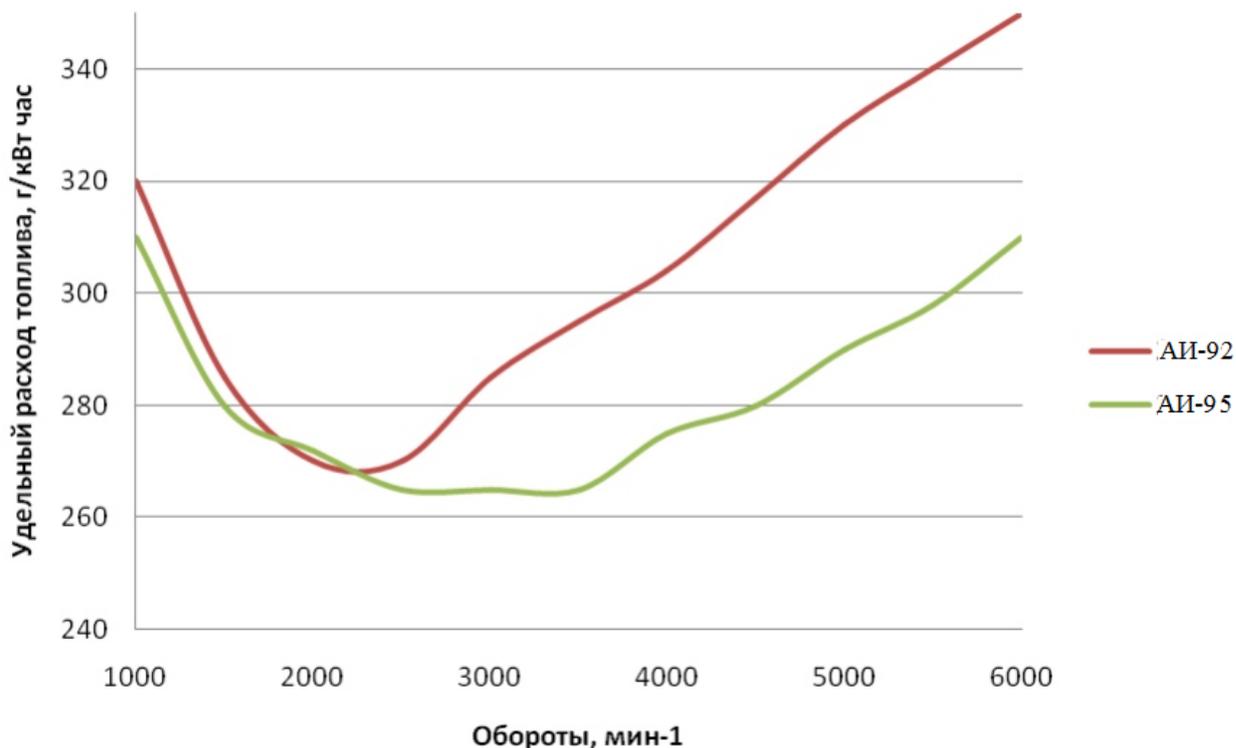


Рисунок 7– Удельный расход топлива

При 5400об/мин удельный расход топлива для АИ-95 составляет  $338 \frac{\text{г}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ . Тогда для автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» с мощностью двигателя 61кВт расход за час работы составит:  $61 \cdot 338 = 20618 \text{ г}$ . Так как время разгона у нас равно 21 секунд, рассчитаем сколько топлива будет израсходовано за это время:

$$\frac{20618}{3600} \cdot 21 = 120,65 \text{ г}$$

Найдем объем расхода бензина, исходя из его плотности, равной  $0,75 \text{ г/см}^3$ .

Тогда, объем расхода будет равен:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{120,65}{0,75} = 160,87 \text{ см}^3 = 0,16 \text{ л}$$

При этом потребление в секунду будет равно:

$$\frac{0,16}{21} = 0.0076 \text{ л/сек} = 7.6 \text{ см}^3/\text{с}$$

Для номинальной езды (без разгона) на скорости 100 км/ч (перегоночный цикл) расход топлива варьируется от 10 до 13.5 л. Пример расход топлива максимальный. Тогда за секунду работы требуемый расход топлива составит:

$$\frac{13.5}{3600} = 0.003875 \text{ л/сек} = 3.875 \text{ см}^3/\text{с}$$

Таким образом, при разгоне до 100 км/ч автомобиль ВАЗ-2121 «Нива» потребляет в  $\frac{0,0076}{0,003875} = 2,027$  раза больше топлива в единицу времени, чем при номинальной езде при такой же скорости.

Исходя из проведённых расчётов, принимаем, что для обеспечения активации требуемого расхода бензина автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» необходимо использовать устройство активации топлива с показателем производительности не менее  $8 \text{ см}^3/\text{с}$ .

## 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АКТИВАТОРА ТОПЛИВА

Требуется разработать устройство ВСМА для технологического процесса активации АИ-92 в бензопроводе при подачи бензина в перегонном цикле и при разгоне. При перегонном цикле объем принимаем  $3.875\text{см}^3$  за время 1 секунду, при разгоне объем принимаем  $7.6\text{см}^3$  за 1 секунду. Бензин АИ-92, находящийся в баке и в бензопроводе, характеризуется минимальным значением начальной вязкости. Устройство ВСМА должно подключается к бортовой сети автомобиля. Кроме этого в схеме питания активатора должен быть предусмотрен частотный преобразователь, для формирования переменного напряжения с выходной частотой необходимой для максимальной производительности активации при резонансе.

### 2.1 Выбор количества активаторов

Согласно рекомендациям раздела 2.4 [22] выбираем диаметр активатора величиной:

$$D_{\text{на}} = 3,4 \text{ см} = 0,034\text{м}.$$

Расчётное значение расхода жидкости при колебаниях активатора

Выбираем начальный зазор между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА  $\delta_0=0,0015 \text{ м}$ .

Выбираем расчётное значение частоты колебаний активатора  $f$ , равное 50 Гц. Тогда расход ЖС будет равен:

$$Q_p = 2 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0015 \cdot 50 = 129 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

$$S_{\text{зах}} = k \cdot S_{\text{осн}} = 0,95 \cdot \frac{\pi \cdot 0,034^2}{4} = 0,00086 \text{ м}^2 = 8,6\text{см}^2.$$

$$X_m = \delta_0 = 0,0015 \text{ м}.$$

Количество попаданий одной порции ЖС в зону активации -  $Z$

Выбираем значение  $Z$  для бензина, равное 15.

Расчётное значение расхода производительности активации одним активатором с учётом значения  $Z$

$$Q_{pa} = \frac{Q_p}{Z} = \frac{129}{15} = 8,6 \text{ см}^3/\text{сек.}$$

Расчётное количество активаторов (модулей ВСМА) для обеспечения производительности активации, заданной для разработки

$$N = \frac{Q_z}{Q_{pa}} = \frac{7,6}{8,6} = 0,88.$$

Принимаем количество активаторов  $N=1$  шт.

## 2.2 Основные размеры активатора и сердечника магнитопровода

$$D_{на} = 0,034 \text{ м.}$$

Высота активатора:

$$H_a = 0,2 \cdot D_{на} = 0,2 \cdot 0,034 = 0,007 \text{ м.}$$

Длина ярма сердечника:

$$B1 = 0,95 \cdot D_{на} = 0,95 \cdot 0,034 = 0,032 \text{ м.}$$

Выбираем  $B1 = 0,03$  м.

Ширина полюсного наконечника сердечника:

$$b1 = 0,15 \cdot B1 = 0,15 \cdot 0,03 = 0,0045 \text{ м.}$$

Выбираем  $b1 = 0,005$  м.

Ширина кольцевой части основания активатора:

$$b_k = 1,0 \cdot b1 = 1,0 \cdot 0,005 = 0,0045 \text{ м.}$$

Выбираем  $b_k = 0,005$  м.

Длина полюсного наконечника сердечника:

$$A1 = 0,4 \cdot B1 = 0,4 \cdot 0,03 = 0,012 \text{ м}$$

Выбираем  $A1 = 0,012$  м.

Высота стержня сердечника:

$$H1 = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,03 = 0,033 \text{ м.}$$

Выбираем  $H1 = 0,033$  м.

Высота ярма сердечника:

$$h1 = 1,4 \cdot b1 = 1,4 \cdot 0,005 = 0,007 \text{ м.}$$

Выбираем  $h1 = 0,007 \text{ м.}$

Используя полученные данные основных размеров электромагнита, выполняем чертежи активатора и листа сердечника магнитопровода.

Общие виды поперечного сечения активатора и листа сердечника магнитопровода по полученным расчётным значениям основных размеров и рекомендациям приведены на рисунке 8.

### 2.3 Параметры обмоток электромагнита модуля ВСМА

Площадь окна сердечника магнитопровода для размещения обмоток:

$$S_{\text{окн}} = (B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P) \cdot (H1 - h1 - 2\Delta1 - D), \quad (1)$$

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

$$S_{\text{окн}} = (0,03 - 2 \cdot 0,0045 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) \cdot (0,033 - 0,007 - 2 \cdot 0,002 - 0,004) = 0,00032 \text{ м}^2.$$

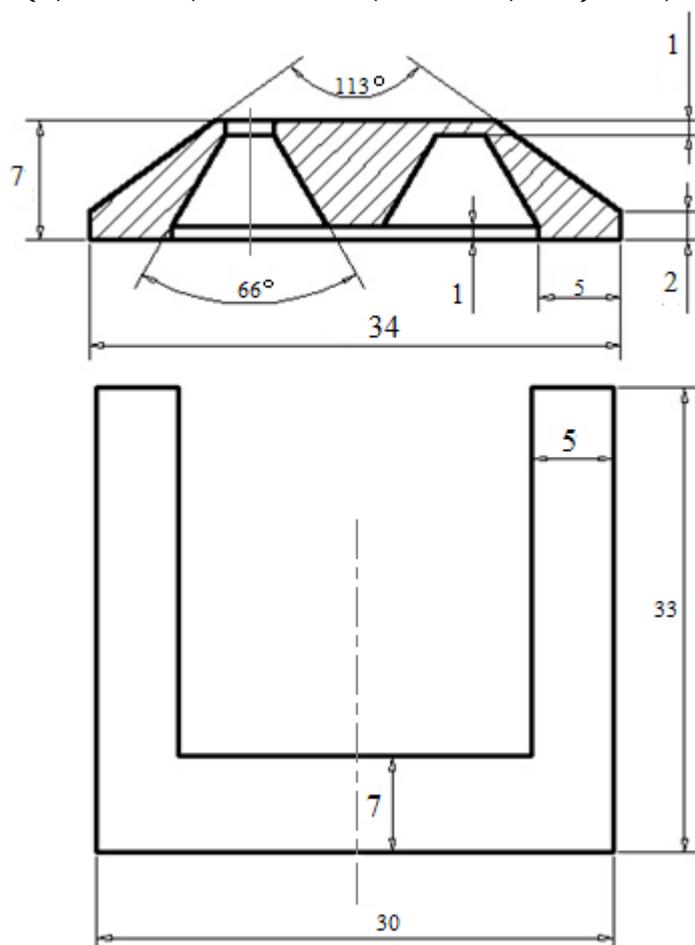


Рисунок 8 – Конструкция активатора и листа сердечника модуля ВСМА

Расчётное количество витков в обмотке электромагнита:

$$W_p = \frac{2 \cdot S_{окн} \cdot k_{зан}}{\pi \cdot d_{пр.и}^2}, \quad (2)$$

Принимаем коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода обмоточным проводом  $k_{зан} = 0,55$ . Выбираем обмоточный провод марки ПЭТВ диаметром жилы  $d_{пр} = 0,2$  мм и диаметром провода в изоляции  $d_{пр.и} = 0,245$  мм.

Расчётное значение количество витков электромагнита:

$$W_p = \frac{2 \cdot 320 \cdot 0,55}{\pi \cdot 0,245^2} = 1867,66.$$

Принимаем  $W_p = 1900$ .

Допустимая толщина слоёв обмотки:

$$\Delta t = \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P}{2} = \frac{0,03 - 2 \cdot 0,005 - 2 \cdot 0,002 - 0,002}{2} = 0,008 \text{ м.}$$

Расчётное количество слоёв обмотки:

$$N_{сл} = \frac{\Delta t}{d_{пр.и}} = \frac{0,008}{0,000245} = 32,65.$$

Принимаем  $N_{сл} = 33$ .

Расчётное значение длины среднего витка обмотки:

$$P_{ср} = 2(b1 + A1 + 2\Delta1) + 2\pi \cdot R_{скр.об} = 2 \cdot (0,0045 + 0,012 + 2 \cdot 0,001) + 2\pi \cdot 0,00392 = 0,066 \text{ м.}$$

Средний радиус закругления углов обмотки:

$$R_{скр.об} = \frac{(N_{сл} + 1)d_{пр.и}}{2} = \frac{(33 + 1) \cdot 0,000245}{2} = 0,00417 \text{ м.}$$

Расчётное значение длины провода обмотки:

$$P_{об} = W \cdot P_{ср} = 1900 \cdot 0,066 = 127,24 \text{ м.}$$

#### 2.4 Расчётное значение массы активатора

Массу активатора можно рассчитать, воспользовавшись условным разделением тела активатора на составляющие фигуры. На рисунке 9 приведено поперечное сечение активатора с разбиением его на составляющие фигуры 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

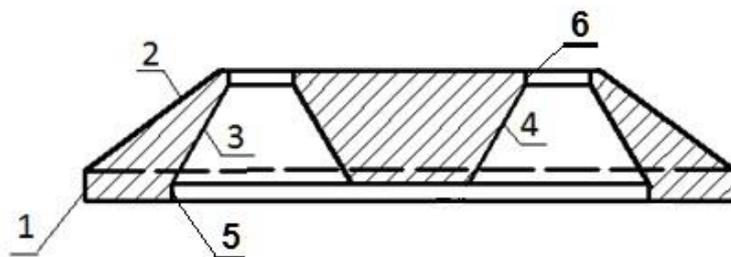


Рисунок 9 – к определению массы активатора

- 1 – полый цилиндр (кольцо) основания активатора;
- 2 – усечённый конус, образованный внешней образующей формы активатора;
- 3 – усечённый конус, образованный внешней образующей полости внутри активатора;
- 4 – усечённый конус, образованный внутренней образующей полости внутри активатора;
- 5 – полый цилиндр (кольцо) захода полости внутри активатора;
- 6 – полый цилиндр (кольцо) выходного отверстия полости внутри активатора.

Масса активатора:

$$M_a = \rho_{m.a.} \cdot V_a, \quad (3)$$

где:  $\rho_{m.a.}$  – объёмная плотность материала активатора;

$V_a$  – объём активатора, занимаемый материалом.

