

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

Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки – Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ И СТАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	

УДК: 620.22-419.8:620.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Жанчипов Булат Доржиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	Д.ф-м.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «исследование электромагнитной эмиссии из композитных материалов при акустическом и статическом воздействии»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ПНИЛ ЭДиП	Суржиков Владимир Петрович	К.т.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. менедж. ИСГТ	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	К.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	Д.ф-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Способность совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК-1) Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-12,13,16-18,12,22) Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОКП-2, ПК-10,19) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5-7), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-5,6,8,20), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способность проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5,10,13,22), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натурных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-1,ПК-7,14,15) ПК-2,26,27,28) Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-2,6,14,20) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-1,2,6,13) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Способность формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,3, ПК-3,4,9,11) Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки – Приборостроение
 Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) _____ (Дата) Суржиков А.П.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Жанчипову Булату Доржиевичу

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ И СТАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p style="text-align: center;">Исходные данные к работе</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>Объектом исследования электромагнитная эмиссия из композитных диэлектриков; режим работы – периодический, образец состоит из эпоксидной смолы с наполнителем в виде кварцевого песка. Данный метод неразрушающего контроля является «без отходов», то есть, во время проведения контроля и после него, не имеется каких-либо побочных продуктов, которые подлежат утилизации. В результате выполнения контроля не существует источников загрязнения окружающей среды.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>Ознакомление с методами неразрушающего контроля, также с мультисенсорной системой контроля; постановка задачи; выделение сигналов электромагнитной эмиссии из композитного диэлектрического образца из временной реализации откликов мультисенсорной системы контроля в условиях одноосной ступенчатой нагрузки; разработка программ для обработки сигналов электромагнитной эмиссии, произведен анализ сигналов электромагнитной эмиссии и их спектров, и сделано заключение о перспективности использования параметров электромагнитных сигналов для контроля степени напряженно-деформированного состояния композитных диэлектрических материалов.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2007</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основная часть ВКР	Суржиков Владимир Петрович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Часть ВКР на английском языке	Вебер Юлия Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Неразрушающие методы контроля твердых тел	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	Д.ф-м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Жанчипов Булат Доржиевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Жанчипову Булату Доржиевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов для исследования электромагнитной эмиссии из композитных диэлектрических образцов, подвергающихся одноосному сжатию.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование научно-исследовательских работ	<p>1. Структура работ в рамках научного исследования.</p> <p>2. Определение трудоемкости выполнения работ</p> <p>3. Разработка графика проведения научного исследования</p> <p>4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)</p>
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. менедж. ИСГТ	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Жанчипов Булат Доржиевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Жанчипову Булату Доржиевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является электромагнитная эмиссия из композитных диэлектриков. В работе используются образцы, состоящие из эпоксидного клея и кварцевого песка. Использование данной системы будет производиться в области неразрушающего контроля.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	<i>Повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенный уровень шума, недостаточная освещенность, отклонение показателей микроклимата, факторы электрической природы: поражение электрическим током, повышенный уровень статического электричества.</i>
2. Экологическая безопасность:	<i>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, загрязняющие вещества: эпоксидный клей, перегоревшие лампы.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории, являются пожар и землетрясение.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>Соблюдение законов. Руководитель принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также за контроль исправностью работы в помещении. Эргономические требования к рабочему месту.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Жанчипов Булат Доржиевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 103 с., 30 рис., 20 табл., 39 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: электромагнитная эмиссия, мультисенсорная система контроля, механоэлектрические преобразования, электромагнитный отклик, напряжённо-деформированное состояние, одноосное сжатие, композитный диэлектрик.

Объектом исследования является электромагнитная эмиссия из композитного диэлектрика при акустическом и статическом воздействии.

Целью работы исследование характеристик электромагнитной эмиссии из композитных диэлектриков при акустическом и статическом воздействии.

В процессе исследования проводились: анализ отечественной и зарубежной литературы, изучение методик статического и акустического воздействий, экспериментальные исследования механоэлектрических преобразований.

В результате исследования были проанализированы электромагнитные сигналы, полученные одноосном сжатии образца и при изменении длительности импульса возбуждения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: образцы имели форму параллелепипеда с размерами: образец №1 - $60 \times 80 \times 100 \text{ мм}^3$, образец №2 - $60.5 \times 78 \times 87.5 \text{ мм}^3$

Область применения: диагностика композитных диэлектрических материалов по степени дефектности и напряженно-деформированного состояния.

Экономическая эффективность/значимость работы: экономический эффект выражается в экономии при исследовании электромагнитной эмиссии.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Механоэлектрические преобразования (МЭП) – преобразование акустических волн в электромагнитное поле на источниках механоэлектрических преобразованиях (двойные электрические слои пьезоэлектрические включение).

Напряжённо-деформированное состояние – совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на материальное тело внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

Электромагнитная эмиссия представляет собой выбросы с короткими фронтами, релаксирующие в виде колебания с большим коэффициентом затухания, сопровождаемые локальным спадом нагрузки, что свидетельствует о связи импульсов с локальными разрушениями в образце.

Мультисенсорная система контроля – система контроля позволяющая регистрировать сигнал с использованием систем приемников.

Временная реализация – оцифрованные значения во времени.

Электромагнитный отклик – сигнал, обусловленный явлением механоэлектрических преобразований.

Акустическая волна – упругие волны, распространяющиеся вдоль поверхности твёрдого тела или вдоль границы с другими средами.

Пьезоэлектрические свойства - способность кристаллических веществ создавать электрическую поляризацию при сжатии или растяжении их в определённых направлениях

Чувствительность - способность объекта реагировать определённым образом на определённое малое воздействие, а также количественная характеристика этой способности

Сокращения:

МЭП – механоэлектрические преобразования;

ЭМЭ – электромагнитная эмиссия;

НДС – напряженно-деформированное состояние;

МСК – мультисенсорная система контроля;

ЭМО – электромагнитный отклик;

ДИ – длительность импульса;

АЭ – акустическая эмиссия;

ВР – временная реализации;

НТИ – научно-техническое исследование;

ГОСТ – государственный стандарт;

КЕО – коэффициент естественной освещенности;

ПК – персональный компьютер;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
2. ГОСТ 12.2.032-78 (2001). Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. ГОСТ 12.1.038 – 82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
5. СНиП 23-05-95 (СП 52.13330.2011). Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
6. ГОСТ 12.1.033 – 81. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Термины и определения.
7. ГОСТ 12.1.003 – 83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	14
Глава 1. Обзор литературы.....	16
1.1 Модели разрушения материалов.....	16
1.2 Методы неразрушающего контроля твердых тел.....	18
1.2.1 Метод контроля на основе явления акустической эмиссии.....	19
1.2.2 Метод неразрушающего контроля на основе электромагнитной эмиссии.....	20
1.2.3 Метод неразрушающего контроля на основе механоэлектрических преобразований.....	23
1.3 Колебания.....	25
1.3.1 Затухание свободных колебаний	25
1.3.2 Вынужденные колебания при гармоническом внешнем воздействии. Резонанс колебаний	27
Глава 2. Методика исследования.....	30
2.1 Предпосылки к созданию аппаратуры.....	30
2.2 Мультисенсорная система контроля.....	32
2.3 Ошибки и дисперсия измерений.....	35
2.4 Образцы эксперимента	36
Глава 3. Экспериментальная часть	38
3.1 Влияние длительности импульса акустического возбуждения на форму и характеристики отклика МЭП.....	38
3.2 Зависимость интегральной энергии электромагнитного отклика от длительности импульса возбуждения.....	45
3.3 Влияние статического давления на форму и характеристики электромагнитного отклика механоэлектрических преобразований	48

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
Глава 5. Социальная ответственность	74
Заключение.....	86
Список публикаций студента	87
Список использованных источников.....	88
Приложение А	93

ВВЕДЕНИЕ

Наличие дефектов в материале, их количество и степень их опасности для конструкции являются актуальной задачей для специалистов по неразрушающему контролю. Наиболее широко используют акустические методы, однако чувствительность этих методов по обнаружению дефектов малых размеров невысока.

В последние годы разрабатывается перспективный метод неразрушающего контроля, основанный на явлении механоэлектрических преобразований (МЭП) [1]. Суть метода состоит в следующем: на объект исследования подается короткие механические импульсы, в результате чего в материале появляется бегущая акустическая волна, которая распространяясь по образцу, отражаясь от границ и претерпевая искажения, связанные с его внутренней неоднородностью и дефектностью, влияет на источники МЭП. При этом возникает переменное электромагнитное поле, которое можно регистрировать по электрической или магнитной составляющей.