$\rho_{m.a.} = 7800 \text{ кг/м}^3$  объёмная плотность магнитопроводящей конструкционной стали.

$$V_a = V1 + V2 - V3 + V4 - V5 - V6, \quad (4)$$

где:  $V1$  – объём полого цилиндра 1;

$V2$  – объём усечённого конуса 2;

$V3$  – объём усечённого конуса 3;

$V4$  – объём усечённого конуса 4;

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

$V_6$  – объём полого цилиндра (кольца) 6.

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

$$V_k = \frac{\pi}{4} h (D_n^2 - D_{вн}^2), \quad (5)$$

где:  $D_n$  – внешний диаметр кольца;

$D_{вн}$  – внутренний диаметр кольца.

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

$$V_{у.к} = \frac{1}{3} \pi H_{у.к} (R_{осн.}^2 + R_{осн.} \cdot R_{в.ч.} + R_{в.ч.}^2), \quad (6)$$

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

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

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

Подставим данные и найдем объём усеченного конуса 2:

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,006 \cdot (0,034^2 + 0,034 \cdot 0,017 + 0,017^2) = 1,27 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Конуса 3 и 4:

$$V_3 = V_4 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,005 \cdot (0,006^2 + 0,006 \cdot 0,003 + 0,003^2) = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Объём полого цилиндра 1:

$$V_1 = \frac{3,14}{4} \cdot 0,002 \cdot 0,034^2 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Объём полого цилиндра 5:

$$V_5 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,001 \cdot 0,024^2 = 4,52 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Объём полого цилиндра 6:

$$V_6 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,001 \cdot 0,003^2 = 7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Тогда объём активатора равен:

$$V_a = V_1 + V_2 - V_3 + V_4 - V_5 - V_6 = 0,000014 \text{ м}^3.$$

Тогда масса активатора:

$$M_a = 7800 \cdot 0,000014 = 0,11 \text{ кг.}$$

Присоединённая масса ЖС

Для определения значения присоединённой массы ЖС необходимо знать объёмную плотность обрабатываемой жидкости. По условиям задания устройство ВСМА предназначено для обработки бензина. Среднее значение объёмной плотности бензина можно принять равной  $750 \text{ кг/м}^3$ .

$$M_{\text{пр}} = \frac{8}{3} \rho_{\text{жс}} \left( \frac{D_{\text{на}}}{2} \right)^3 = \frac{8}{3} \cdot 750 \cdot \left( \frac{0,034}{2} \right)^3 = 0,01 \text{ кг.}$$

Общая масса подвижных частей механической части модуля ВСМА:

$$M = M_a + M_{\text{пр}} = 0,11 + 0,01 = 0,12 \text{ кг.}$$

## 2.5 Значение жёсткости пружинного подвеса активатора модуля ВСМА

Согласно рекомендациям раздела 2.4.2 [22] принимаем значение абсолютной собственной частоты колебательной системы модуля ВСМА  $f_0 = 70 \text{ Гц}$ . Соответствующая угловая частота:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 439,6 \text{ с}^{-1}.$$

Расчётное значение жёсткости пружинного подвеса активатора модуля ВСМА:

$$q_{\text{лр}} = \omega_0^2 \cdot M_a = 439,6^2 \cdot 0,12 = 23,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Расчётное значение жёсткости одной пружины при этом составит:

$$q_{\text{л}} = \frac{q_{\text{лр}}}{2} = \frac{23,2 \cdot 10^3}{2} = 11,59 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

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

$$\omega_{0\text{ж}} = \sqrt{\frac{q_{\text{л}}}{M_a + M_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{11595}{0,11 + 0,01}} = 310,8 \text{ с}^{-1}.$$

Частота колебаний активатора при этом будет равна:

$$f_{0\text{ж}} = \frac{\omega_{0\text{ж}}}{2\pi} = \frac{310,8}{2 \cdot 3,14} = 49,5 \text{ Гц.}$$

Параметры пружины подвеса активатора модуля ВСМА:

Воспользовавшись выражением (2.20), производим уточняющие несколько раз расчёты жёсткости пружины.

В результате перебора вариантов останавливаемся на следующем:

- диаметр пружинной проволоки,  $d_{np} = 1$  мм [23,25];
- наружный диаметр пружины,  $D_{np} = 8$  мм;
- средний диаметр пружины,  $D_{ср.пp} = 7$  мм;
- количество рабочих витков пружины,  $n = 4$ .

Используя известное выражение для расчёта жёсткости цилиндрических пружин [24]:

$$q = \frac{Ed_{np}^4}{8nD_{np}^3} = \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 0.001^4}{8 \cdot 4 \cdot 0.008^3} = 12,82 \cdot 10^3 \text{ Н/м.}$$

где:  $E$  – модуль сдвига, МПа (сталь);

$d_{np}$  – диаметр пружинной проволоки, м;

$n$  – число витков в пружине;

$D_{np}$  – средний диаметр пружины, м.

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

$$H_{np} = k \cdot n \cdot d_{np} + 2,3 + 3 = 1,5 \cdot 4 \cdot 1 + 2,3 + 3 = 11,3 \text{ мм.}$$

Таким образом, нами определены все необходимые размеры для выполнения чертежей активатора, электромагнита и пружины. Указанные размеры необходимы нам для конструирования изделия в целом и определения параметров схем замещения. Общий вид разработанного автомобильного активатора топлива приведён на рисунке 10

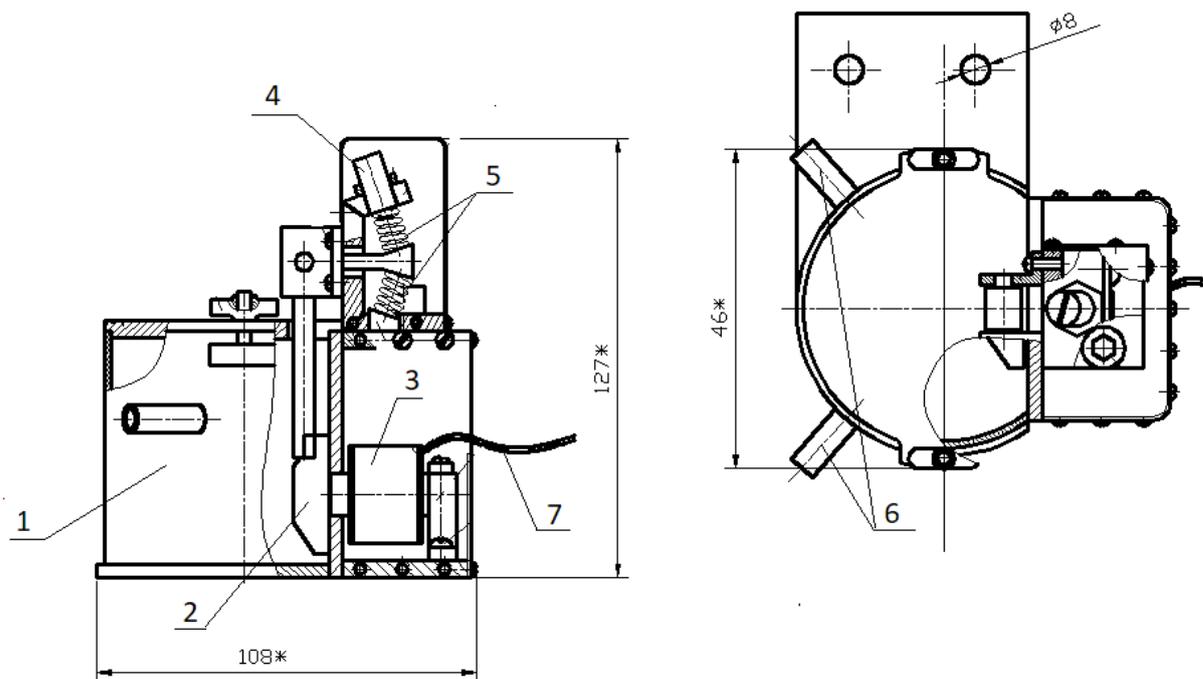


Рисунок 10 – Общий вид активатора топлива

Основные элементы активатора топлива, приведённого на рисунке 10:

- 1 - корпус;
- 2 - активатор;
- 3 - электромагнит;
- 4 - регулировочный винт установки начального зазора;
- 5 - пружины подвеса активатора;
- 6 - патрубки топливопровода;
- 7 - выводной кабель.

Разработанные чертежи основных элементов активатора топлива приведены в приложении 2

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА

#### 3.1 Расчётная схема модуля активатора

Для расчёта в случае линейного перемещения активатора начальный зазор  $X_0$  рассчитывается между активатором и стенкой БВО по центру активатора, исходя из этого можно перейти к линейному перемещению без ущерба точности получения результатов. Для моделирование расчётный чертеж модуля виброобработки представлена на рисунке 10 включающий в себя следующие элементы:

- 1 – упругость (пружина)
- 2 – активатор
- 3 – электромагнит
- 4 – якорь
- 5 – сердечник электромагнита

Упругий элемент **1** предназначен для создания возвращающей силы колебательной системы. Активатор **2** выполнен из цельной заготовки и выполнен круглой формы. Электромагнит **3** предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жёстко связан с корпусом, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор **2**, являющийся якорем **4** электромагнита. Сердечник электромагнита **5** выполнен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки.

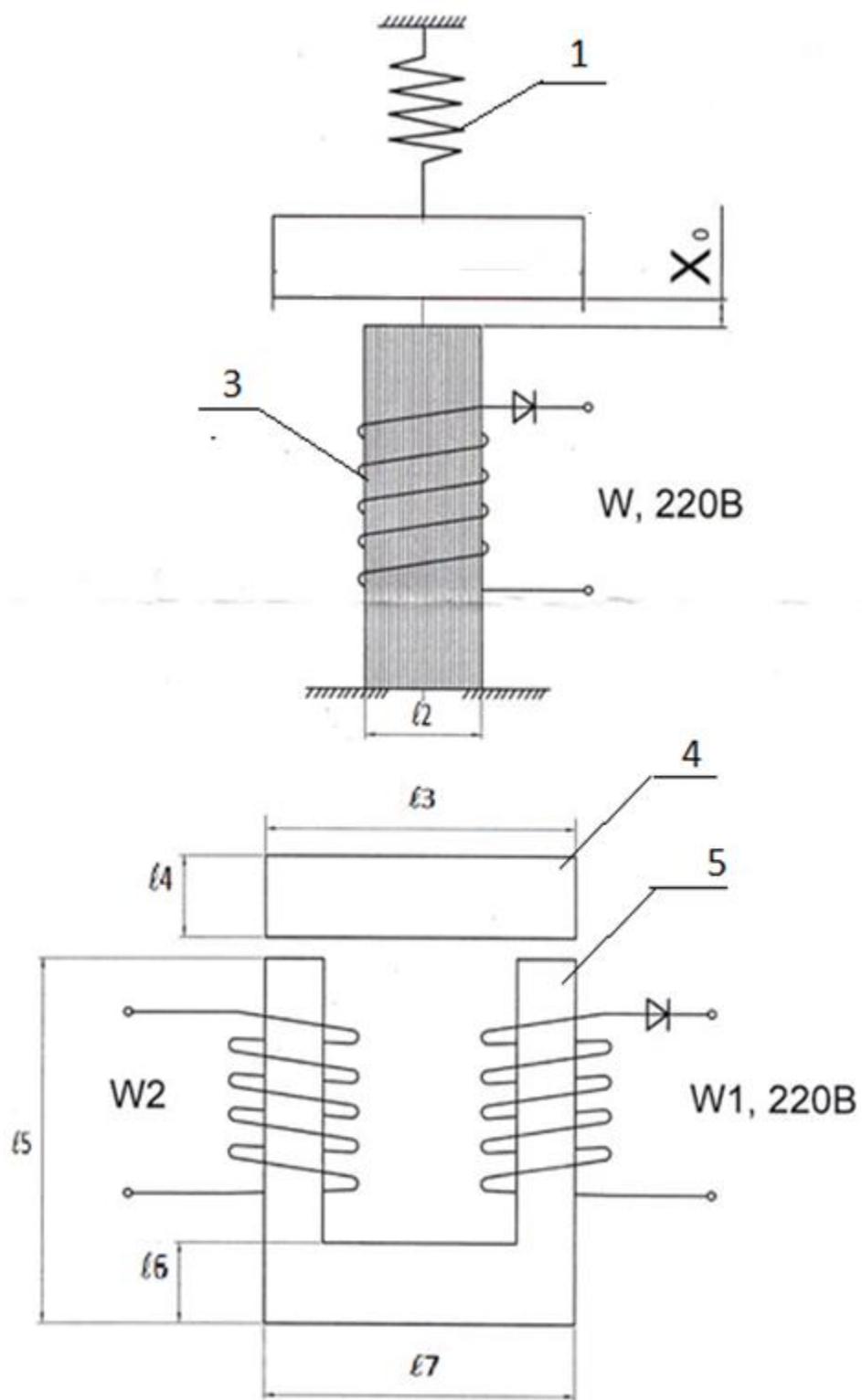


Рисунок 11 – Расчётная схема электромагнита для моделирования

### 3.2 Моделирование электрических контуров

Электрическая часть электромагнитного активатора представляет собой главный и два короткозамкнутых (КЗ) контура. КЗ контуры образованы пластиной из нержавеющей стали, разделяющей внутреннюю полость вибратора от внешней среды. Основным 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 возмущений. Причём, чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии колебаний в среде. При подаче на электромагнит частоты промышленной сети  $50 \text{ Гц}$ , возмущающая сила будет изменяться с частотой в два раза выше –  $100 \text{ Гц}$ . 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  $VD$  позволило обеспечить частоту возмущающей силы  $50 \text{ Гц}$  при частоте питающего напряжения  $50 \text{ Гц}$ .

Короткозамкнутый контур, создаваемый конструктивными элементами пластин, на схеме замещения представлен индуктивностью  $L_{кз}$  и активным сопротивлением  $R_{кз}$ . Следует отметить, что при наличии двух полюсов электромагнита, схема замещения должна включать в себя два КЗ контура.

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

Расчетная схема замещения электрической части ЭМП представлена на рисунке 12.

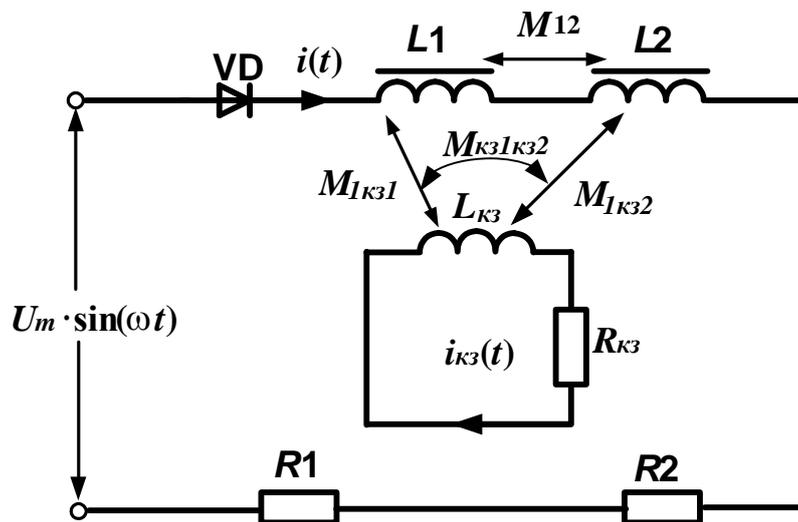


Рисунок 12 – Схема замещения электрического контура электромагнитного активатора (одного модуля)

Схема замещения (рисунок 11) включает в себя следующие элементы

- $L_1, L_2$  – индуктивности катушек;
- $R_1, R_2$  – активные сопротивления катушек;
- $M_{12}$  – взаимная индуктивность между катушками;
- $L_{k3}, R_{k3}$  – индуктивность и активное сопротивление короткозамкнутого контура соответственно;
- $M_{1k31}, M_{1k32}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и катушками;
- $M_{k31k32}$  – взаимоиндуктивность между короткозамкнутыми катушками.