Метод МЭП, обладая более высокой чувствительностью по сравнению с акустическими методами, также недостаточно чувствителен для обнаружения малых объемных дефектов из-за уровня помех и шумов в отклике при однократном ударе, а также из-за трудности формирования заданного спектрального состава при механическом ударе, особенно в области высоких частот.

На основании анализа результатов измерений и расчетов, выполненных с использованием математической модели МЭП, в Томском политехническом университете разработана мультисенсорная система измерения для исследования дефектности и напряженно-деформированного состояния для диэлектрических структур.

Целью данной работы является исследование электромагнитной эмиссии из композитных диэлектриков при акустическом и статическом воздействии.

Личный вклад автора. Совместно с руководителем автор принимал участие в формулировании целей и задач исследования, проводил эксперименты и обработку данных измерений, обобщал полученные результаты.

Научно-практическая значимость состоит в возможности разработки нового метода неразрушающего контроля на основе явления механоэлектрических преобразований (МЭП).

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Модели разрушения материалов

Для разработки оценки предела прочности или остаточного ресурса работы объектов неразрушающего контроля, которые находятся под нагрузкой, необходима соответствующая аппаратура контроля дефектности и напряженно деформированного состояния для регистрации первичных данных. Для оценки таких критериев нужно иметь представления о моделях разрушения материалов, а также, как влияет на разрушение динамика накопления дефектов во времени и пространстве объекта исследования в условиях НДС.

На сегодняшний день разработан ряд моделей разрушения материалов. Разрушения обусловлены развитием в нем трещин, которые появляются в областях, в которых локальные напряжения превышают предел прочности материала.

Разрушения рассматриваются как сложный и многостадийный процессы. Эти стадии: возникновение начальных микротрещин, переход к формированию очага разрушения и последующим микроразрывом.

Так как механическая нагрузка, приложенная к материалу, распределяется в нем неравномерно, возникают микрообласти, в которых происходит ускоренное развитие процесса разрушения. Возникновение микротрещин происходит в наиболее напряженных микрообластях и останавливается на границах гетерогенности за счет протекания релаксационных процессов. Образовавшаяся микротрещина может развиваться только при нарушении условий ее стабильности.

Если стабилизация начальных микротрещин будет неполной, то некоторые из них будут подрастать, что в итоге может привести к формированию магистральной трещины. Если же стабилизация начальных

трещин будет полной, то основным последующим этапом в разрушении будет процесс их накопления [1].

К настоящему времени многими исследователями используются два подхода, реализованные в двух - и трехстадийной моделях разрушения. Первая из них — кинетическая концепция прочности твердых тел [2].

Согласно данной модели, разрушение твердого материала происходит не только при достижении предела прочности, но и при меньших нагрузках при более длительных воздействиях на образец, в течение которых развивается термоактивационный процесс скапливания повреждений (трещин).

Нарушение цельности происходит при достижении предельных концентраций трещин в образце, и поэтому термофлуктуационную теорию разрушения стоит рассматривать как кинетический процесс накопления трещин в установленном объеме за определенный промежуток времени. На основании этой теории при постоянном контроле процесса нагрузки существует возможность определять, на какой стадии развития находится данный процесс, как далек он от критического состояния, которое может привести к развитию магистральной трещины.

В ранних работах [2] показано, что в исследуемом объекте контроля, важную роль осуществляет концентрационный критерий разрушения. По мнению авторов данной работы, первой стадией - является стадия некоррелированного накопления трещин, второй — стадией возникновения очага разрушения. В виду с полученными представлениями при изучении процесса разрушения в качестве исходной модели разрушения твердых тел следует выбрать ту, которая в отчетливом виде могла бы содержать какие-либо параметры трещин. Среди известных моделей параметры трещин содержит модель, которая может быть охарактеризована с помощью концентрационного критерия разрушения твердых материалов [3].

Плавный процесс накопления трещин сменяется ускоренным лавинообразным процессом их слияния и укрупнения при достижении

концентрационного критерия, который приводит к макроскопическому разрушению твердого тела.

Была также разработана модель лавинно-неустойчивого трещинообразования. В основе этой модели лежат физические аспекты возникновения и роста трещин. Она инвариантна к различным по масштабам разрушаемым объектам. Физические основы, заложенные в модель лавинно-неустойчивого трещинообразования, не противоречат основополагающим закономерностям, вытекающим из кинетической концепции прочности и концентрационного критерия разрушения [4].

Модель лавинно-неустойчивого трещинообразования часто используется при пояснении процесса разрушения. В данной модели последовательность роста процесса разрушения состоит из 3-х этапов. Первый из них — наиболее продолжительный, в котором под действием медленно повышающихся механических напряжений происходит постепенное накапливание количества (дефектов) трещин в обусловленном объеме. После, при достижении критического количества трещин для данного объема, процесс разрушения переходит в следующий этап, в котором моментально повышается количество дефектов-трещин за счет перехода на следующий уровень, а затем и на последний этап, обусловленный неустойчивыми деформациями, которые локализуются в узкой области.

В рассмотренных моделях механики разрушения твердых тел необходимо знать, как особенности протекания процесса подготовки к разрушению связаны со структурными изменениями в объеме материала, как во времени, так и в пространстве.

1.2 Методы неразрушающего контроля твердых тел.

Одним из приоритетных направлений материаловедения является разработка методов и осуществление неразрушающего контроля состояния

конструкций, в частности, из композитных материалов. Разработано множество методов неразрушающего контроля, имеющих разную физическую основу.

Значимыми методами ультразвукового контроля являются: эхо-метод, импедансный метод и резонансный метод, и метод акустической эмиссии, основанные на регистрации параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте.

1.2.1 Метод контроля на основе явления акустической эмиссии

Акустическая эмиссия (АЭ) это излучение акустических волн, сопровождающее некоторые виды необратимых превращений в твердом материале. Существуют три главных типа механизмов данного явления:

1) процессы, вызванные с пластической деформацией (перемещение дислокаций, скольжение границ доменов в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках и т. п.); 2) фазовые переходы, 3) формирование и рост трещин. [3]

Схема эксперимента по наблюдению акустической эмиссии состоит следующим образом. Волны, возбуждаемые развивающимся дефектом (источником эмиссии), претерпевая многообразные изменения на границах образца и на прочих статических неоднородностях, доходят до приемника сигнала (пьезоэлектрический преобразователь), электрический сигнал с которого обычно поступает на схему обработки. Регистрируемый с пьезопреобразователя сигнал имеет вид случайной последовательности радиоимпульсов, отвечающих отдельным событиям — вспышкам акустической эмиссии. Центральная частота радиоимпульсов обуславливается чаще всего резонансными свойствами преобразователя. Популярный принцип обработки сигнала акустической эмиссии, используемый в большинстве имеющихся методов, состоит в следующем: радиоимпульс после усиления попадает на пороговое устройство, выделяющее его на фоне посторонних шумов [4]. Это же

пороговое устройство формирует из радиоимпульса последовательность видеоимпульсов счета, поступающие на счетные устройства. Несмотря на то, что такая схема обработки использует лишь небольшую часть информации, удастся сделать ряд важных физических наблюдений.

Практические применения АЭ весьма разнообразны. Однако, основной областью применения АЭ в наши дни проявляется в неразрушающем и оперативном контроле инженерных конструкций и сооружений. Важнейшим преимуществом методов неразрушающего контроля, основанных на явлении акустической эмиссии, является тот факт, что эта АЭ сопровождает только развивающиеся, т.е. наиболее серьезные дефекты. Другая немаловажная сторона использования АЭ связана с тем, что источником звука, и притом достаточно значительного, в данном случае являются сами дефекты, благодаря чему задача выявления и локализации дефекта (источника АЭ) значительно облегчается.

1.2.2 Метод неразрушающего контроля на основе электромагнитной эмиссии.

В работах [7 - 10] было установлено, что при хрупком разрушении диэлектриков возникает электромагнитное излучение.

Разработкой методов контроля с использованием явления электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) было начато в Томском политехническом институте группой сотрудников под руководством А.А. Воробьева [11 - 13].