### 3.3 Расчет параметров электрической части активатора

#### Активное сопротивление обмотки модуля ВСМА

Для известных значений длины провода обмотки  $P_{об}$ , материала и диаметра обмоточного провода определяем величину активного сопротивления обмотки при нормальных условиях:

$$R_{об} = \rho_m \frac{P_{об}}{S_{пр}} = 0,0175 \cdot \frac{127,24}{\frac{\pi \cdot 0,2^2}{4}} = 70,88 \text{ Ом}$$

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

Активное сопротивление обмотки в нагретом состоянии определяем из условий перегрева обмотки в рабочем состоянии на 70 °С

$$R_{\text{нагр}} = R_{\text{об}} \cdot (1 + \Delta T \cdot \alpha) = 58,85 \cdot (1 + 0,0038 \cdot 70) = 89,734 \text{ Ом}$$

$\Delta T = 70$  °С, перепад температуры в обмотке модуля ВСМА;

$\alpha = 0,0038$  °С<sup>-1</sup>, температурный коэффициент удельного сопротивления меди.

### 3.4 Расчётное начальное значение индуктивности обмотки модуля ВСМА

Для расчёта индуктивности обмотки модуля ВСМА необходимо определить некоторые дополнительные данные:

$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м - магнитная проницаемость вакуума (воздуха).

$\mu_{\text{сер}} = (250 \div 350)$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника магнитопровода модуля ВСМА. Сердечник магнитопровода выполняем из листов стали Ст.10 толщиной 0,5 мм. Указанные значения относительной магнитной проницаемости соответствуют ненасыщенному участку кривой намагничивания для стали Ст.10.

Площадь поперечного сечения стержня сердечника магнитопровода:

$$S_{\text{сер}} = A1 \cdot b1 = 0,012 \cdot 0,005 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Расчётная длина средней линии замыкания магнитного потока электромагнита:

$$l_m = 2 \cdot \left( H1 - \frac{h1}{2} \right) + 2 \cdot (B1 - b1) + 2\Delta_{\text{ст}} + H_a, \quad (7)$$

где:  $\Delta_{\text{ст}} = 0,001$  мм - толщина стенки корпуса модуля ВСМА.

$$l_m = 2 \cdot \left( 0,033 - \frac{0,007}{2} \right) + 2 \cdot (0,03 - 0,005) + 2 \cdot 0,001 + 0,007 = 0,119 \text{ м}.$$

$\Delta t = 0,04$  м - расчётная толщина слоёв обмотки электромагнита.

Расчётное значение индуктивности обмотки электромагнита при начальном зазоре 1 мм:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_{\text{сер}} \cdot W_p^2 \cdot S_{\text{сер}}}{k \cdot [2 \cdot (\delta_0 + l_m)] + 10 \cdot \Delta t}, \quad (8)$$

где:  $\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\mu_{сер}$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника магнитопровода;

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

$W$  – количество витков в обмотке;

$k$  – конструктивный коэффициент;

$\delta_0$  – величина зазора;

$l_m$  – длина средней линии замыкания магнитного потока;

$\Delta t$  – толщина обмотки.

$k = 4,5$  – конструктивный коэффициент для спроектированного исполнения электромагнита модуля ВСМА.

$$L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 1900^2 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{4,5 \cdot (2 \cdot (0,0015 + 0,119)) + 10 \cdot 0,04} = 0,408 \text{ Гн.}$$

Расчётное начальное значение взаимоиנדуктивности основных обмоток:

$$M_{12} = k1 \cdot \frac{\mu_0 \cdot \mu_{сер} \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot S_{сер}}{\mu_{сер} \cdot \delta_0 + l_m}, \quad (9)$$

где:  $W_1, W_2$  – количество витков в обмотках электромагнита;

$k1$  – конструктивный коэффициент, учитывающий взаимное расположение обмоток.

При  $k1 = 0,5$ :

$$M = \frac{0,5 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 1900 \cdot 1900 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 300 \cdot 0,0015 + 0,119} = 0,282 \text{ Гн.}$$

Расчётное активное сопротивление короткозамкнутого витка, образованного стенкой корпуса модуля ВСМА.

Для расчёта активного сопротивления к.з.к необходимо предварительно определить:

эквивалентный диаметр к.з.к.

$$D_{кз} = \sqrt{A1^2 + b1^2} = \sqrt{0,012^2 + 0,005^2} = 0,013 \text{ м.}$$

и площадь эквивалентного сечения к.з.к.

$$S_{кз} = H_a \cdot \frac{D_{кз}}{4} = 0,007 \cdot \frac{0,013}{4} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

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

$$R_{кз} = \rho_{кз} \frac{4 \cdot \pi}{h_{кз}} = 0,047 \cdot \frac{3,14 \cdot 4}{3} = 9,84 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$\rho_{кз} = 0,047 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  удельное сопротивление нержавеющей стали.

Расчётное начальное значение индуктивности к.з.к.

Диаметр условного витка к.з.к (10)

$$d_{кз} = 2 \cdot \sqrt{\frac{h_{кз} \cdot (D_{кз} - A1)}{\pi}}, \quad (10)$$

$$d_{кз} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,03 \cdot (0,013 - 0,012)}{3,14}} = 0,025 \text{ м}$$

$$L_{кз} = 2\pi D_{кз} \left[ \ln\left(\frac{8D_{кз}}{d_{кз}}\right) - 1,75 \right] \cdot 10^{-7}, \quad (11)$$

$$L_{кз} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,013 \left[ \ln\left(\frac{8 \cdot 0,013}{0,025}\right) - 1,75 \right] \cdot 10^{-7} = 1,58 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

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

$$M_{кз} = \frac{\mu_0 \cdot W_{1(2)} \cdot S_{сеп}}{\delta_0 + (H1 - h1)}, \quad (12)$$

$$M_{кз} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1900 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{0,0015 + (0,033 - 0,007)} = 4,39 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

### 3.5 Система уравнений активатора

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

#### 3.5.1 Уравнение для электрических контуров

Уравнение для основного контура определяется по формуле:

$$U_m \sin \omega t = i_k + R_k + \frac{d\Psi_\Sigma}{dt}, \quad (13)$$

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:

$$\Psi_\Sigma = \Psi_1 + \Psi_2, \quad (14)$$

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

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

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

$$\Psi_1 = \Psi_{\text{соб.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд.К1}}, \quad (15)$$

где:  $\Psi_{\text{соб.инд1}} = i_k \cdot L_1$ , - собственное потокосцепление катушки  $L1$ ;

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

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{k3} \cdot M_{1k31}$  - потокосцепление с короткозамкнутым контуром.

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

$$\Psi_2 = \Psi_{\text{соб.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд.К2}}, \quad (16)$$

где:  $\Psi_{\text{соб.инд2}} = i_k \cdot L_2$ , - собственная потокосцепление катушки  $L2$ ;

$\Psi_{\text{в.инд1}} = i_k \cdot M_{12}$ , - взаимная потокосцепление катушки  $L_1, L_2$ ;

$\Psi_{\text{в.инд.К}} = i_{k3} \cdot M_{1k32}$ , - взаимная потокосцепление с короткозамкнутым контуром.

Перепишем уравнение 15

$$U_m \sin \omega t = i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt}, \quad (17)$$

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

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K1}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_1}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 31}}{dt}, \quad (18)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K2}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_2}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 32}}{dt}, \quad (19)$$

Используя выражение 18, 19 получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \\ & + i_{\kappa} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right) + \\ & + \frac{di_{\kappa}}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\kappa 31} + M_{1\kappa 32}); \end{aligned} \quad (20)$$

Упростим уравнение 20, заменив дифференциал произведения на суммы двух дифференциалов:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & Um \cdot \sin(\omega t) - i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - \\ & - i_{\kappa} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\kappa 31-1} + M_{\kappa 32-1} + M_{\kappa 32-2} + M_{\kappa 31-2}) = \\ = & \frac{di_{\kappa}}{dt} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right); \end{aligned} \quad (21)$$

Сгруппируем однородные члены выражения 21 для составления уравнения основного контура.

$$\frac{di_{\kappa}}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - i_{\kappa} \left( \frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \quad (22)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

$$0 = i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} + \frac{d\psi_{\kappa 31}}{dt};$$

Где:  $\Psi_{кз}$  -потокосцепление короткозамкнутого контура, представляющий собой суммарный магнитный поток, сцепляющийся со всеми витками катушки индуктивности и взаимоиндуктивности короткозамкнутого контура.

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

$$\frac{i_{кз}}{dt} = \frac{-i_{кз} \cdot R_{кз} - i_{кз} \left( \frac{L_{кз}}{dt} + \frac{M_{кз1кз2}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right)}{L_{кз}}, \quad (23)$$

### 3.5.2 Уравнение механического контура

Дифференциальное уравнение, описывающее колебания, для механической части электромеханического преобразователя при линейных перемещениях якоря:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + R \cdot \frac{dx}{dt} + q \cdot x = F(t) \quad (24)$$

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

$m_a$  – масса активатора;

$m_{np}$  – присоединенная масса ЖС.

$R$ – коэффициент демпфирования( механическое сопротивление).

Присоединённая масса – масса, которая присоединяется к массе движущегося активатора в жидкости. Для учёта воздействия среды на активатор определим присоединенную массу.

Присоединенная масса для круглой формы электромагнитного активатора определяется как:

$$m_{np} = \frac{8}{3} \cdot \rho_{ж} \cdot r_{экв}^3 \quad (25)$$

где:  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,

$r_{экв}$  – радиус активатора эквивалентный активатора.

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

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad (26)$$

Тогда перепишем общее уравнение:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t)}{m} - \frac{R}{m}y - \frac{kx}{m}, \quad (27)$$

где:  $F(t) = (F_1 + F_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_{\delta}^2 \cdot S_{\Phi}}{\mu_0}$  - возмущающая сила;

$F_1, F_2$  - намагничивающая сила катушек в основном контуре;

$y$  - ускорение колебаний активатора.

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

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

### 3.6 Система уравнения работы виброактиватора

Система уравнения работы виброактиватора, приведенная ниже, составлена из уравнений электрических контуров виброактиватора и уравнений механического контура. Преобразуем данные уравнения 22, 23, 26, 27 в удобный вид для их решения численным методом:

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{Um - 2i_k \cdot \left( R_k + L_k \cdot y + M_{12} \cdot y - 4 \frac{M_{1k2}}{L_{k3}} \cdot M_{1k1} \cdot y \right) - 4 \cdot i_{k3} \left( M_{1k1} \cdot y - \frac{M_{1k2} \cdot R_{k3}}{L_{k3}} \right)}{2 \cdot L_k + M_{12}},$$

$$\frac{di_{k3}}{dt} = \frac{i_k \cdot \left( R_{k3} - 4 \frac{M_{k31k2}}{L_k + M_{12}} \cdot M_{k31k2} \cdot y \right) - \frac{M_{k31k2}}{L_k + M_{k31k2}} \cdot Um - 2 \cdot i_k \cdot \left[ M_{12} \cdot y - \frac{M_{k31k2}}{L_k} \cdot (R_{k3} + L_k \cdot y + M_{12} \cdot y) \right]}{L_{k3}},$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t) - R \cdot y - q \cdot x}{m},$$

$$y = \frac{dx}{dt},$$

### 3.7 Расчётное значение коэффициента потерь на вязкое трение

Принимаем для ЖС со средним значением вязкости величину  $\Delta f = 10$

Гц. При этом:

$$\omega_{рж} = 2 \cdot \pi \cdot (f_{0ж} - \Delta f) = 2 \cdot 3,14 \cdot (49,5 - 10) = 248,1 \text{ с}^{-1}$$

$$R_{мех} = \sqrt{2 \cdot M \cdot (\omega_{0ж}^2 - \omega_{рж}^2)}, \quad (28)$$

$$R_{мех} = \sqrt{2 \cdot 0,12 \cdot (310,8^2 - 248,1^2)} = 32,17 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$$

Принимаем  $R_{мех} = 35 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$ .

В результате расчётов составим таблицу 1 постоянных коэффициентов системы дифференциальных уравнений

Таблица 1 – Постоянные коэффициенты системы диф. уравнений

Параметр	Обозначение	Значение
Активное сопротивление обмоток электромагнита, Ом	$R$	74,504
Активное сопротивление к.з.к, Ом	$R_{кз}$	$9,84 \cdot 10^{-5}$
Жёсткость пружины подвеса активатора, Н/м	$q_{пр}$	$23,2 \cdot 10^3$
Расчётная жёсткость пружинного подвеса активатора, Н/м	$q_{л}$	$11,59 \cdot 10^3$
Масса подвижных элементов модуля ВСМА, кг	$M$	0,12
Коэффициент механических потерь начальный, Н·с/м	$R_{мех}$	29

### 3.8 Алгоритм расчёта системы уравнений

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Листинг алгоритма расчета в программе MathCAD 15 приведен в приложение 1.

## 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИБРОАКТИВАТОРА

### 4.1 Частотные характеристики при изменении частоты питающего напряжения

Соблюдая условие не превышения допустимой плотности тока в проводнике катушек необходимо при уменьшения частоты снижать и величину питающего напряжения. При этом необходимо соблюдать постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения  $U/f=const$ .

Произведем расчет частотных характеристик на математической модели, для двух жидкостей: воды, нефти.

Расчёт будем производить постоянным начальным зазором  $X_0=0,001$  мм и изменениями следующих параметров работы виброобработки, учитываемых соответствующими коэффициентами в системе уравнений:

$U$  – амплитуда питающего напряжения, В;

$f$  – частота питающего напряжения, Гц;

Основными задачами анализа режимов работы модуля ВСМА являются:

- определение токов в основном контуре модуля ВСМА при максимальной производительности активации;
- определение величины и частоты питающего напряжения модуля ВСМА при максимальной производительности активации;
- уточнение начального зазора между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА, обеспечивающего максимальную производительность активации при ограничениях тока в обмотках электромагнита модуля ВСМА.

Анализ режимов работы модуля ВСМА при значении коэффициента потерь на вязкое трение  $R_{\text{мех}} = 30$  Н·с/м.

Расчётное значение начального коэффициента потерь на вязкое трение составляет 29 Н\*с/м, однако для упрощения расчётов принимаем его

значение, равное 30 Н\*с/м. Конечное значение коэффициента потерь при обработке бензина 20 Н\*с/м.

Задачей первого этапа расчётов является определение начального зазора, частоты и величины питающего напряжения, обеспечивающих максимальную производительность, при двух значениях коэффициента потерь: в начале и по окончании обработки.

Определение указанных параметров происходит в следующем порядке:

- первоначально определяется резонансная частота колебаний активатора путём подстановкой в листинг расчёта частоты питающего напряжения при неизменных значениях  $R_{\text{мех}}$ ;

- затем при неизменных значениях резонансной частоты колебаний активатора и  $R_{\text{мех}}$  в пределах возможного диапазона выходного напряжения частотного преобразователя определяется начальный зазор между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА для обеспечения максимальной производительности активации;

- далее для определённого выше начального зазора производится расчёт производительности активации при изменении частоты питающего напряжения в диапазоне от – 50% до +50% от резонансной частоты. Целью данного расчёта является определение диапазона частот питающего напряжения, при котором имеет место производительность активации отличающаяся от максимальной не более, чем на 5%.

В ходе расчётов фиксируются значения токов в основной цепи. На всех этапах расчётов ток в основной цепи модуля ВСМА должен быть равным или близким к допустимому.

Допустимый ток основной цепи модуля ВСМА определяется из условия допустимой плотности тока устройств ВСМА. Практикой установлено, что допустимую плотность тока в основной цепи модуля ВСМА можно принять равной величине не более чем 2,6 А/мм<sup>2</sup>. Тогда величина тока в основной цепи будет ограничиваться величиной не более, чем 0,063 А.

Результаты расчётов последовательно сводим в таблицы.

Данные по определению резонансной частоты при начальном значении  $R_{\text{мех}} = 30 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  сводим в таблицу 2. При этом начальный зазор в расчётах выставляем равным 1 мм, а поиск резонансной частоты ведём путём изменения частоты питающего напряжения, начиная с крупного шага изменения частоты и постепенным его уменьшением по мере приближения к точке резонанса.

Таблица 2 – К определению резонансной частоты

f, Гц	45,8	46,1	46,2	46,3	46,4	46,5	46,7	46,8	46,9
I <sub>d</sub> , А	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,057
x, мм	0,269	0,276	0,272	0,274	0,277	0,281	0,286	0,285	0,283
Q <sub>акт</sub> , см <sup>3</sup> /сек	17,81	17,92	18,012	18,43	18,81	19,16	19,356	18,25	17,56
U <sub>d</sub> , В	43,51	43,795	43,89	43,895	44,08	44,175	44,365	44,46	44,555

Как видно из таблицы 2 при значении  $R_{\text{мех}} = 30 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  резонанс наступает на частоте питающего напряжения 46,7 Гц. Кроме этого из таблицы видно, что при выбранном первоначальном зазоре 1 мм ток в основной цепи меньше, чем допустимый. Поэтому необходимо скорректировать начальный зазор в сторону увеличения, одновременно при этом изменяя коэффициент пропорциональности напряжения. В результате корректировки получаем:

- начальный зазор  $\delta_0 = 0,3 \text{ мм}$ ;
- действующее значение напряжения питания  $U_d = 46,38 \text{ В}$ ;
- действующее значение тока в основной цепи  $I_d = 0,062 \text{ А}$ ;
- производительность активации  $Q_{\text{акт}} = 20,21 \text{ см}^3/\text{сек}$ .

Для уточненного значения начального зазора  $\delta_0$  и  $R_{\text{мех}} = 30 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  произведём расчёт и построим частотную характеристику работы модуля ВСМА, обращая внимание на ограничение тока в основной цепи модуля ВСМА и амплитуды колебаний активатора при реализации постоянного закона изменения частоты и амплитуды питающего напряжения. Для нашего

случая реализация закона регулирования выходного напряжения частотного преобразователя при частоте, меньше резонансной, соответствует выражению

$$E_m = 9,5 \cdot \sqrt{3} \cdot f, \quad (29)$$

При частоте питающего напряжения больше, чем частота резонанса, напряжение питания модуля ВСМА остаётся неизменной и равной  $E_m = 47,4$  В. Данные расчётов сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Амплитудно-частотные характеристики

f, Гц	45	46	46,5	47	48	49	50	55	60
I <sub>d</sub> , А	0,061	0,061	0,062	0,061	0,061	0,06	0,059	0,057	0,056
x, мм	0,257	0,267	0,281	0,275	0,271	0,262	0,251	0,248	0,243
Q <sub>акт</sub> , см <sup>3</sup> /сек	17,6	17,9	19,1	18,33	18,21	17,98	17,76	17,43	17,24
U <sub>d</sub> , В	42,75	42,25	44,9	47,4	47,4	47,4	47,4	47,4	47,4

Данные по определению резонансной частоты при конечном значении  $R_{\text{мех}} = 20$  Н·с/м сводим в таблицу 4. Определение резонансной частоты колебаний активатора и выбор начального зазора между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА производим аналогичным образом, что и для предыдущего случая. Зазор между активатором и стенкой корпуса модуля ВСМА первоначально выбираем равным 1,3 мм.

Таблица 4 – К определению резонансной частоты

f, Гц	52,3	52,5	52,6	52,7	52,8	52,9
I <sub>d</sub> , А	0,059	0,06	0,061	0,062	0,062	0,061
x, мм	1,182	1,196	1,202	1,213	1,206	1,201
Q <sub>акт</sub> , см <sup>3</sup> /сек	18,13	18,56	18,79	19,01	18,82	18,33
U <sub>d</sub> , В	44,52	45,03	45,41	45,73	45,83	46,09

Как видно из таблицы 4 при значении  $R_{\text{мех}} = 20$  Н·с/м резонанс наступает на частоте питающего напряжения 52,7 Гц. Кроме этого из таблицы видно, что при выбранном первоначальном зазоре 1,5 мм ток в основной цепи меньше, чем допустимый. Поэтому необходимо

скорректировать начальный зазор в сторону увеличения, одновременно при этом изменяя коэффициент пропорциональности напряжения. В результате корректировки получаем:

- начальный зазор  $\delta_0 = 1,2$  мм;
- действующее значение напряжения питания  $U_d = 48,25$  В;
- действующее значение тока в основной цепи  $I_d = 0,062$  А;
- производительность активации  $Q_{акт} = 20,37$  см<sup>3</sup>/сек.

Для уточненного значения начального зазора  $\delta_0$  и  $R_{мех} = 20$  Н·с/м произведём расчёт и построим частотную характеристику работы модуля ВСМА, обращая внимание на ограничение тока в основной цепи модуля ВСМА и амплитуды колебаний активатора при реализации постоянного закона изменения частоты и амплитуды питающего напряжения. Для нашего случая реализация закона регулирования выходного напряжения частотного преобразователя при частоте, менее резонансной, соответствует выражению

$$E_m = 7,9 \cdot \sqrt{3} \cdot f, \quad (30)$$

При частоте питающего напряжения больше, чем частота резонанса,  $E_m = 48,25$  В. Данные расчётов сводим в таблицу 5.

Таблица 5 – Амплитудно-частотные характеристики

f, Гц	45	50	52	53	54	55	60	65	70
$I_d$ , А	0,058	0,06	0,06 2	0,062	0,061	0,06	0,059	0,058	0,056
x, мм	1,07	1,12	1,2	1,17	1,15	1,11	1,05	1,01	0,98
$Q_{акт}$ , см <sup>3</sup> /сек	19,3	19,6	20,3 8	19,64	19,76	19,53	19,24	18,47	17,03
$U_d$ , В	43,16	45,8 1	47,0 4	48,25	48,25	48,25	48,25	48,25	48,25

По данным таблиц 3 и 5 строим частотные характеристики работы модуля ВСМА при различных значениях коэффициента механических потерь на вязкое трение.

На рисунке 12 приведены зависимости амплитуды колебаний активатора модуля в миллиметрах ВСМА от частоты питающего напряжения.

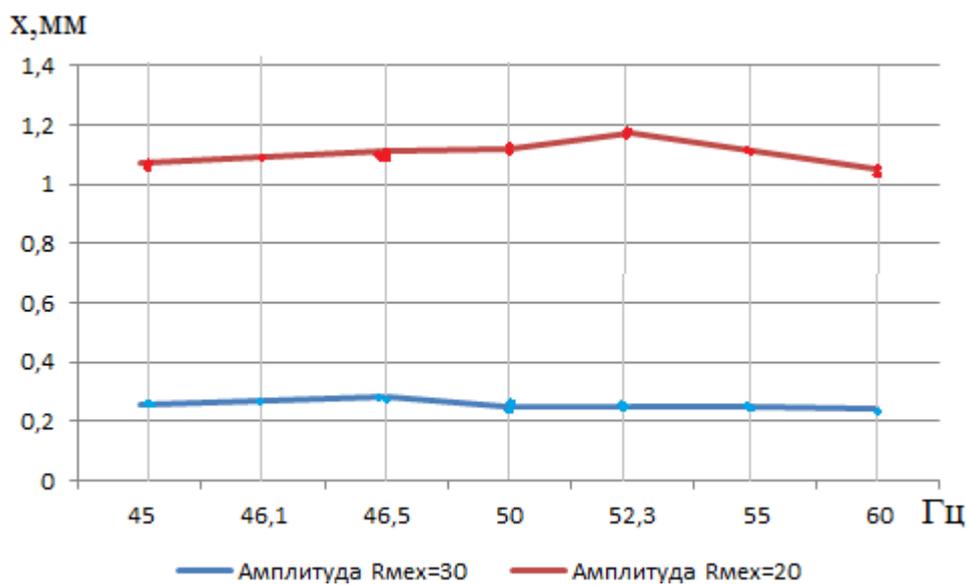


Рисунок 13 – График амплитуды колебаний

На рисунке 13 приведены зависимости производительности активации модуля ВСМА в  $см^3/сек$  от частоты питающего напряжения.

Как видно из представленных зависимостей амплитуда колебаний и производительность активации в зоне резонанса при коэффициенте механических потерь  $R_{мех} = 20$  Н·с/м существенно выше, чем при  $R_{мех} = 30$  Н·с/м. Помимо этого следует отметить тот факт, что значения резонансной частоты также отличаются ориентировочно на 8-10 Гц. Данное обстоятельство полностью согласуется с положениями теории механических колебаний: при увеличении потерь на вязкое трение резонансная частота смещается в зону меньших значений при уменьшении амплитуд колебаний. Важным фактором при анализе представленных характеристик является то, что начальный зазор для них различен. При  $R_{мех} = 20$  Н·с/м  $\delta_0 = 1,2$  мм, а для  $R_{мех} = 30$  Н·с/м -  $\delta_0 = 0,3$  мм. С позиций практического применения устройств ВСМА настройка начального зазора производится только один раз в начале

эксплуатации. Поэтому необходимо проанализировать работу модуля ВСМА при начальном зазоре  $\delta_0 = 1,3$  мм и начальном  $R_{\text{мех}} = 30$  Н·с/м.

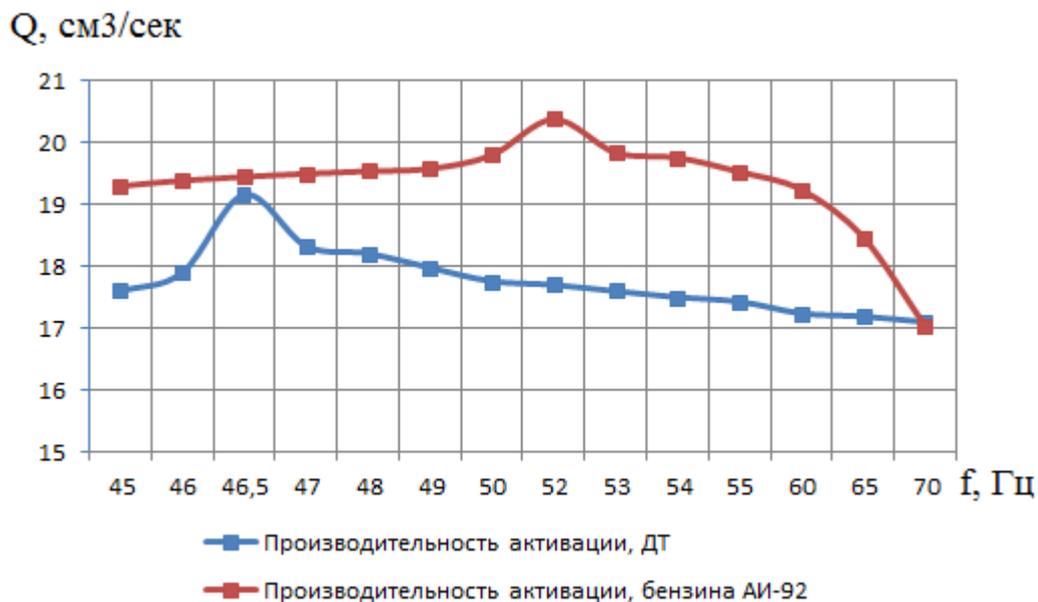


Рисунок 14 – Производительность активации модуля ВСМА от частоты питающего напряжения

Соответствующие графики для данных условий приведены в таблице 6 и на рисунках 15 и 16.