Было высказано предположение, согласно которой возникновение и развитие трещин должны сопровождаться излучением импульсов электромагнитной природы. Эти работы дали толчок к исследованиям физики процесса ЭМЭ. В настоящее время существует около тринадцати гипотез возникновения ЭМЭ. Согласно основным из них, импульсы ЭМЭ могут возникать вследствие эмиссии электронов с берегов растущей трещины [8 - 10], благодаря неравномерному (ускоренному) движению зарядовой мозаики по

берегам растущей трещины [10, 14], при нарушении связей двойных электрических слоев вблизи поверхности разрыва [15, 16]. При этом наиболее существенный вклад в ЭМЭ вносит излучение зарядов, движущихся с вершиной прорастающей трещины [17, 18]. Известно, что существенный вклад в ЭМЭ оказывают движущиеся дислокации при деформировании, например, щелочно-галогидных кристаллов [19 - 21].

На основании представленных модельных представлений [22 - 25] было высказано предположение, что возникающее при зарождении и прорастании трещин, электромагнитное излучение генерируется источниками, которые могут быть образованы областями с повышенной и пониженной плотностью заряженных дислокаций [10], а также движением зарядовой мозаики по берегам растущей трещины [12]. Колебательное перемещение электрических зарядов в этих областях, как показано в [15], приводит к возникновению электрического тока, сопровождающего прорастающую трещину, изменение геометрических размеров которой связывают с излучаемой в широком диапазоне частот электромагнитной энергией. В общем случае, при изменяющихся во времени на берегах прорастающей трещины зарядах и токах в окружающем их пространстве наблюдается переменное электромагнитное поле, а источники электромагнитной природы могут быть промоделированы элементарным электрическим (зарядовый источник) и магнитным (токовый источник) диполями [26].

Теоретические обоснования возникновения явления электромагнитного излучения были рассмотрены в работах [27 - 29].

Было установлено, что при возникновении трещины время ее развития равно длительности сигнала электромагнитного излучения [27]. Было также сделано предположение, что имеется зависимость между размерами образующихся под нагрузкой трещин и возникающими при этом сигналами определенной длительности [28].

В связи с этим принято считать, что возникновение единичной трещины сопровождается появлением либо одиночного импульса, либо пакета импульсов ЭМЭ.

Проводились лабораторные работы по исследованию дефектности и напряженно-деформированного состояния на образцах из диэлектрических материалов с использованием метода ЭМЭ [20, 29 - 32]

Методическим недостатком указанных исследований является то, что в качестве параметра ЭМЭ используется интенсивность импульсного потока (число импульсов ЭМЭ, превышающих заданный порог, в единицу времени).

В институте горного дела СО РАН [33] проведен большой объем исследований, посвященный связи между амплитудно-временными параметрами сигналов ЭМЭ и НДС. Разработан стенд и методика для синхронного измерения электромагнитной эмиссии и нагрузки при одноосном сжатии образцов из горных пород. Структура сигналов ЭМЭ исследовалась на разработанном стенде при увеличении давления на образцы с заданной скоростью. В экспериментальной работе регистрировались сигналы ЭМЭ и нагрузка синхронно по двум каналам, отражающие параметры на экране монитора ЭВМ в виде отдельных кадров. Каждый кадр состоял из 2^{14} отсчетов значений электромагнитной эмиссии и нагрузки, которые были оцифрованы 12-разрядным АЦП, взятых с интервалом 2 мкс.

Из полученных кадров производился анализ по сформированным временным реализациям. Показано, что существует корреляция между и локальным падением нагрузки за счет микроразрушений и возникновением ЭМ эмиссии при постепенной нагрузке.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы: - установлено, что переход от стационарной стадии накопления трещин к нестационарной стадии разрушения при нагружении образцов горных пород связан с изменением структуры в сигналах ЭМЭ — возникновением в них периодических низкочастотных колебаний с переменными длительностью и амплитудой — автоколебательным квазирезонансным процессом; -

экспериментально доказано, что при одноосном нагружении образцов горных пород, проявляется трехстадийность процесса их разрушения, находящая свое отражение в S-образном характере изменения структуры спектрально-временных параметров сигналов ЭМЭ. Первая стадия отображается как высокочастотный процесс с последовательным смещением спектра ЭМЭ по мере нагружения образцов в более низкочастотную область; вторая — наоборот, как процесс со смещением спектра в высокочастотную часть диапазона; третья стадия — нарушения сплошности характеризуется тем, что спектральные параметры вновь регистрируются в низкочастотной области частотного диапазона.

1.2.3 Метод неразрушающего контроля на основе механоэлектрических преобразований

Перспективной разработкой метода контроля дефектности и напряженно-деформированного состояния (НДС) является разработка метода, основанного на явлении механоэлектрических преобразований (МЭП) в диэлектрических материалах под действием импульсного механического возбуждения. Суть метода МЭП заключается в следующем [34]. Производится импульсное механическое возбуждение диэлектрического образца, в результате чего в нем возникает акустическая волна, которая распространяется по образцу, отражаясь от его границ. В процессе движения фронт волны пересекает источники МЭП, который преобразует часть энергии в переменное электромагнитное поле. Параметры электромагнитного поля регистрируют в виде сигнала отклика с помощью емкостных или индуктивных приемников, расположенных вблизи поверхности образца.

В методе МЭП происходит преобразование акустической энергии в электромагнитное поле, а затем в электрический сигнал с помощью емкостных или индуктивных датчиков. Одним из достоинств метода МЭП является возможность бесконтактного приема сигналов, что снимает проблему

надежности контакта, а также обеспечивает отсутствие влияния приемника на параметры сигнала отклика.

При распространении акустической волны по образцу при многократных отражениях от границ происходит их рассеяние на неоднородностях структуры, поэтому на приемник сигнала приходит суперпозиция рассеянных волн, которая в ультразвуковом методе контроля уменьшает полезный сигнал помехами, связанный с дефектами. Суперпозицию рассеянных волн называют структурным шумом. Особенности структурного шума является то, что обусловленный им отклик стабилен при неоднократном возбуждении образца одной и той же системой возбуждения в случае неизменности структуры образца и геометрии системы источник возбуждения – образец – приемник сигнала [35].

Также были проведены экспериментальные исследования по оценке возможности использования явления МЭП для дефектоскопии, контролю напряженно-деформированного состояния и прочности композитных материалов. Так в работе [35] проведен анализ чувствительности метода МЭП к размеру зерна в бетонах. Ряд работ посвящен рассмотрению механизмов МЭП [36 - 38]. В работе [39] установлена зависимость амплитудно-частотных характеристик при ударном возбуждении бетонов от размеров и геометрии расположения в них включений. Предложена физическая модель источника сигнала и получены расчетные значения частотной характеристики отклика по электрической цепи замещения. Показано хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов, что подтверждает правильность предложенного механизма МЭП.

Расчеты по указанной модели показали, что геометрия системы источник акустического сигнала – образец – емкостный приемник электромагнитного отклика оказывает существенное влияние на его форму и спектральные характеристики.

1.3 Колебания

Колебательные явления разной физической природы подчиняются общим закономерностям. Общность колебательных закономерностей позволяет рассматривать колебательные процессы разной природы с единой точки зрения. Если в какой-либо точке среды, в которой близко расположенные атомы или молекулы испытывают силовое воздействие, возбужден процесс механических колебаний, то этот процесс будет с конечной скоростью, зависящей от свойства среды, распространяться от точки к точке. Так возникают механические волны.

1.3.1 Затухание свободных колебаний

Затухание колебаний это постепенное ослабление колебаний с течением времени, определенное потерей энергии колебательной системой. Закон затухания колебаний зависит от свойств колебательной системы. Система называется линейной, если его параметры, описывающие основные физические свойства системы, не изменяются в ходе процесса [40]. Свободные затухающие колебания линейной системы описываются уравнением:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = 0 \quad (1.1)$$

где γ - коэффициент затухания, ω_0 - собственная частота системы, т.е. частота, с которой совершались бы колебания в отсутствии затухания.

Выражение коэффициента затухания через параметры системы зависит от вида колебательной системы.

Для решения уравнения (1.1) производится подстановка $x = \lambda t$. Эта подстановка приводит к характеристическому уравнению:

$$\lambda^2 + 2\lambda\gamma + \omega_0^2 = 0, \text{ которое имеет два корня:} \\ \lambda_1 = -\gamma + \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2} \quad \lambda_2 = -\gamma - \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2} \quad (1.2)$$

При незначительном затухании (при $\gamma < \omega_0$) подкоренное выражение будет отрицательным. Если его представить в $(i\omega)^2$, где ω вещественная

положительная величина, называемая циклической частотой затухающих колебаний и равная $\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \gamma^2}$, то корни уравнения (1.2) запишутся в виде: $\lambda_1 = -\gamma + i\omega$ и $\lambda_2 = -\gamma - i\omega$ (1.3)

Общим решением уравнения будет функция:

$$x(t) = C_1 \exp((- \gamma + i\omega)t) + C_2 \exp((- \gamma - i\omega)t) = (C_1 \exp(i\omega t) + C_2 \exp(-i\omega t)) \exp(-\gamma t) \quad (1.4)$$

которую можно представить в виде:

$$x(t) = a_0 \exp(-\gamma t) \cos(\omega t + a) \quad (1.5)$$

В соответствии с формулой (1.5) движение системы можно условно рассматривать как гармоническое колебание частоты ω с амплитудой, изменяющейся по закону: $a(t) = a_0 \exp(-\gamma t)$ (1.6)

Скорость затухания колебаний определяется коэффициентом затухания γ . В соответствии с выражением (1.6) коэффициент затухания обратен по величине тому промежутку времени, за который амплитуда колебаний уменьшается в «e»=2.718 раз. Период затухающих колебаний определяется формулой:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}} \quad (1.7)$$

При незначительном затухании ($\gamma \ll \omega_0$) период колебаний практически равен $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$. С ростом γ период увеличивается. Из соотношения (1.7) следует, что $\frac{a(t)}{a(t+T)} = \exp(\gamma T)$. Такое отношение амплитуд называется декрементом затухания, а его натуральный логарифм - логарифмическим декрементом затухания:

$$\gamma = \ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \gamma T \quad (1.8)$$

Логарифмический декремент затухания обратен по величине числу колебаний, совершаемых за то время, за которое амплитуда уменьшается в «e» раз. Помимо рассмотренных величин для характеристики колебательной системы употребляется величина $Q = \frac{\pi}{\lambda}$, называемая добротностью

колебательной системы. Добротность пропорциональна числу колебаний, совершаемых системой за то время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в «е» раз. Большим значениям добротности соответствует малое затухание. Энергия колебательной системы убывает со временем. Это обусловлено наличием затухания. При ($\gamma \ll \omega_0$) малом затухании, когда энергия изменяется по закону:

$$E = E_0 \exp(-2\gamma t) \quad (1.9)$$

где E_0 - значение энергии в начальный момент.

Можно показать, что при слабом затухании добротность с точностью до множителя 2π равна отношению энергии, запасенной в системе в данный момент времени, к убыли этой энергии за один период колебаний.

С ростом γ период колебаний увеличивается. При $\gamma = \omega_0$ период обращается в бесконечность, т.е. движение перестает быть периодическим. При ($\gamma > \omega_0$) выведенная из положения равновесия система возвращается в него, не совершая колебаний.

1.3.2 Вынужденные колебания при гармоническом внешнем воздействии. Резонанс колебаний

Периодическое внешнее воздействие, описываемое гармоническим законом, оказываемое на колебательную систему, описывается следующим уравнением

В том случае, когда на колебательную систему оказывается периодическое внешнее воздействие, подчиняющееся гармоническому закону, колебания описываются уравнением:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = f_0 \cos \Omega t \quad (1.10)$$

Ω - частота вынуждающего воздействия на колебательную систему.

Коэффициента f_0 зависит от вида колебательной системы и внешнего воздействия.

Общее решение такого неоднородного дифференциального уравнения (1.10) равно сумме общего решения соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения. Эти два слагаемых соответствуют свободным затухающим колебаниям и незатухающим колебаниям с частотой вынуждающей силы. По истечении некоторого промежутка времени решение уравнения (1.10) будет совпадать с частным решением.

Описываемый им режим движения называется установившимся режимом вынужденных колебаний. Соответствующее выражение имеет вид:

$$x(t) = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\gamma^2 \Omega^2}} \cos(\omega t + \arctg \frac{2\gamma\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}) \quad (1.11)$$

Амплитуда вынужденных колебаний зависит от частоты вынуждающей силы: $a(\Omega) = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\gamma^2 \Omega^2}}$ (1.12)

Величина $\varphi = \arctg \frac{2\gamma\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}$ (1.13) характеризует отставание по фазе вынужденного колебания от обусловившего это колебание внешнего воздействия. Следует отметить, что установившиеся колебания происходят с частотой вынуждающего воздействия Ω , а не с собственной частотой. При $\Omega=0$ выражение (1.12) дает статическое отклонение $a(0) = \frac{f_0}{\omega_0^2}$ (1.14).

Зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающего воздействия приводит к тому, что при некоторой определенной для данной колебательной системы частоте амплитуда колебаний достигает максимального значения. Резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты внешнего воздействия к некоторому значению называют явлением резонанса (резонансом). Резонансная частота $\Omega_{\text{рез}}$ рассчитывается, приравняв к нулю производную $\frac{da(\Omega)}{d\Omega} = 0$,

$$\text{откуда } \Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 + 2\gamma^2} \quad (1.15) \quad a_{\text{рез}} = \frac{f_0}{2\gamma\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}} \quad (1.16).$$

Для механических колебаний при резонансной частоте внешнего воздействия, определяемой по формуле (1.15), достигается максимум амплитуды смещения колеблющейся величины $x(t)$, для электромагнитных колебаний в контуре - максимум амплитуды заряда $q(t)$. Максимум амплитуды производной $\frac{dx(t)}{dt}$ (соответственно, скорости или тока) достигается при $\Omega = \omega_0$. Максимум амплитуды второй производной $\frac{d^2x(t)}{dt^2}$ (соответственно, ускорения или напряжения на катушке индуктивности) достигается при $\Omega = \frac{\omega_0}{\sqrt{(\omega_0^2 + \gamma^2)}}$.

Максимум средней мощности внешнего воздействия достигается при $\Omega = \omega_0$. Если затухание невелико, то положения всех перечисленных максимумов почти не отличаются друг от друга. При малом затухании:

$$a_{\text{рез}} = \frac{f_0}{2\gamma\omega_0}, \quad \frac{a_{\text{рез}}}{a(0)} = \frac{\omega_0}{2\gamma} = \frac{2\pi}{2\gamma T} = \frac{\pi}{\lambda} = Q \quad (1.17)$$

В этом случае, добротность Q определяет, во сколько раз амплитуда в момент резонанса $a_{\text{рез}}$ превышает отклонение системы от положения равновесия $a(0)$ под действием постоянного воздействия той же величины, что и амплитуда вынуждающего воздействия. Данное утверждение верно только при небольшом затухании.

В установившемся режиме вынужденных колебаний энергия колебательной системы остается постоянной. Система непрерывно поглощает от источника внешнего воздействия энергию, которая восполняет потери, связанные с наличием затухания (сила трения при механических колебаниях, выделение теплоты на активном сопротивлении при колебаниях в контуре).

Глава 2. Методика исследования

2.1 Предпосылки к созданию аппаратуры

Метод МЭП для контроля дефектности и напряженно-деформированного состояния (НДС) композитных диэлектрических преобразований близок акустическому методу реверберации, но различие заключается в том, что в роли приемника сигнала выступает не акустический датчик, а система, включающая внутренний источник МЭП и внешний емкостный приемник. В обоих случаях регистрируются характеристики акустических волн, взаимодействующие со структурой исследуемого объекта.

Можно предполагать, что метрологический эффект метода МЭП по контролю структурных изменений (дефектности и неоднородностей структуры) объекта исследования под действием механических нагрузок состоит в том, происходит накопление деформаций прямой и отраженных акустической волны возбуждения, что отражается в отклике.

При использовании обычной методики МЭП было замечено, что при одинаковой геометрии эксперимента и при стабильном ударном возбуждении шариком или электромеханическим преобразователем с точностью до помех воспроизводимость отклика была достаточно высокой. Это также было установлено другими исследователями [12]. Таким образом, можно прийти к заключению, что распространение акустической волны возбуждения по образцу, а, следовательно, процесс механоэлектрических преобразований является детерминированным с малым уровнем стохастической составляющей. Это обстоятельство дает возможность использовать принцип накопления полезного сигнала путем многократного возбуждения объекта исследования при неизменности его структуры.

Суть его состоит в том, что если объект исследования, обладающий детерминированной импульсной характеристикой, возбуждать серией из N импульсов заданной формы, то на выходе будет получена последовательность

откликов, представляющих смесь полезных составляющих и шумов. При когерентном сложении полезных составляющих их уровень возрастет в N раз. Стохастические составляющие шума будут складываться не коррелировано, и их уровень возрастет в \sqrt{N} раз. В результате сложения откликов отношение сигнал/шум по уровню сигналов возрастет в \sqrt{N} раз.