Таблица 6 – Амплитудно-частотные характеристики

f, Гц	35	40	45	50	55	60	65
$I_d$ , А	0,058	0,059	0,06	0,062	0,062	0,061	0,06
x, мм	1,231	1,278	1,301	1,326	1,318	1,287	1,253
$Q_{\text{акт}}$ , см³/сек	17,09	17,45	17,73	17,92	18,06	17,78	17,3
$U_d$ , В	43,55	44,18	45,64	46,42	47,21	48,05	49,1

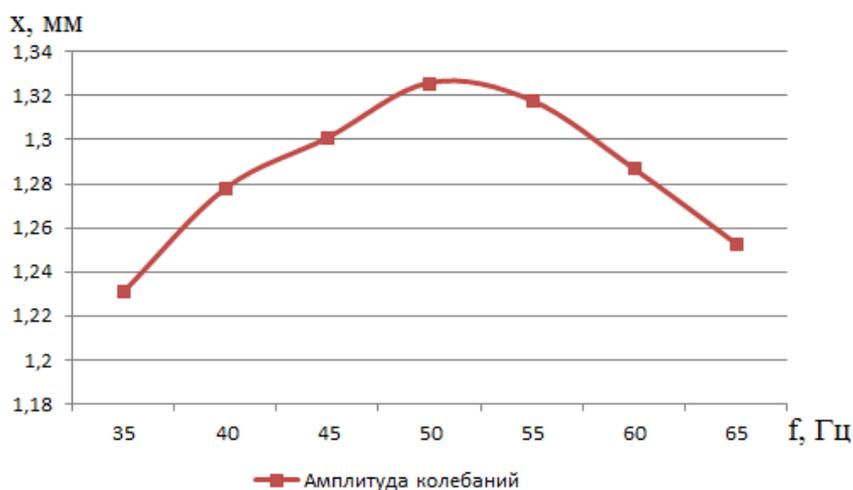


Рисунок 15 – Амплитуда колебаний модуля ВСМА  
при  $R_{\text{мех}} = 30 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$  и  $\delta_0 = 1,3 \text{ мм}$

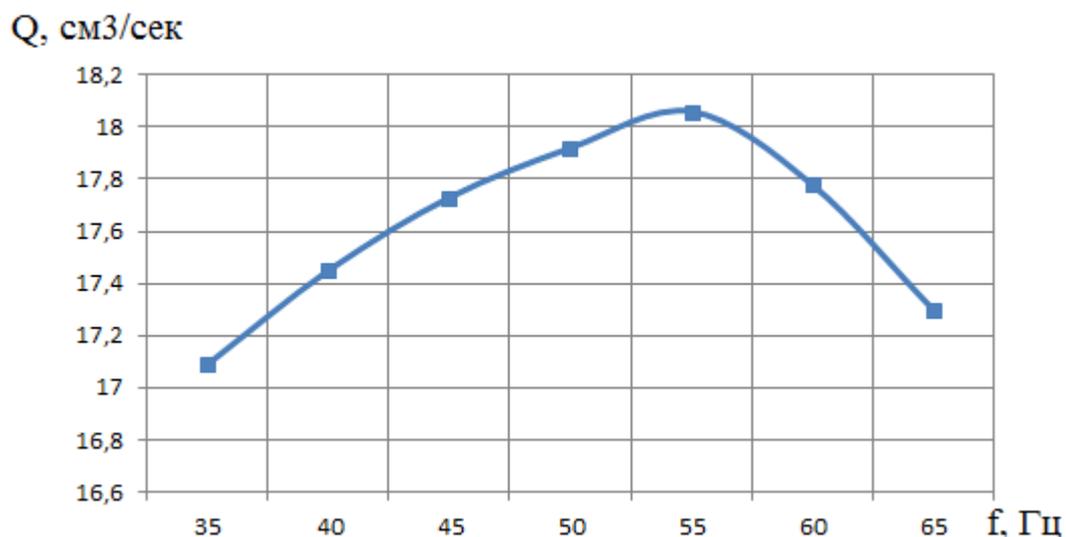


Рисунок 16 – Производительность модуля ВСМА  
при  $R_{\text{мех}} = 30 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$  и  $\delta_0 = 1,3 \text{ мм}$

Из графиков на рис. 15 и 16 видно, что при указанных условиях зона резонансной частоты в отличии от  $\delta_0 = 1,3 \text{ мм}$  смещается в сторону больших частот. Резонансная частота сместилась в зону (53÷57) Гц, что находится в зоне резонансной частоты работы модуля ВСМА при  $R_{\text{мех}} = 20 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$  и  $\delta_0 = 1,35 \text{ мм}$ . Кроме этого диапазон изменения действующего значения напряжения находится в пределах от 40,0 до 50,0 В. Производительность активации модуля ВСМА в рассматриваемом режиме достаточно мала, поэтому на практике начальный зазор необходимо устанавливать в промежутке от 1 до 1,5 мм, отдавая предпочтение большим значениям. В рассматриваемом случае рекомендуется выбрать начальный зазор равным 1,3 мм.

Таким образом, для практической настройки модуля ВСМА необходимо обеспечить следующие параметры его работы:

- начальный зазор между активатором и стенкой модуля ВСМА,  $\delta_0 = 1,3 \text{ мм}$ ;
- диапазон регулирования действующего значения напряжения,  
 $U_d = (40 \div 50) \text{ В}$ ;

- диапазон регулирования частоты напряжения,  $f = (53 \div 57)$  Гц;
- действующее значение тока,  $I_{\theta}$  не более 0,063 А.

## 5. СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА

Основными элементами схемы подключения электромагнитного активатора являются сам активатор, инвертор, преобразователь частоты и блок питания, который должен включать в себя диод, автоматический выключатель. Общая схема подключения электромагнитного активатора к электрической сети приведена на рисунке 15.



Рисунок 17 – Общая схема подключения активатора

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется по данным, полученным в результате расчёта режимов работы электромагнитного активатора на математической модели. Исходными данными для этого являются величина тока, напряжение, подаваемое на обмотки активатора и частота напряжения.

Номинальный фазный ток активатора равен 0,063А.

Диапазон напряжений, который необходимо обеспечить для регулирования режимов работы активатора, составляет от 40 до 50 В.

Для обеспечения резонансного режима работы обработки активатором бензина необходимо менять частоту питающего напряжения в диапазоне от 30 до 60Гц.

### 5.1 Выбор инвертора

Инвертор для преобразования из 12В в 220В выбираем ИС2-12-300Г. . Внешний вид и характеристики инвертора приведены в рисунке 14 и таблице 7



Рисунок 18 – Внешний вид инвертора ИС2-12-300Г

Таблица 7 – Характеристики инвертора

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность, Вт	300
Номинальный ток нагрузки, А	5
Номинальное напряжение на входе, В	12– 15 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 0 В до напряжение питания
Частота питающей сети, Гц	50/60 ± 5%
Кратность тока перегрузки	1,5 I <sub>НОМ</sub>

## 5.2 Выбор частотного преобразователя

По справочным данным выбираем частотный преобразователь марки Веспер Е4-8400-SP5L. Данный преобразователь позволяет равномерно и экономичное регулирования производительности путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены в рисунке 19 и таблице 8



Рисунок 19 – Внешний вид преобразователя частоты Веспер Е4-8400-SP5L

Таблица 8 – Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность ПЧ, кВт	0,5
Номинальный ток нагрузки, А	3,1
Номинальное напряжение на входе, В	200 – 240, 380 – 480 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 0 В до напряжение питания
Частота питающей сети, Гц	50/60 ± 5%
Диапазон регулирования частоты, Гц	0,2-650
Кратность тока перегрузки	1,5 I <sub>ном</sub>

Для обеспечения работы активатора на частоте 50 Гц надо выбрать силовые элементы.

## 6. РАСЧЕТ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

### 6.1 Расчет силовых диодов

Выбор диодов для схемы осуществляется по двум основным параметрам: по напряжению и по току.

Величина амплитудного значения, прикладываемого к диоду напряжения, определяющая класс диода, зависит от схемы соединения обмоток статора и режимов работы электропривода.

Из-за возможности возрастания  $U_{обр}$  на диоде максимальное обратное напряжения рассчитывается с некоторым запасом:

$$U_{обр.макс} = (1,4 - 1,6) \cdot U_{макс} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ В} , \quad (31)$$

При выборе диодов по току большое значение имеет способ их охлаждения. В общем случае диоды необходимо выбирать по максимальному значению тока. Так как диоды нормируются по среднему току, то выражение для допустимого среднего тока одного диода имеет вид:

$$I_{н.т.} \geq \frac{I_{1н}}{2 \cdot k_0 \cdot k_\phi} , \quad (32)$$

где  $I_{н.т.}$  – номинальный средний ток диода,

$k_\phi = 1,11$  - коэффициент формы тока в нагрузке,

$k_0 = 0,5$  - коэффициент условий охлаждения,

$$I_{н.т.} \geq \frac{I_{1н}}{2 \cdot k_0 \cdot k_\phi} \geq \frac{0,063}{2 \cdot 0,5 \cdot 1,11} \geq 0,1 \text{ А}$$

### 6.2 Выбор силовых диодов

По вышеприведенным параметрам выбираем диод типа 1А2.

Таблица 9 – Паспортные данные диода типа 1А1

Тип	$I_{н.т.}$	$\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{CRIT}$	$U_{обр.макс}$	$R_{th}$	$T_{перехода}$	Масса
	А	А/мкс	В	град/Вт	°С	кг
1А2	1	160	100	0,3	-60...125	0,05



Рисунок 20 – Вид диода 1A1

В схеме подключения активатора, как и любого электротехнического устройства, должен быть предусмотрен автоматический выключатель. Исходя из параметров работы активатора для его подключения к промышленной сети выбираем автоматический выключатель типа АВВ S203 С2 Характеристики данного выключателя приведены в таблице 10

Таблица 10 – Характеристики выключателя

Количество полюсов	3Р
Номинальный ток:	2А
Рассеиваемая мощность	4Вт
Отключающая способность:	6кА
Номинальное напряжение	240/415В

Учитывая, что активатор в определённой степени является переносным, он должен быть оборудован кабелем. Марка кабеля, которая рекомендована для применения в указанных условиях, соответствует КГН 1×1.5 мм<sup>2</sup>.

Выбираем кабель марки КГН (1х1.5) с  $I_{доп} = 16$  А. Кабель силовой гибкий с медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение.

## 7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электромагнитного активатора топлива. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

### 7.1 Анализ конкурентных технических решений

Объектом анализа будет являться электромагнитный активатор топлива. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения берется два типа исполнения для изменения частоты: преобразователь частоты и импульсный регулятор напряжения. Для сравнения выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации.

Результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ПЧ	ИР	$K_{ИР}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление (А)	0,22	7	5	1,54	1,1
1. Помехоустойчивость (Б)	0,16	5	4	0,8	0,64
2. Диапазон регулирования скорости (В)	0,25	8	5	2	1,25
3. Удобство в эксплуатации (Г)	0,16	5	4	0,8	0,64
4. Надежность(Д)	0,19	6	6	1,14	1,14

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot \beta_i$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $\beta_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Таблица 12 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ, расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/20=0,35
Б	1	-	1	1	2	5/20=0,25
В	0	1	-	2	2	5/20=0,25
Г	0	1	0	-	2	3/20=0,15
Д	0	0	0	0	-	0/20=0
ИТОГО:	1	3	3	5	8	20

Пояснения к таблице:

А – Энергопотребление;

Б – Помехоустойчивость;

В – Диапазон регулирования скорости;

Г – Удобство в эксплуатации;

Д – Надёжность.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,15 \times 7 = 1,05$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{ПЧ}) = 1,54 + 0,8 + 2 + 0,8 + 1,14 = 6,28$$

$$K(\text{ИР}) = 1,1 + 0,64 + 1,25 + 0,64 + 1,14 = 4,77$$

По результатам, приведенным в таблице 1, следует вывод, что лучше применять электромагнитный активатор топлива на базе преобразователя частоты потому, что он лучше по таким критериям как: энергопотребление, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации и помехоустойчивость.

### **8.1 Планирование научно – исследовательских работ**

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электромагнита	Инженер-проектировщик
6	Выбор силовых элементов и ПЧ	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта
10	Разработка силовой схемы и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, научный проект будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

## Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости  $t_{ожі}$  воспользуемся формулой [3]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

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

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

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

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в днях  $T_p$ , за счет которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также необходимо точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

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

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

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

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{P_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{P_i}$		Длительность работ календарных днях $T_{K_i}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{ожі}$ , чел-дни		Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.				
1	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,4	2,4	1	1	1	1
4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,4	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,2	-	5	-	7	-
10	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 15 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

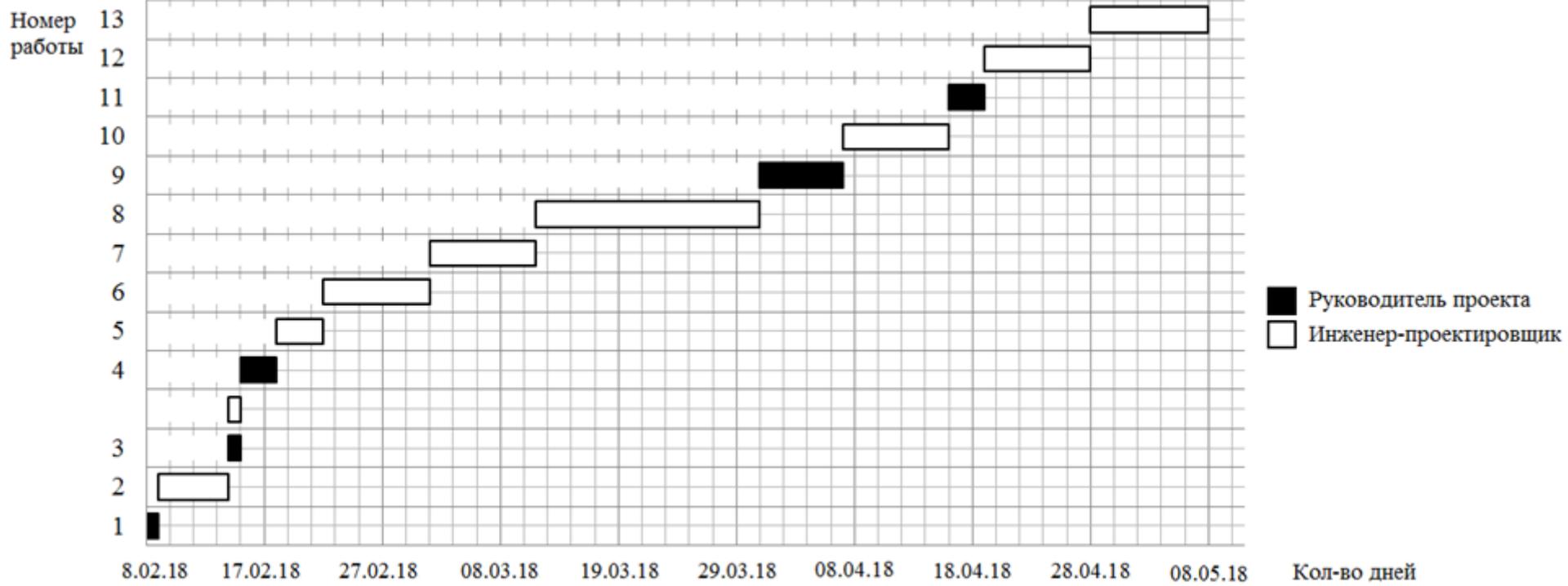


Рисунок 21 – Диаграмма Ганта

## 8.2 Смета научно – технического проектирование (НТП)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТП необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТП используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

### Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация компьютерного оборудования, канцелярских принадлежностей, расходных материалов необходимых в работе над проектом.

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

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

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

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 3226,7 \text{ руб.}$$

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

$m$  – время использования в днях.

### Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая

выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. В данном случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  - основная зарплата;

$Z_{доп}$  - дополнительная зарплата (15% от  $Z_{осн}$ ).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p$$

Где:  $T_p$  - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{он}$  - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\partial}}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{он} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{он} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где  $Z_M$  - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где  $Z_{мс}$  - зарплата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  - премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\partial}$  - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года.

$F_{\partial}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{\partial n}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								109427

### Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{осн}$$

Руководитель проекта:  $Z_{\partial n} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87$  руб.,

Проектировщик:  $Z_{\partial n} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18$  руб.,

где  $k_{\partial n}$  - коэффициент дополнительной заработной платы.

### Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{\partial n})$$

Руководитель проекта:  $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 5854,6$  руб.,

Инженер-проектировщик:  $Z_{внеб} = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 28248,33$  руб.,

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

## Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 34102,93 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

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

### Формирование сметы затрат научно – технического проектирования

В основу формирования бюджета входит величина НТП. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 17 – Бюджет затрат НТП

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	58,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,8
Амортизация	3226,7	1,7
Отчисления во внебюджетные фонды	34102,93	18,2
Накладные расходы	25781,7	13,8
Бюджет затрат НТП	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, был сделан вывод, что бюджет затрат НТП равен 186917,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТП составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

### **8.3 Вывод**

В результате выполнения задания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен анализ конкурентных технических решений и выбран тип исполнения электромагнита.

Далее составлен план – график выполнение работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получены следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней;

Рассчитан бюджет НТП, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.

Реализация электромагнитного активатора топлива является очень актуальной для многих автомобилистов, так как благодаря уменьшению расхода топлива при езде будут сэкономлены финансы.

## **9. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **9.1 Введение**

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

Для выпускной квалификационной работы была выбрана следующая тема: «Автомобильный электромагнитный активатор топлива».

### **9.2 Анализ вредных факторов**

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода насосной установки основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [39]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света, при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещённостью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями

установки [32]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Также вредным фактором производства является загрязнение атмосферного воздуха – это выбросы в атмосферный воздух или образование в нем загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы качества или уровня естественного содержания. Загрязняющее вещество – примесь в атмосферном воздухе, оказывающая при определенных концентрациях неблагоприятное воздействие на здоровье человека, объекты растительного и животного мира и другие компоненты окружающей природной среды или наносящая ущерб материальным ценностям.

Загрязнение гидросферы. Поверхностные водные потоки зачастую сильно страдают от деятельности человека. Во многие производственные процессы входит использование воды, и сточные воды после некоторой очистки обычно сливают в ближайшие реки. К счастью, поверхностные воды обладают способностью к самоочищению под влиянием ряда физических, химических и биологических процессов. Однако в настоящее время способности к самоочищению обычно недостаточно и необходима активная работа по восстановлению водных ресурсов и их защите от промышленного и бытового загрязнения.

Охрана литосферы. Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы. В результате промышленной деятельности человека происходит загрязнение почвы, что приводит к выводу из строя земель, пригодных для сельского хозяйства. Основные виды промышленных отходов – шлаки тепловых электростанций и металлургических заводов, породные отвалы горнодобывающих предприятий и горнообогатительных комбинатов, строительный мусор и т.д. В особую группу выделяют загрязнение почвы нефтепродуктами и другими химическими веществами (в авиационной и других технологиях – это твердые осадки и продукты травления металлов), которые пагубно воздействуют на почвенные микроорганизмы и корневую систему растений.

## 9.2.1 Шум

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

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

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

**Средства индивидуальной защиты (СИЗ)** применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов

слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

### **9.2.2 Недостаток естественного света**

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

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

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;

- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;

- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

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

В таблице 19 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 19 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		

Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу средней точности, где наименьший объект различия от (0,5 до 1,0 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 1,5 %.

### 9.2.3 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 20.

Таблица 20 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 18.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

#### 9.2.4 Метеорологические условия

Говоря о биосфере в целом, необходимо отметить, что человек обитает в самом нижнем, прилегающем к Земле слое атмосферы, который называется тропосферой.

Атмосфера является непосредственно окружающей человека средой и этим определяется ее первостепенное значение для осуществления процессов жизнедеятельности. Тесно соприкасаясь с воздушной средой, организм человека подвергается воздействию ее физических и химических факторов: состава воздуха, температуры, влажности, скорости движения воздуха, барометрического давления и др.

Терморегуляция – это совокупность процессов в организме, обеспечивающих равновесие между теплопродукцией и теплоотдачей, благодаря которому температура тела человека остается постоянной.

Теплопродукция организма (производимое тепло) в состоянии покоя составляет для «стандартного человека» (масса 7 кг, рост 170 см, поверхность тела  $1,8 \text{ м}^2$ ) до 283 кДж в час, при работе средней тяжести – до 1256 кДж в час и при тяжелой – 1256 и более кДж в час. Метаболическое, лишнее тепло должно удаляться из организма.

Нормальная жизнедеятельность осуществляется в том случае, если тепловое равновесие, т.е. соответствие между теплопродукцией вместе с теплотой, получаемой из окружающей среды, и теплоотдачей достигается без напряжения процессов терморегуляции. Отдача тепла организмом зависит от метеорологических условий климата, который определяется комплексом факторов, влияющих на теплообмен: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха и радиационной температурой окружающих человека предметов.

Чтобы понять влияние того или иного показателя климата на теплообмен, нужно знать основные пути отдачи тепла организмом. При нормальных условиях организм человека теряет примерно 85% тепла через кожу и 15% тепла расходуется на нагревание пищи, вдыхаемого воздуха и

испарение воды из легких. 85% тепла отдаваемого через кожу. Распределяется следующим образом: 45% приходится на излучение, 30% на проведение и 10% на испарение. Эти соотношения могут изменяться в зависимости от условий микроклимата.

С повышением температуры воздуха и окружающих поверхностей потери тепла, излучением и конвекцией уменьшается, и резко увеличивается теплоотдача испарений. Если температура внешней среды выше, чем температура тела, то единственным путем теплоотдачи остается испарение. Количество пота может достигать 5–10 литров пота в день. Этот вид теплоотдачи очень эффективен, если есть условия для испарения пота уменьшается влажность и увеличивается скорость движения воздуха. Таким образом при высокой температуре окружающей среды, увеличение скорости движения воздуха является благоприятным фактором. При низких температурах воздуха увеличение его подвижности усиливает теплоотдачу конвекцией, что неблагоприятно для организма, т.к. может привести к переохлаждению, простуде и отморожения. Большая влажность воздуха (свыше 70%) неблагоприятно влияет на теплообмен, как при высоких, так и при низких температурах. Если температура воздуха выше 30° (высокая), то большая влажность, затрудняя испарения пота, ведет к перегреванию. При низкой температуре высокая влажность способствует сильному охлаждению, т.к. во влажном воздухе усиливается отдача тепла конвекция. Оптимальная влажность, таким образом, составляет 40–60%.

Температура является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия производственной среды. Высокие температуры оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы,

увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем - ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т.д.

Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению тепла в организме (гипертермии). При гипертермии наблюдается головная боль, тошнота, рвота, временами судороги, падение артериального давления, потеря сознания.

Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям.

### **9.3 Анализ опасных факторов**

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки электропривода переменного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [41 - 44].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

К наиболее вероятным опасным факторам относятся следующие составляющие:

- движущиеся предметы, механизмы или машины, а также неподвижные их элементы на рабочем месте при механическом воздействии (зубчатые, цепные, клиноременные передачи, кривошипные механизмы, подвижные столы, вращающиеся детали, органы управления и т.п.);
- электрический ток (источником поражения могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, незаземленное оборудование и др.);
- агрессивные и ядовитые химические вещества (например, химические ожоги кислотами, едкими щелочами и ядовитыми химическими веществами (хлор, аммиак и т.д.) при попадании их на кожу или в легкие при вдыхании);
- нагретые и (или) охлажденные элементы оборудования, поверхности, перерабатываемое сырье (примерами таких элементов являются горячие трубопроводы, крышки котлов, танков, корпуса оборудования, детали холодильных установок и т.д.);
- повреждения, полученные при падениях (падения подразделяются на два вида: падения на человека различных предметов и падения человека в результате подскользывания, запинания, падения с высоты или внезапного ухудшения здоровья).

### 9.3.1 Механические опасности

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;
- отрезание или разрубание;
- захват или наматывание;
- затягивание или задерживание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения;

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами;
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

### **9.3.2 Электропоражение**

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

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

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

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели

напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

### **9.3.3 Загорание (пожар)**

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреватые большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [37] на 800 м<sup>2</sup> защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых

огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

#### **9.4 Система обращения с разными видами отходов**

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

*Способ борьбы с газообразными отходами:* перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др.

*Способ борьбы с жидкими отходами:* жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

*Способ борьбы с твердыми отходами:* бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [45]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [47]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае для ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

*Способ утилизации аккумуляторных батарей:* Аккумуляторная батарея выполняет функции до тех пор, пока не исчерпает свой ресурс, а после ей необходима утилизация. Выбросить аккумулятор на свалку – значит нанести существенный вред окружающей среде. В его конструкцию входит пластик, свинец и электролит, а это далеко небезопасные составляющие. Их попадание в окружающую среду наносит непоправимый урон, заражает почву, воду и воздух.

Количество использованных аккумуляторов растет в геометрической прогрессии, и их утилизация является важнейшей задачей по защите экологии. Стоит отметить, что утилизация старых аккумуляторов весьма дорогое и сложное производство, но в итоге оно приносит прибыль. Переработка использованных аккумуляторов позволяет опять получить

свинец и пластик, из которых можно создать новые аккумуляторы. Не подлежит повторному использованию только электролит. Безопасная утилизация старых аккумуляторов производится специализированными компаниями, на специальных заводских линиях.

Существует несколько технологий данного процесса, но суть у них одна. Первым делом сливается электролит, который в специальных герметичных камерах при высоких температурах нейтрализуется до безопасного состояния.

Следующим этапом идет дробление корпуса аккумуляторной батареи. Это происходит на специальном конвейере, где при помощи мощных дробильных станков аккумулятор разрушается полностью. В результате данного процесса образуется свинцово-кислотная или свинцово-щелочная паста, которая отделяется при помощи фильтров, стоящих сразу после дробилок.

Данная паста оседает на решетчатых фильтрах и направляется в металлическую смесь на дальнейшую переработку. Оставшиеся после дробления куски пластика и металла подаются в емкости, где смешиваются с водой, в результате чего тяжелый свинец оседает на дно, а пластик всплывает на поверхность. Таким образом происходит отделение неметаллических компонентов от металлических.

Куски пластика собираются с поверхности воды, а затем перерабатываются для вторичного сырья, из которого в дальнейшем будут получены пластиковые гранулы. Данный процесс может проходить непосредственно на самом предприятии, которое занимается утилизацией аккумуляторов, либо сырье направляется на другие заводы по производству пластиковых гранул.

Металлическая масса, осевшая на дне, подлежит дальнейшей переработке вместе с пастой, снятой с решетчатых фильтров. Так как в воде с металлической массой наблюдается некоторое количество кислоты, то ее следует нейтрализовать. Для этого в смесь воды и кусков металла добавляют

особые химикаты, нейтрализующие кислоту. В результате данного процесса на дно выпадает осадок, его удаляют, а воду пропускают через систему фильтров и сбрасывают в канализацию, либо вновь используют в производственном цикле.

Смесь кусочков металлов и металлической пасты нужно освободить от влаги, поэтому все компоненты направляются в печи, откуда выходит сырье уже готовое для плавки. Свинец в плавящейся смеси металлов имеет самую большую плотность. Также он расплавляется гораздо быстрее, поэтому в печи образуется расплавленный свинец, на поверхности которого концентрируются кусочки других металлов, что подлежат удалению.

После отделения расплавленного свинца от других металлов его направляют в тигель, где смешивают с каустической содой. Данный компонент помогает освободить расплавленный свинец от всевозможных примесей. Они удаляются из расплава, а свинец становится пригодным для отлива в формы.

При заливке свинца в формы на поверхности образуется тонкая пленка из оставшихся примесей, которая в итоге легко снимается. Теперь свинец обладает достаточной большой чистотой и может использоваться на производство разных деталей, в том числе и решеток для новых аккумуляторов.

Все вышеперечисленные процессы полностью автоматизированы, что позволяет осуществлять утилизацию аккумуляторных батарей быстро и качественно, тем самым предотвращая загрязнение окружающей среды.

## **9.5. Пожар (загорание) – как источник ЧС**

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

Согласно [36], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения

пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

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

### **9.5.1 Электропоражение как источник ЧС**

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

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

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

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [47] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение

ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [47] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ по моделированию, конструированию и разработке технологических приёмов применения электромагнитного активатора топлива для автомобиля можно сделать следующие выводы:

1. Предложенные методика, расчётные выражения для определения механического сопротивления движению активатора и оценке производительности активации бензина позволяют производить расчёты основных показателей работы электромагнитного активатора на стадии проектирования. Производительность активации бензина при использовании разработанного электромагнитного активатора может достигать до  $11 \text{ см}^3/\text{сек}$  в расчёте на один модуль.

2. Моделирование режимов работы электромагнитного активатора на основе разработанной математической модели позволили произвести выбор формы активатора, обеспечивающего максимальную производительность активации. Для выбранных параметров электромагнитной системы максимальную производительность обеспечивает активатор круглой формы с диаметром 34 мм.

3. Разработана конструктивная схема одномодульного исполнения электромагнитного активатора для применения при активации топлива, предложена конструкция единичного модуля электромагнитного активатора, определены рекомендации по регулированию начальных конструктивных установок электромагнитного активатора при обработке бензина. Начальный зазор при настройке модулей электромагнитного активатора необходимо выбирать не менее 0,3 мм.

4. Разработаны основные приёмы применения электромагнитного активатора при активации бензина. При проведении активации топлива необходимо периодически подстраивать частоту и амплитуду питающего напряжения для обеспечения работы электромагнитного активатора в квазирезонансном режиме. Диапазон регулирования частоты может

составлять от 30 до 60 Гц, диапазон регулирования амплитуды напряжения может составлять от 40 до 50 В.

5. Предложена электрическая схема подключения электро магнитного активатора, обеспечивающая регулирование частоты и напряжения в заданном диапазоне. Подключение и регулирование указанных параметров обеспечивается применением инвертора ИС2-12-300Г, частотного преобразователя марки Веспер Е4-8400-SP5L, диодов марки 1А1, автоматического выключателя марки АВВ S203 С2.



Рисунок 22 – Возможные места установки электромагнитного активатора

### Список используемых источников

1. Пинигин М.А. Охрана атмосферного воздуха. М., 1989
2. Немчинов М. В., «Охрана окружающей среды при проектировании и строительстве автомобильных дорог», М., 2013., «Человек и транспорт», 2013.
3. Мирсаидов Э.А., Попова С.В., Гриднева М.Н. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ АВТОТРАНСПОРТОМ // Научное сообщество студентов XXI столетия. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(57). URL: [https://sibac.info/archive/nature/11\(57\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/11(57).pdf) (дата обращения: 03.03.2018)
4. ГОСТ 2084-77. Бензины автомобильные. Технические условия.
5. ГОСТ Р 51105-97. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия.
6. ГОСТ Р 52368-2005. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
7. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
8. Жегалин О.И., Лупачев П.Д. Снижение токсичности автомобильных двигателей. - М.: Транспорт, 1985 - 120 с.
9. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990 – 135 с.
10. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во РУДН, 1998 – 214 с.: ил.
11. Ю.В. Лоскутова, Н.В. Юдина. Влияние магнитного поля на структурно-реологические свойства нефтей // Известия Томского политехнического университета. Томск, 2006 г., Т.309. №4. С.104.
12. The Nobel Prize in Physics 1952 [Электронный ресурс] /Nobel Prize – Режим доступа:[https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1952/](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1952/), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.02.2018)
13. Все о топливе. Автомобильный бензин: Свойства, ассортимент, применение / В.Е. Емельянов. - М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003.-79, [1] с.