На воспроизводимость отклика прямое влияние оказывает стабильность возбуждения. При обычно используемом возбуждении в виде удара шариком или с использованием электромеханического возбуждения имеет место разброс параметров взаимодействия ударного устройства с объектом исследования из-за неоднородности его поверхности. При этом меняется от удара к удару длительность соприкосновения ударного устройства с поверхностью объекта исследования, что влияет на форму генерируемых акустических волн. Кроме того, нестабильной является сила взаимодействия бойка с материалом, что влияет на интенсивность акустических волн. Принимались меры для уменьшения влияния на удар неоднородности поверхности объекта возбуждения путем использования металлических пластинок, которые эффективно усредняли неоднородность поверхности [13]. Однако использование ударников указанного типа не дает возможность управлять формой удара с заданным спектром, что важно для решения задачи оптимизации возбуждения для объектов исследования разной формы и размеров.

Из математической модели [14] следует, что форма отклика изменяется в зависимости от местоположения приемника сигнала. При точечном возбуждении образца в нем начинает распространяться фронт акустической волны, отражаясь от границ. В лучевом приближении движение волны можно рассматривать, исходя из законов геометрической оптики. При этом отклик формируется как суперпозиция сигналов за счет механоэлектрических преобразований на источниках МЭП, через которые проходят лучи акустической волны. Величина электрического сигнала приемника убывает с

расстоянием от источника МЭП по закону выше второй степени, поэтому при прочих равных условиях при равномерном распределении источников МЭП по материалу образца основной вклад в отклик будет от источников МЭП, расположенных вблизи его поверхности со стороны емкостных приемников.

Кроме того, играет определенную роль размер приемника. С увеличением его размера для высокочастотных составляющих сигнала отклика приемник может играть роль дифракционной решетки. Длины волн спектральных составляющих, кратно укладываемые на линейных размерах пластинки емкостного приемника будут когерентно складываться, тогда как для других условий сложения будут менее благоприятны, в том числе они могут полностью компенсировать друг друга.

Для возможно более широкополосного приема сигналов откликов желательно иметь размеры приемника как можно меньшими. С другой стороны, малый размер приемника уменьшает отношение сигнал/шум усилительного тракта.

Проблема снимается при использовании мультисенсорной системы с небольшими линейными размерами пластин емкостного приемника при условии многократного импульсного возбуждения объекта исследования.

При использовании многократного возбуждения объекта исследования высокостабильными импульсами и выделение среднего значения временной реализации открывает возможность производить сравнительный анализ тех или иных параметров откликов за счет изменения дефектности и напряженно-деформированного состояния.

2.2 Мультисенсорная система контроля

На основе вышеизложенного был разработан лабораторный макет мультисенсорной системы контроля дефектности и напряженно-деформированного состояния на основе явления механоэлектрических преобразований.

Схема экспериментальной установки показана на рисунке 2.1.

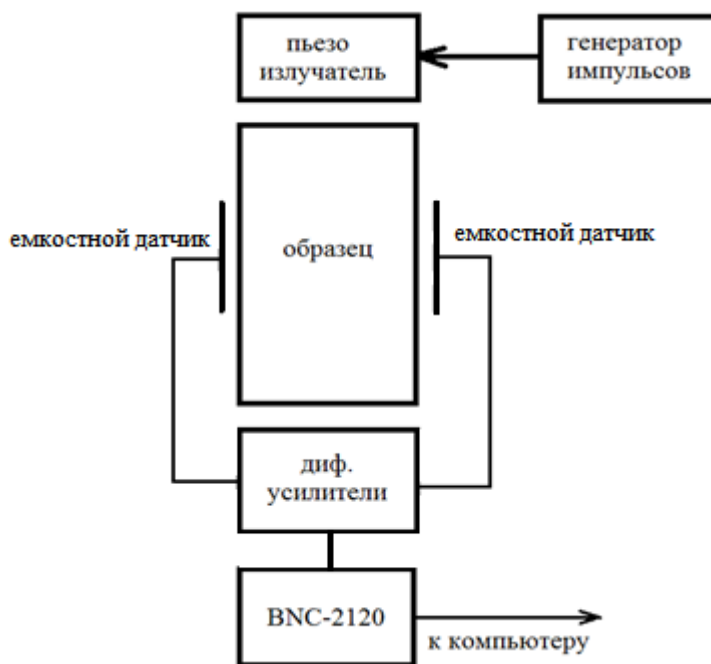


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

Образцы помещаются в экспериментальную установку (рисунок 2.2) и возбуждается заданным числом коротких акустических импульсов (ударов) определенной формы и амплитуды с помощью пьезоэлектрического преобразователя на основе ЦТС-19, возбуждаемого электрическим высокоточным генератором с регулируемой формой сигнала.



Рисунок 2.2 – Экспериментальная установка с образцом №1

Повторное число возбуждений образца позволяет существенно повысить отношение сигнал – шум, и, следовательно, повысить чувствительность системы по обнаружению малых изменений исследуемых параметров образца.

Отклик регистрируется емкостным дифференциальным датчиком, который состоит из двух приемных пластин. Также экспериментальная установка включен измерительный тракт, состоящий из эмиттерных повторителей с высокоомным входом и малошумящего усилителя, сигнал с которого через блок коммутации BNC-2120 поступает на многофункциональную плату сбора данных PCI – 6251 компьютера. В нем формируется база данных для дальнейшей обработки. При этом, система позволяет производить оцифровку сигнала с заданным шагом дискретизации, оптимальным для решения различных задач при сравнительном анализе. Измерительная система предполагает использование сменной системы приемников, выполненных на пластине из фольгированного текстолита травления.

Зарегистрированные в цифровом виде отклики с каждого приемника проходят предварительную обработку: находится среднее значение в каждой точке выборки временных реализаций откликов при повторных возбуждениях образца, приведенных к начальному моменту возбуждающих импульсов, а также среднеквадратичное отклонение для каждой точки временной выборки отклика. Последнее необходимо для статистической оценки различий средних значений временных выборок откликов при изменении характеристиках образца с использованием сравнительного анализа.

Частотный спектр возбуждения играет важную роль при установлении связи параметров отклика с изменениями характеристик образца под влиянием внешних воздействий.

2.3 Ошибки и дисперсия измерений

Целью каждого измерения является нахождение значения некоторой величины. Однако, из-за различных неточностей процесса измерения результаты измерений в общем случае отличаются от искомого точного значения. При оценке результатов измерения часто исходят из того, что измерения можно повторить многократно. Условия проведения измерений при этом не должны изменяться.

Опыт передаёт, что любое измерение, как бы аккуратно оно не проводилось, не может быть совершенно свободно от ошибок. В научных исследованиях слово «ошибка» означает неизбежную погрешность, которой сопровождаются все измерения. Ошибка измерения характеризует точность, с которой выполнено измерение. Данные ошибки измерений определены большим количеством разнообразных причин. В некоторых случаях получается выделить причины этих ошибок и внести нужную поправку в результат измерений. Так, например, если после проведения экспериментов была выявлена ошибочная калибровка прибора, которая привела к смещению начала отсчета измеряемой величины, и если шкала отсчетов линейная, то все измеренные показания необходимо сместить на эту обнаруженную ошибку измерений [15].

Второй причиной погрешностей эксперимента может быть неточность прибора, измеряющего временной интервал наблюдения. Например, если используемый секундомер неизменно отстаёт, то все измеренные значения времени будут недооценены и никакое количество повторений измерений с тем же секундомером не обнаружит этот источник ошибок. Для того чтобы максимально избежать подобных ошибок в научных экспериментах используют специально откалиброванные приборы.

Принято говорить, что каждая из таких причин вызывает систематическую ошибку измерений. Как только систематические ошибки обнаружены и их величины рассчитаны, они могут быть устранены внесением

соответствующих поправок в результаты измерений. Однако необходимо помнить, что общая ошибка каждого результата измерения остается неизвестной, т.к. речь идет не о выделении из общей ошибки наблюдения некоторой ее части в виде систематической ошибки, а лишь о введении поправок на те факторы, которые удалось выявить в процессе анализа результатов эксперимента. Правильная оценка систематических ошибок в значительной степени зависит от опыта экспериментатора и его способности критически смотреть на полученные результаты. Наряду с систематическими ошибками существуют и другого типа ошибки — статистические.

Экспериментальные погрешности, которые можно обнаружить с помощью многократных измерений, называются случайными или статистическими ошибками.

При последующем анализе использовались отклики, усредненные по всей временной реализации. Дисперсия в экспериментах не превышала 5%.

2.4 Образцы эксперимента

Образцы для эксперимента были изготовлены следующим образом. Приготавливался согласно инструкции эпоксидный клей марки ЭД 20. Через 40 минут в клей добавлялся кварцевый песок с размером частиц 0,1 – 0,3 мм и объемной долей равной 0,5 и всё тщательно перемешивалось (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Процесс изготовления образцов для экспериментов

Затем приготовленная смесь заливалась в форму и затвердевала. Через 20 часов образец извлекался, и производилась шлифовка его граней до необходимой чистоты поверхности. Размеры образцов составляли: образец №1 - $60 \times 80 \times 100 \text{ мм}^3$, образец №2 - $60.5 \times 78 \times 87.5 \text{ мм}^3$.

Глава 3. Экспериментальная часть

3.1 Влияние длительности импульса акустического возбуждения на форму и характеристики отклика МЭП

Все вычисления анализа спектральных характеристик ЭМО проводились математическим пакетом Origin 7. Origin 7 представляет собой пакет программ фирмы OriginLab Corporation для численного анализа данных и научной графики.

Целью настоящего раздела было проверить спектральные характеристики отклика МЭП при изменении длительности импульса акустического возбуждения.

На рисунках 3.1-7 представлены ЭМ отклики временной реализации при различных длительностях импульса возбуждения (50-100-200-300-450-600-800-1000-1200-1500-1800-2000-2500 мкс) на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

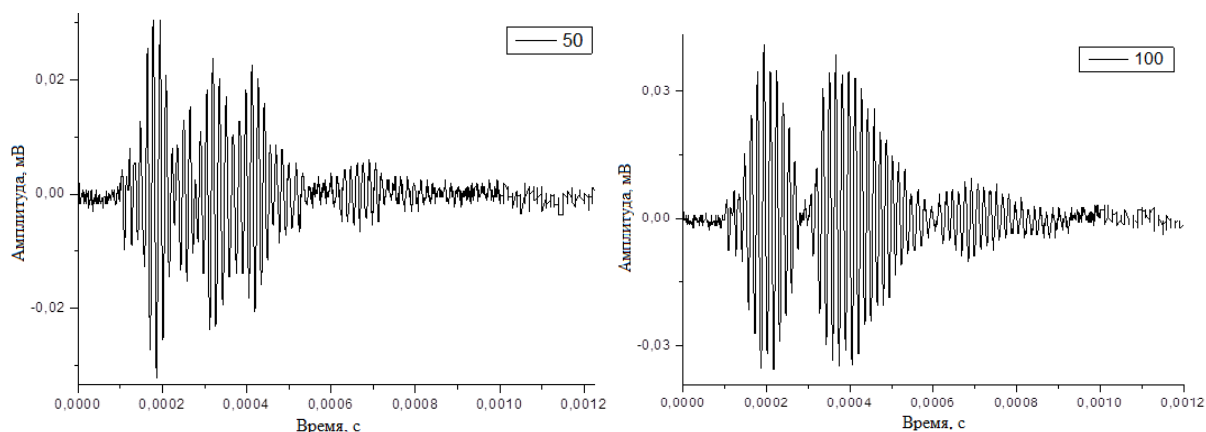


Рисунок 3.1 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 50 и 100 мкс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

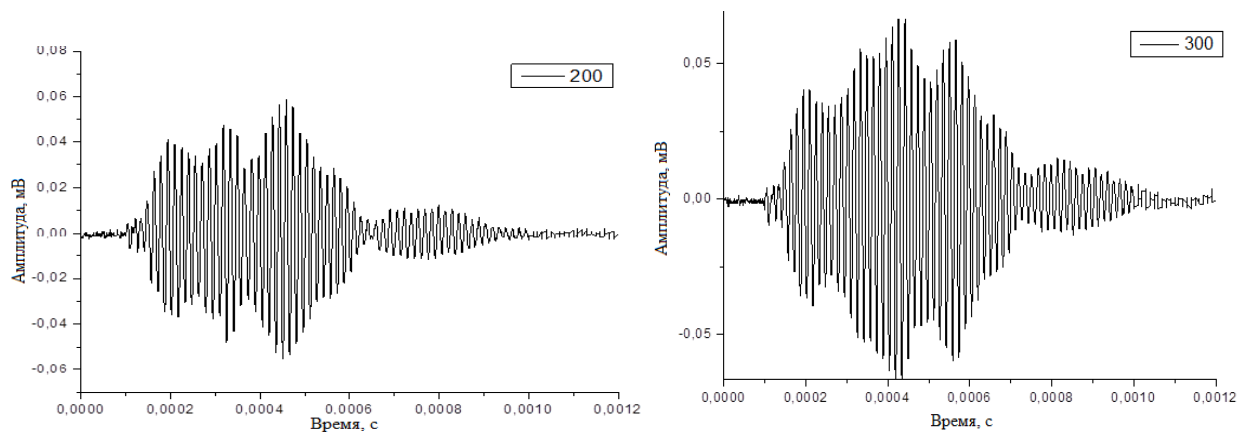


Рисунок 3.2 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 200 и 300 мкс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

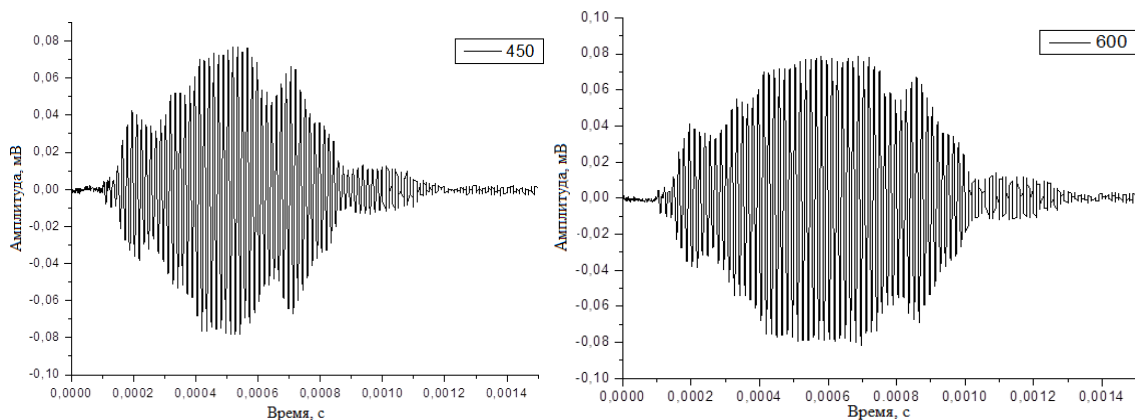


Рисунок 3.3 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 450 и 600 мкс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

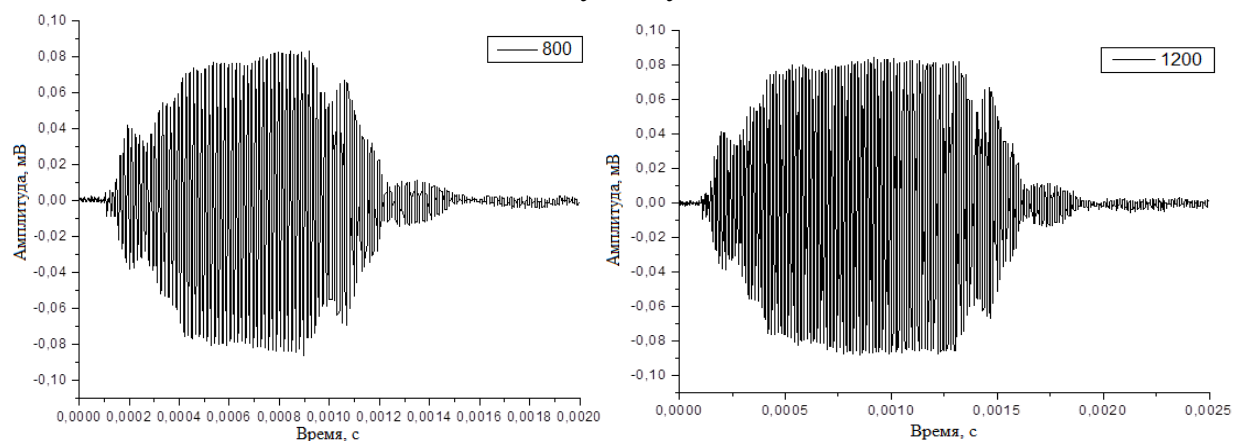


Рисунок 3.4 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 800 и 1200 мкс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