14. Fuel Max [Электронный ресурс] /Испытания – Режим доступа: <http://www.o-fuel.ru/tests.html> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 16.02.2018).
15. Fuel Max [Электронный ресурс] /Главная – Режим доступа: <http://www.o-fuel.ru/> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 16.02.2018).
16. Дудкин А.Н., Ким В.С. Электротехническое материаловедение. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2004.– 198 с.
17. Principles of Magnetic Resonance. Third edition. Charles P. Slichter. Springer - Verlag, 1992.
18. Bulk Spin Resonance N.A. Gershenfeld and I.L. Chuang in Science, Vol.275, pages 350-356; January 17, 1997
19. The hydrogen atom in a uniform magnetic field: An example of chaos/resonance. Harald Friedrich and Dieter Wintgen in Physics Reports, Vol. 183, No. 2, pages 37-79 November 1989.
20. Абрагам А. Ядерный магнетизм. — М.: Издательство иностр. лит., 1963.
21. Анорганикум: в 2-х т. Т. 2. Пер. с нем./ Под ред. Л. Кольдица - М.: Мир, 1984. - 632 с., ил.
22. Данекер В.А. Расчёт и конструирование электромагнитных преобразователей для активации жидких сред./ В.А. Данекер; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 101с.
23. Анурьев В.Н. Справочник конструктора машиностроителя. Т.1-3. М., Машиностроение. 2001, -864с.
24. Проволока стальная легированная пружинная. Технические условия. ГОСТ 14963-78.
25. Параметры пружин сжатия и растяжения II класса [Электронный ресурс] /Пружины – Режим доступа: [http://razvitie-pu.ru/?page\\_id=4722](http://razvitie-pu.ru/?page_id=4722) , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 18.02.2018).
26. В.А. Данекер, С. В. Рикконен, А.И. Теплов, Исследование динамики вибрирующего конфузора в ньютоновской жидкости. Автоматизация и

информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.

27. 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.

28. В. П. Выговской, В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.И. Теплов, Энергетика гидромеханического разрушения структуры высокопарафинистых нефтей, Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности. Изд. Томского университета, т №2, 2002г.

29. 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.

30. 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.

31. С.П. Гузеев, В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.И. Теплов, А.К. Хорьков, Способ вибрационной струйной магнитной декомпрессионной акустической активации растворов, Патент № 2203862, Бюл. № 13, 2003 г.

32. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

33. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

34. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»

35. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

36. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»

37. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
38. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
39. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
40. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
41. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
42. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
43. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
44. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
45. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»
46. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
47. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

## ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА

$f_0 := 70$	Собственная частота колебательной системы, Гц	
$f_{жр} := 49.5$	Резонансная частота в жидкости, Гц	+
$f := 45$	Частота напряжения питания, Гц	
$M := 50$	Число итераций в периоде	
$N := 50$	Число периодов расчёта	
$\delta_0 := 0.001$	Начальный воздушный зазор, м	
$P := 0.95$	Коэффициент пропорциональности напряжения	
$E_m := P \cdot f \cdot 2^{0.5}$	Амплитуда напряжения, В	$E_m = 60.458$
$\mu_{ст} := 300$		
$Rm_0 := 30$		

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

*МАГНИТОПРОВОД (размеры задаются в задании)*

$B_1 := 0.03$	Длина спинки магнитопровода, м	
$h_1 := 0.007$	Высота спинки магнитопровода, м	
$b_1 := 0.005$	Ширина стержня магнитопровода (полюса), м	
$A_1 := 0.012$	Длина полюса магнитопровода, м	
$H_1 := 0.033$	Высота стержня магнитопровода, м	
$\Delta_1 := 0.001$	Толщина стенки каркаса обмотки, м	
$P_{об} := 0.002$	Расстояние между обмотками, м	
$D := 0.004$	Зазор между обмоткой и стенкой корпуса вибратора, м	
$d_{пр} := 0.00020$	Диаметр жилы провода, м	
$d_{пр.и} := 0.000245$	Диаметр обмоточного провода в изоляции, м	
$k_{зап} := 0.55$	Коэффициент заполнения обмотки проводом	
$\Delta T := 70$	Перегрев обмотки в рабочем состоянии, °C	
$M_K := 0.11$	Масса рабочего органа (Активатора), кг (Рассчитывается отдельно по геометрическим размерам активатора)	
$\rho_M := 0.0175 \cdot 10^{-6}$	Удельное электрическое сопротивление (меди), Ом*м	
$\tau_M := 3.8 \cdot 10^{-3}$	Температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом*°C	
$r := 0.003$	Средний радиус скругления углов обмотки, м	

$H_a := 0.007$	Толщина активатора, м
$\tau_{ст} := 0.0005$	Толщина стенки корпуса вибратора, м
$j_{доп} := 2 \cdot 10^6$	Допустимая плотность тока в обмотке, А/м <sup>2</sup>

### Расчёт обмоточных данных

1. Площадь окна для размещения обмоток, м<sup>2</sup>

$$S_{окн} := (B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P_{об}) \cdot (H1 - h1 - 2\Delta1 - D)$$

2. Количество витков в обмотке

$$K_p := \frac{2S_{окн} \cdot k_{зап}}{\pi \cdot d_{пр.л}^2} \quad K_p = 1.867 \times 10^3$$

Принимаем  $K_p := 1900$

3. Толщина обмотки, м

$$Q := \frac{(B1 - 2b1 - 2\Delta1 - P_{об})}{2} \quad Q = 8 \times 10^{-3}$$

4. Длина среднего витка обмотки, м

$$W_{cp} := 2(A1 + 2\Delta1 + Q) + 2(b1 + 2\Delta1 + Q) - 4 \cdot 2 \cdot r + \frac{4 \cdot r}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

5. Длина провода обмотки, м

$$W_{пр} := W_{cp} \cdot K \quad W_{пр} = 127.244$$

6. Активное сопротивление обмотки, Ом

$$R_{об} := 4 \cdot \rho_M \cdot \frac{W_{пр}}{\pi \cdot d_{пр.л}^2} \quad R_{об} = 70.88$$

7. Активное сопротивление обмотки в горячем состоянии, Ом

$$R_{об.гор} := R_{об} \cdot (1 + \tau_M \cdot \Delta T) \quad R_{об.гор} = 89.734$$

$$R_{об.гор} := 90$$

8. Длина средней линии магнитопровода, м

$$l_{маг.ср} := 2 \left( H1 - \frac{h1}{2} \right) + 2(B1 - b1) + 2\tau_{ст}$$

$$zm(x) := 2(H1 - h1) + 2\tau_{ст} + 2(\delta_0 - x)$$

9. Допустимый ток в обмотке, А

$$I_{\text{доп}} := j_{\text{доп}} \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{пр}}^2}{4} \quad I_{\text{доп}} = 0.063$$

### Входные данные:

$$\mu_0 := 1.257 \cdot 10^{-6}$$

$$S_{\text{пол}} := A1 \cdot b1 \quad \text{Сечение полюсного наконечника}$$

$$X0 := \delta_0 + \tau_{\text{ст}} \quad \text{Зазор между активатором и магнитопроводом, м}$$

$$l_m := l_{\text{маг.ср}} \quad \text{Длина магнитопровода, м (СМОТРИ чертёж магнитопровода)}$$

$$W := K \quad \text{Число витков в катушке (РАСЧИТЫВАЕТСЯ)}$$

$$M_a := M_k \quad \text{Масса активатора, включая другие элементы (РАСЧИТЫВАЕТСЯ)}$$

$$r_{\text{экв}} := 0.017 \quad \text{Радиус активатора эквивалентный, м (принимается из чертежа АКТИВАТОРА)}$$

$$\mu(I) := 1 + \mu_{\text{ст}} \cdot e^{-(4 \cdot I \cdot W)^{0.17}} \quad \text{Учёт насыщения магнитопровода}$$

$$\mu(I) := \mu_{\text{ст}}$$

### Присоединённая масса жидкости

(в случае работы устройства в жидкости):

$$Q_{\text{кр}} := \frac{8}{3} \rho_{\text{ж}} r_{\text{экв}}^3 \quad Q_{\text{кр}} = 0.011 \quad \text{Для активатора круглого сечения}$$

$$M_{\text{пр}} := Q_{\text{кр}}$$

$$M_{\text{пр}} := Q_{\text{пр}}^3$$

### Электрические параметры контуров

Активное сопротивление к.з. контура, Ом

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

Индуктивность обмотки основной, Гн

$$L_{\text{об}(x,I)} := \frac{W^2 \cdot \mu(I) \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{пол}}}{0.5(X0 - x) \cdot \mu(I) + l_m} \quad + \quad \mu_0 = 1.257 \times 10^{-6}$$

$$L_{об}(x, I) := \frac{W^2 \cdot \mu(I) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{z_m(x) \cdot 10^2} \quad L_{об}(0.000, 0) = 0.244$$

$$LLk(x, I) := \frac{d}{dx} L_{об}(x, I)$$

Взаимоиндуктивность основных контуров, Гн:

$$M_{12}(x, I) := \frac{W^2 \cdot \mu(I) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X0 - x) \cdot \mu(I) + \ln} \quad M_{12}(0, 0) = 0.146$$

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

Взаимоиндуктивность основного и к.з. контура, Гн

$$M_{к12}(x, I) := \frac{W \cdot \mu(I) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(\tau_{ст} + H1 - h1) \cdot 10^2}$$

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

..... Индуктивность к.з. контура, Гн .....

$$L_{кз}(I) := \frac{\mu(I) \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{l_k} \quad L_{кз}(0) = 1.131 \times 10^{-5}$$

$$R_{кз} = 3.987 \times 10^{-4} \quad L_{об}(0, 0) = 0.244 \quad M_{к12}(0, 0) = 1.622 \times 10^{-5}$$

### К определению жёсткости пружины колебательной системы:

Резонансная частота (собственная частота), Гц

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

Требуемая жесткость пружины, Н/м

$$q1 := \omega_0^2 \cdot (M_a + M_{пр}) \quad q1 = 2.348 \times 10^4 \quad M_a = 0.11 \quad M_{пр} = 0.011$$

q2 := 500q1 Жёсткость перегородки корпуса активатора (принимается условно)

$$q(x) := \text{if}(x \geq 80, q2, q1) \quad q(x) := q1$$

Собственная частота при работе в жидкости

$$\omega_{0ж} := \sqrt{\frac{q1}{M_a + M_{пр}}} \quad \omega_{0ж} = 311.002 \quad f_{0ж} := \frac{\omega_{0ж}}{2 \cdot \pi} \quad f_{0ж} = 49.497$$

Резонансная частота в жидкости, Гц

$$f_{жр} = 49.5 \quad \omega_{жр} := 2 \cdot \pi \cdot (f_{жр} - 10) \quad \omega_{жр} = 248.186$$

## ПЕРЕМЕННЫЕ РАСЧЁТА

Угловая частота напряжения, сек<sup>-1</sup>

$$\omega := 2\pi \cdot f \quad \omega = 282.743$$

Период колебаний, сек

$$T_{\text{пер}} := \frac{1}{f} \quad T_{\text{пер}} = 0.022$$

Шаг расчёта, сек

$$h := \frac{T_{\text{пер}}}{M} \quad h = 4.444 \times 10^{-4}$$

Время расчёта, сек

$$T_{\text{расч}} := N \cdot T_{\text{пер}} \quad T_{\text{расч}} = 1.111$$

Количество циклов расчёта

$$n := \frac{T_{\text{расч}}}{h} \quad n = 2.5 \times 10^3$$

Амплитуда входного напряжения, В

$$E_m := P \cdot f \cdot 2^{0.5} \quad E_m = 60.458$$

Напряжение питания

$$E(t) := E_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad E(t) := \text{if}(f < 50, E_m \cdot \sin(\omega \cdot t), 311 \cdot \sin(\omega \cdot t))$$

-----  
 Магнитизирующая сила одного стержня, А

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

Электромагнитная сила притяжения активатора к индуктору, Н

$$F_{\text{ЭМХ}}(t, I, I_k, x) := \mu_0 \cdot S_{\text{пол}} \cdot \frac{2 \cdot J(I, I_k)^2}{(X0 - x)^2} \quad S_{\text{пол}} = 6 \times 10^{-5}$$

$$F_{\text{ЭМ}}(t, I, I_k, x) := F_{\text{ЭМХ}}(t, I, I_k, x)$$

### Уравнение основного контура

$$F1(t, I, I_k, x, y) := \frac{E(t) - 2I \cdot \left( Rk1 + LLk(x, D) \cdot y + MM_{12}(x, D) \cdot y - 4 \cdot \frac{M_{k12}(x, D)}{L_{k3}(I)} \cdot MM_k(x, D) \cdot y \right)}{2(L_{o6}(x, D) + M_{12}(x, D))}$$

$$- 4 \cdot I_k \cdot \left( MM_k(x, D) \cdot y - \frac{M_{k12}(x, D) \cdot R_{k3}}{L_{k3}(I)} \right)$$

### Уравнение к.з. контура

$$F2(t, I, I_k, x, y) := \frac{-I_k \cdot \left( R_{кз} - 4 \cdot \frac{M_{к12}(x, D)}{L_{об}(x, D) + M_{12}(x, D)} \cdot MM_k(x, D) \cdot y \right) - \frac{M_{к12}(x, D)}{L_{об}(x, D) + M_{12}(x, D)} \cdot E(t)}{L_{кз}(I)}$$

$$- 2 \cdot I \cdot \left[ MM_k(x, D) \cdot y - \frac{M_{к12}(x, D)}{L_{об}(x, D)} \cdot (Rk1 + LLk(x, D) \cdot y + MM_{12}(x, D) \cdot y) \right]$$

### Уравнения механического контура

$$F3(t, I, I_k, x, y) := \frac{F_{эм}(t, I, I_k, x) - Rm(t, y) \cdot y - q(x) \cdot x}{M_a + M_{мп}}$$

$$F4(t, I, I_k, x, y) := y$$

$$F5(y, t) := \frac{d}{dt} y$$

### Расчёт коэффициентов методом Рунге-Кутты:

$$k1(t, I, I_k, x, y) := h \cdot F1(t + h, I, I_k, x, y)$$

$$m1(t, I, I_k, x, y) := h \cdot F2(t + h, I, I_k, x, y)$$

$$s1(t, I, I_k, x, y) := h \cdot F3(t + h, I, I_k, x, y)$$

$$c1(t, I, I_k, x, y) := h \cdot F4(t + h, I, I_k, x, y)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$k4(t, I, I_k, x, y) := h \cdot (F1(t + h, I, I_k, x, y) + k3(t, I, I_k, x, y))$$

$$m4(t, I, I_k, x, y) := h \cdot (F2(t + h, I, I_k, x, y) + m3(t, I, I_k, x, y))$$

$$s4(t, I, I_k, x, y) := h \cdot (F3(t + h, I, I_k, x, y) + s3(t, I, I_k, x, y))$$

$$c4(t, I, I_k, x, y) := h \cdot (F4(t + h, I, I_k, x, y) + c3(t, I, I_k, x, y))$$