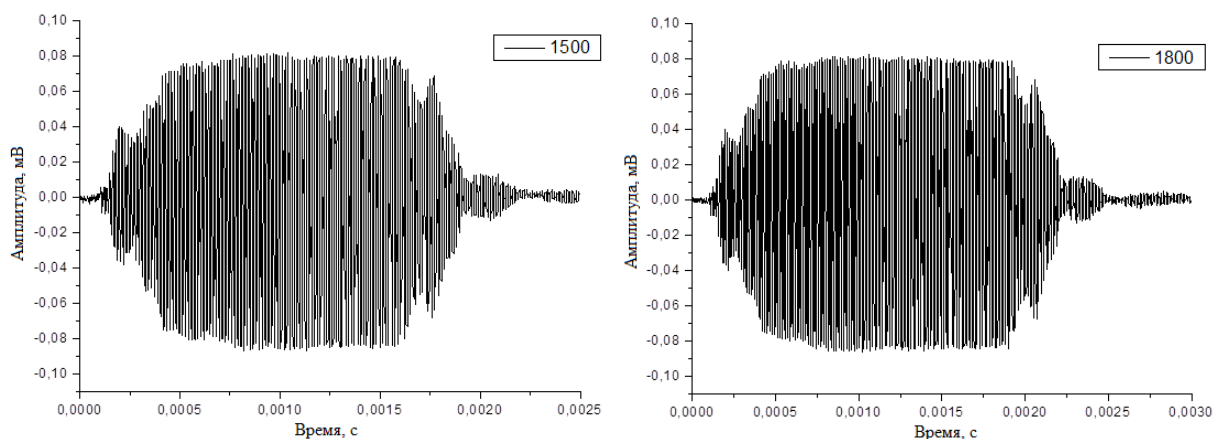


Рисунок 3.5 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 1500 и 1800 мкс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

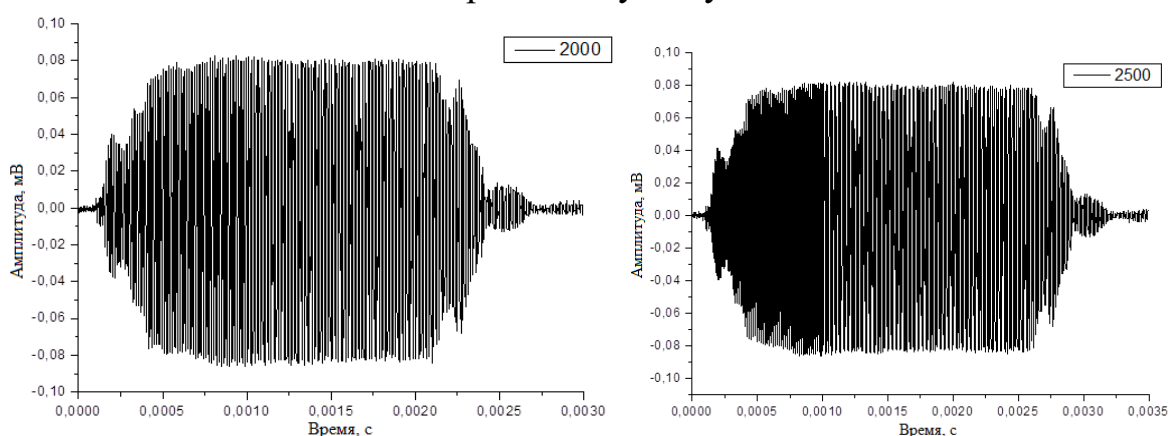


Рисунок 3.6 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 20 и 2.5 мс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

Как видно из представленных рисунков 3.1-6, отклики временной реализации по мере увеличения длительности импульса возбуждения, а именно начиная с 800 мкс, начинает обретать три ярко выраженные участки (Рисунок 3.7): 1. «*Передний фронт (ПФ)*» - соответствует переходному процессу с момента возникновения акустических колебаний в образце до установления режима вынужденных колебаний; 2. «*Середина отклика*» - участок с мало меняющейся по уровню амплитудой, который начинается с окончания переднего фронта и продолжается до окончания импульса возбуждения; 3. «*Задний фронт (ЗФ)*» - промежуток времени после окончания действия

импульса возбуждения, в течение которого в образце совершаются свободные затухающие колебания.

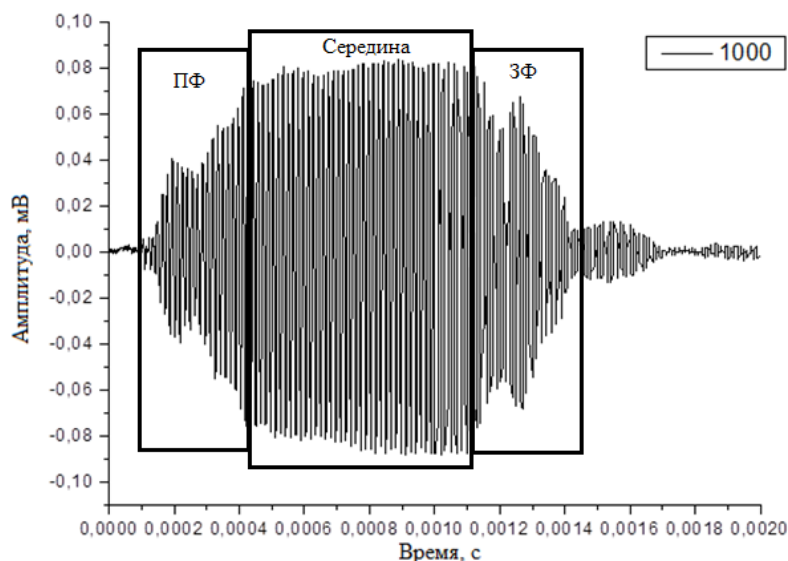


Рисунок 3.7 – ЭМ отклик временной реализации при длительности импульса возбуждения 1 мс на частоте 65 кГц. Статическая нагрузка на образец отсутствует.

Полученные временные реализации ЭМ отклика при всех значениях длительности импульса возбуждения на частоте генерации 65 кГц были разделены и произведен анализ спектральных характеристик данных участков.

1. Передний фронт ЭМ отклика МЭП.

На рисунке 3.8 представлены передние фронты ЭМО при разных длительностях импульса (ДИ) возбуждения с частотой 65 кГц.

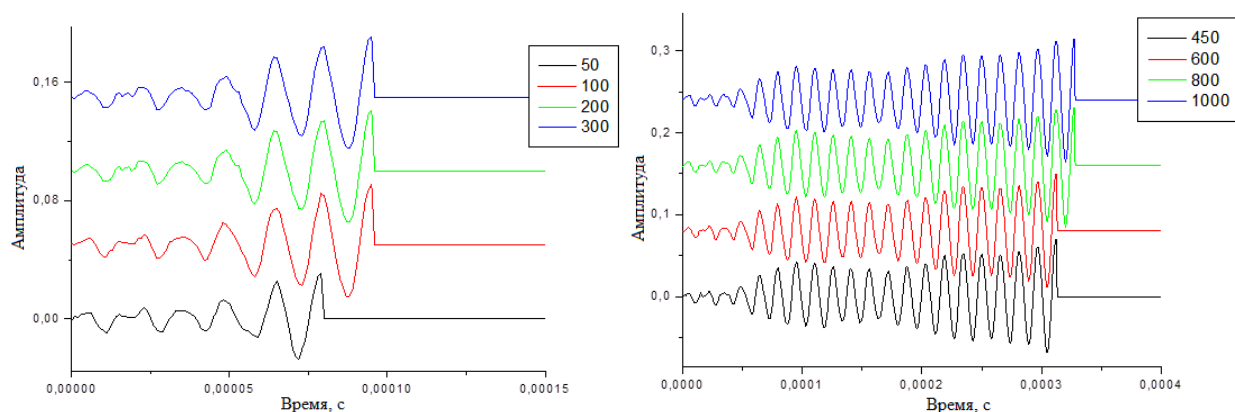


Рисунок 3.8 – Передний фронт ЭМ отклика ВР при ДИ возбуждения 50-100-200-300-400-600-800-1000 мкс, на частоте возбуждения 65 кГц.