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

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

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

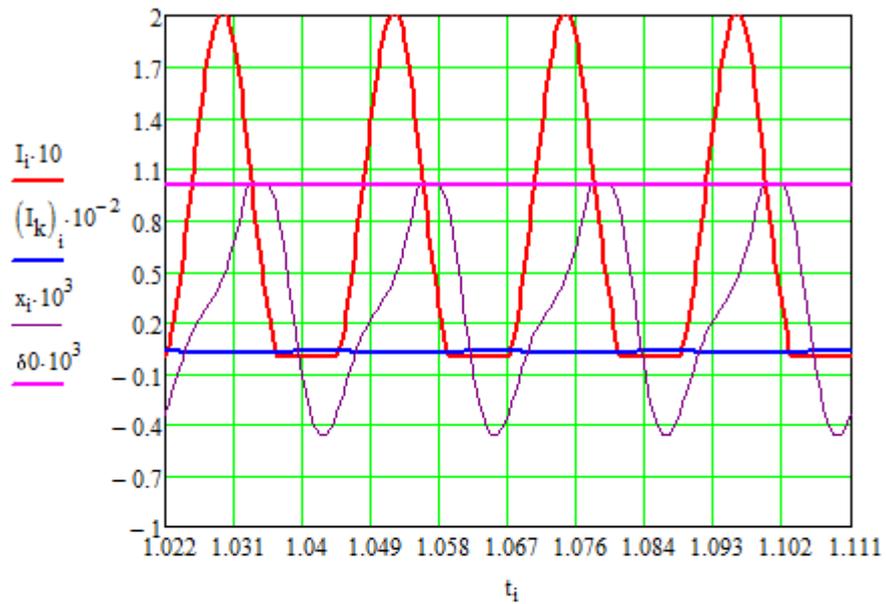
$$\underline{\underline{C}}(t, I, I_k, x, y) := \frac{c1(t, I, I_k, x, y) + 2 \cdot c2(t, I, I_k, x, y) + 2 \cdot c3(t, I, I_k, x, y) + c4(t, I, I_k, x, y)}{6}$$

### Расчёт переходного процесса:

$$i := 0..n$$

$$n = 2.5 \times 10^3$$

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ I_0 \\ I_{k0} \\ y_0 \\ x_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t_{i+1} \\ I_{i+1} \\ I_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if}(I_i + K(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, I_i + K(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ I_{k_i} + M(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if}(x_i + C(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i) \geq 80, 80, x_i + C(t_i, I_i, I_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$



$$\max(I) = 0.213$$

$$I_d := \sqrt{\frac{\sum_{i=\frac{(N-4)T_{\text{пер}}}{h}}^{\frac{T_{\text{расч}}}{h}} [(I_i)^2 \cdot h]}{4T_{\text{пер}}}}$$

$$U := \sqrt{\frac{\sum_{i=\frac{(N-4)T_{\text{пер}}}{h}}^{\frac{T_{\text{расч}}}{h}} (E(t_i)^2 \cdot h)}{4T_{\text{пер}}}}$$

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

$$\Delta x = 8.131 \times 10^{-4}$$

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

$$\Delta X = 1.626 \times 10^{-3}$$

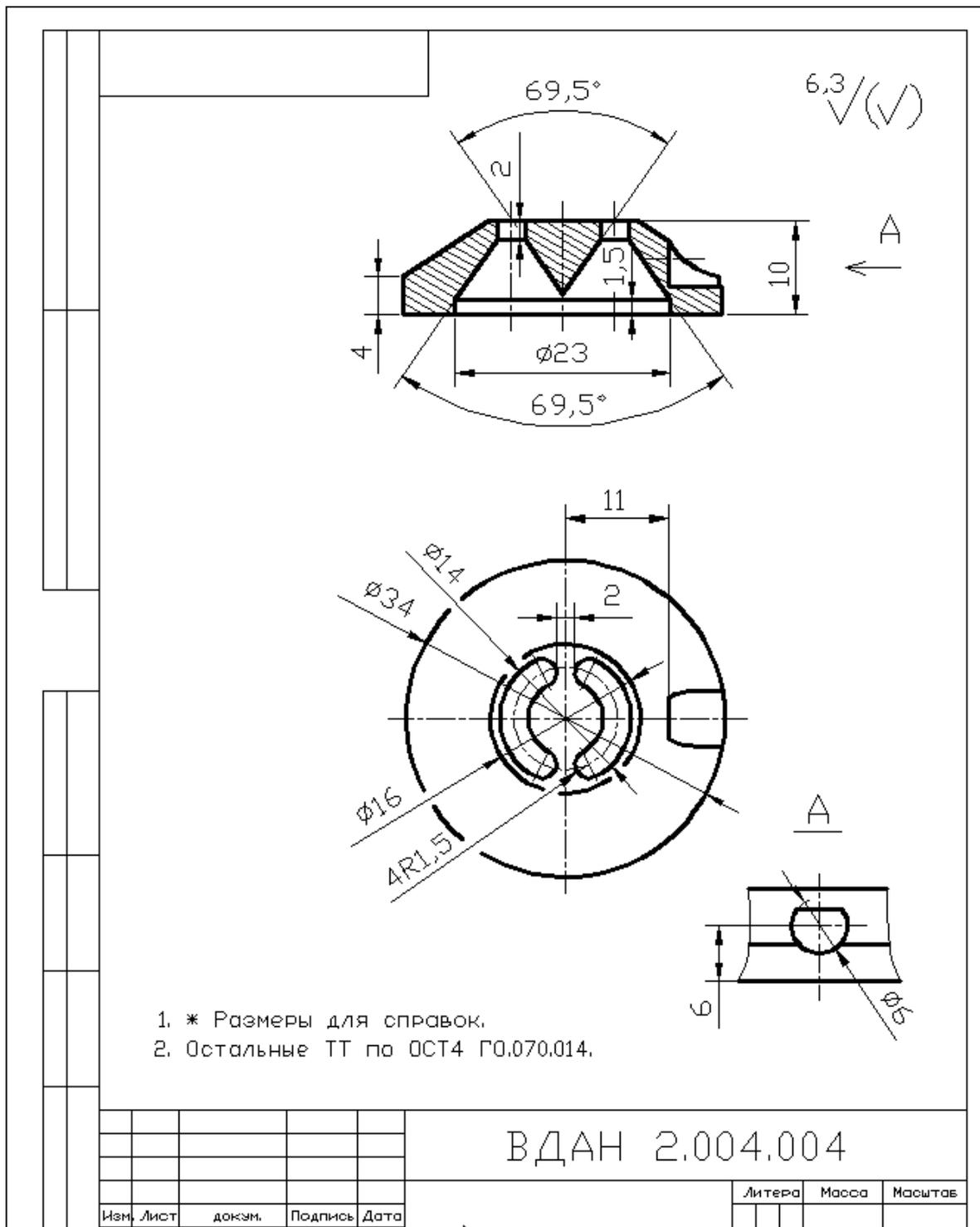
$$\text{Смещение средней линии } X_{\text{ср}} := \frac{\max(x) + \min(x)}{2}$$

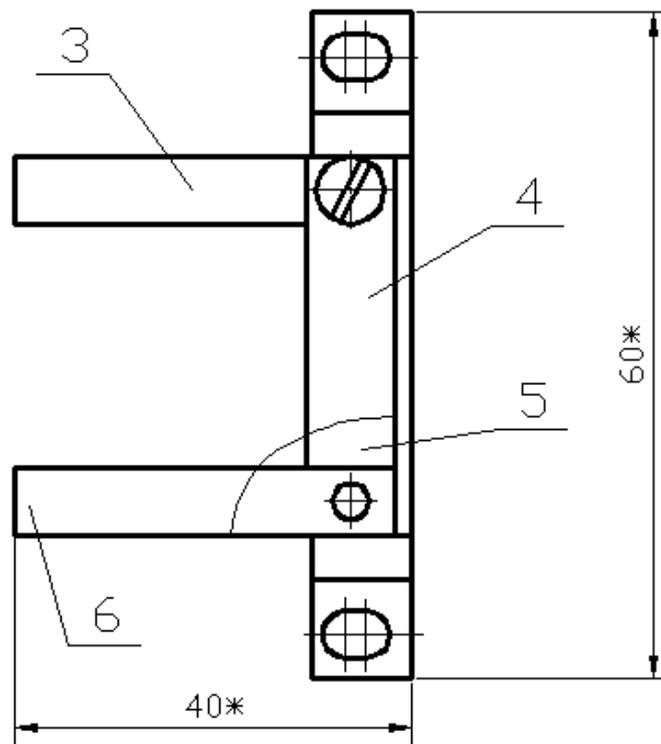
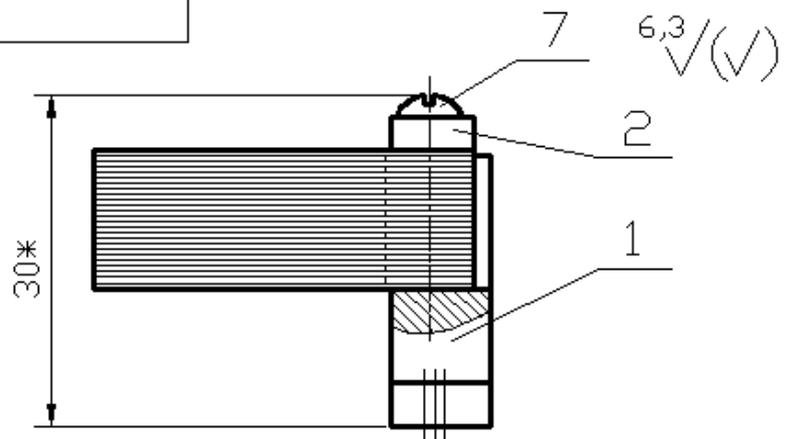
$$X_{\text{ср}} = 2.669 \times 10^{-4}$$

Производительность единичного модуля, м<sup>3</sup>/с

$$V := \Delta X \cdot \left( \frac{\max(x)}{80 - X_{\text{ср}}} \right)^2 \cdot r_{\text{ЭКВ}}^2 \cdot f \cdot 1 \cdot \pi$$

$$V = 1.236 \times 10^{-4}$$





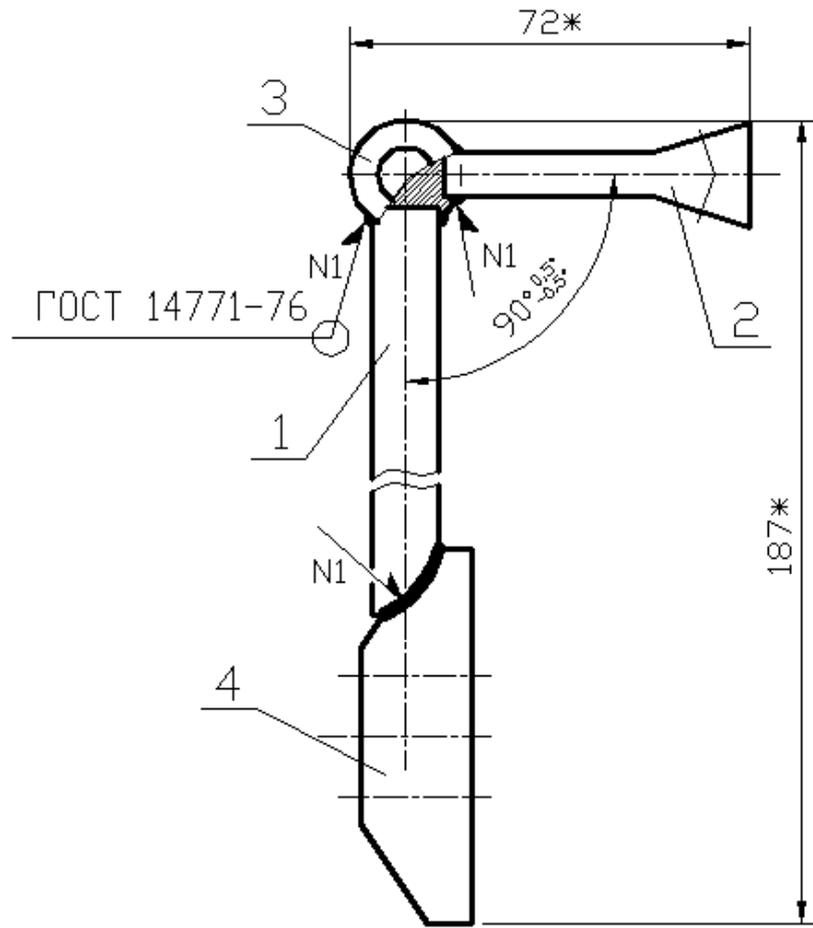
Изм.	Лист	докум.	Подпись	Дата
Разраб.				
Пров.	Данекер			
Т.контр.				

ВДАН 2.003.00 СБ

Магнитопровод  
в сборе

Литера	Масса	Масштаб
		M2:1
Лист	Листов	1

6,3/√(√)



- 1. \* Размеры для справок.
- 2. Остальные ТТ по ОСТ4 Г0.070.014.

ВДАН 2.004.000 СБ

Кулиса  
в сборе

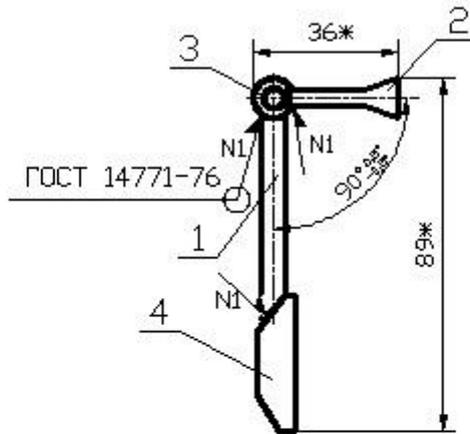
Изм	Лист	докум.	Подпись	Дата
Разраб.				
Пров.		Данекер		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв				

Литера	Масса	Масштаб
		M2:1
Лист	Листов	1





6,3  $\sqrt{(\checkmark)}$



- 1. \* Размеры для справок.
- 2. Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.014.

ВДАН 2.004.000 СБ

Кулиса  
в сборе

Имя	Лист	Доклад	Подпись	Дата
Равров.				
Пров.	Даненер			
Ташонть.				
Насонть.				
Втв.				

Лист	Код	Измен.
		М21
Лист	Листов	1

Формат А4