Далее для данных участков были рассчитаны нормированные спектры мощности переднего фронта ЭМО, графики которых представлены на рисунках 3.9-10.

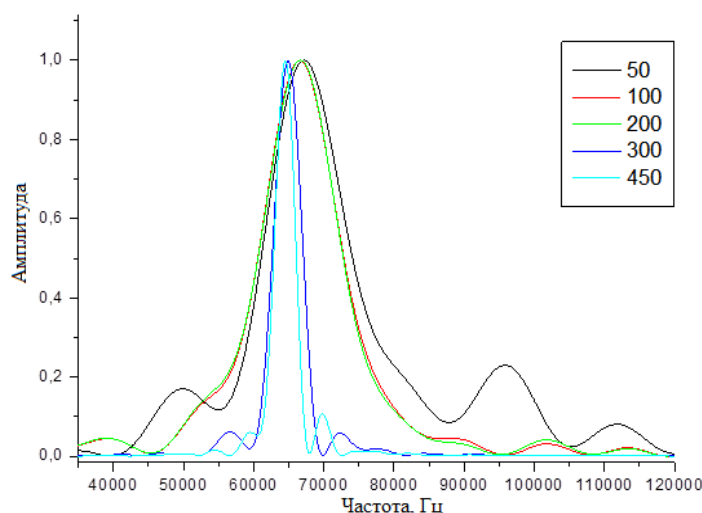


Рисунок 3.9 – Нормированные спектры мощности ЭМ откликов «переднего фронта» ВР на частоте возбуждения 65 кГц, при разных значениях ДИ.

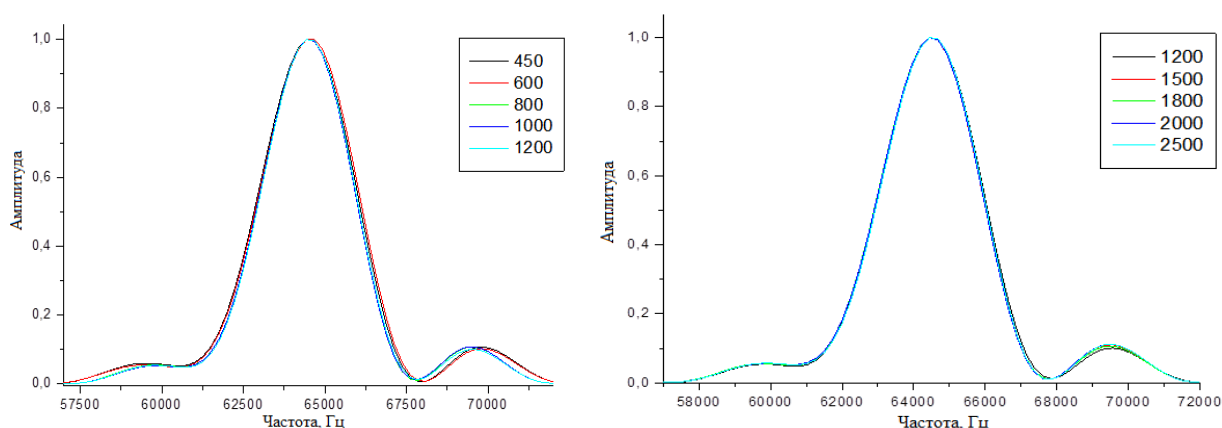


Рисунок 3.10 – Нормированные спектры мощности ЭМ откликов «переднего фронта» ВР на частоте возбуждения 65 кГц, при разных значениях ДИ.

Видно, что спектр отклика при длительности возбуждения до 100 микросекунд сложный, имеет несколько максимумов на частоте возбуждения и частотах собственных колебаний. Собственные частоты определяются по формуле: $\nu = \frac{\nu_l}{L}$,

где L – геометрические параметры образца;

v_l – скорость распространения продольных волн в исследуемом образце и равна она $v_l = 2650$ М/с.

По мере увеличения длительности импульса (ДИ) в спектре наблюдается ослабление и исчезновение колебаний на собственных частотах и доминирование максимума на частоте возбуждения с постепенным сужением ширины спектральной полосы с увеличением длительности импульса возбуждения. Ширина спектральной полосы определялась на высоте 0,7 от максимальной амплитуды. Найденные значения ширины спектральной полосы от длительности импульса представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость ширины спектральной полосы от ДИ возбуждения.

Длительность импульса, мкс	Ширина спектральной полосы, Гц	Длительность импульса, мкс	Ширина спектральной полосы, Гц
50	9190	1000	2278
100	8647	1200	2287
200	8565	1500	2251
300	3289	1800	2246
450	2379	2000	2262
600	2393	2500	2258
800	2278		

Такая трансформация в спектре отклика определяется уменьшением ширины спектральной полосы возбуждения с увеличением длительности акустического импульса, исключением из спектра возбуждения собственных частот. При этом вклад вынужденных колебаний в энергию отклика возрастает, а собственных- уменьшается.

2. Середина отклика МЭП (режим установившихся колебаний).

Середина отклика МЭП начинает формироваться при длительностях импульса выше 800 мкс, поэтому при малых длительностях расчет спектра не возможен.

Как видно из графика, представленного на рисунке 3.11, в спектре середины ЭМО наблюдается, также как и в случае переднего фронта, сужение

ширины спектральной полосы по мере увеличения ДИ возбуждения. Также стоит отметить, частота ЭМО практически равна частоте импульса возбуждения (65 кГц).

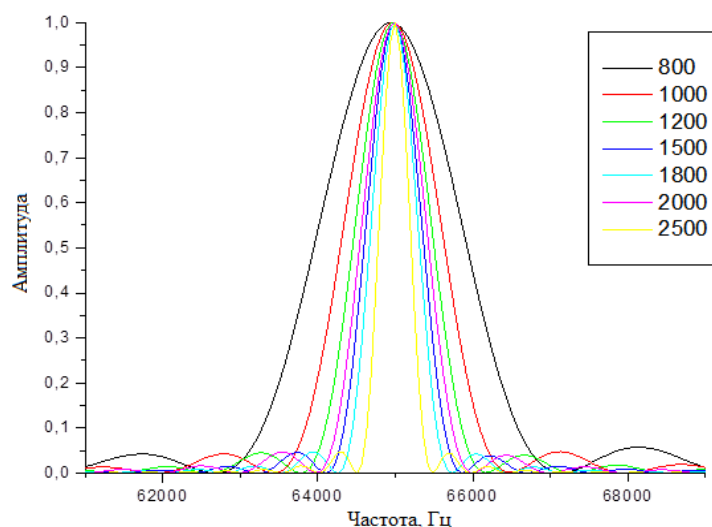


Рисунок 3.11 – Нормированные спектры мощности ЭМ откликов «середины» ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при разных значениях длительности импульса.

3. Задний фронт отклика МЭП.

На рисунках 3.12 - 13 приведены рассчитанные нормированные спектры мощности ЭМО заднего фронта при воздействии акустическим импульсом частотой 65 кГц.

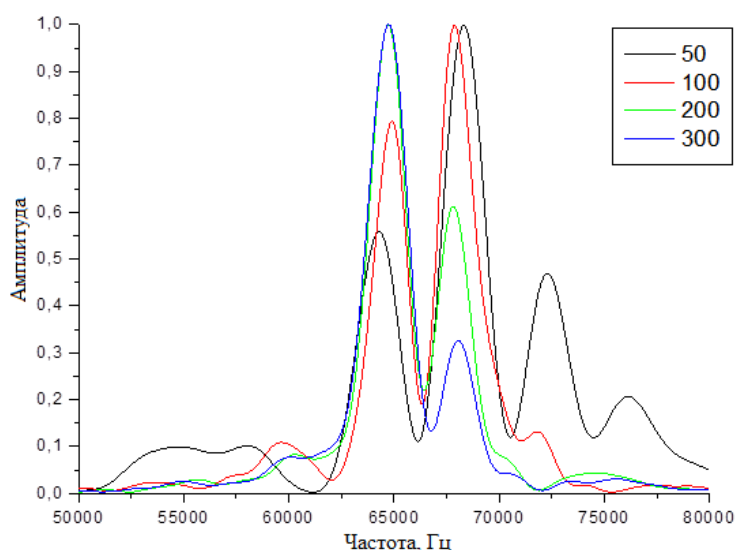


Рисунок 3.12 – Нормированные спектры мощности ЭМ откликов заднего фронта ВР на частоте возбуждения 65 кГц, при разных значениях ДИ.

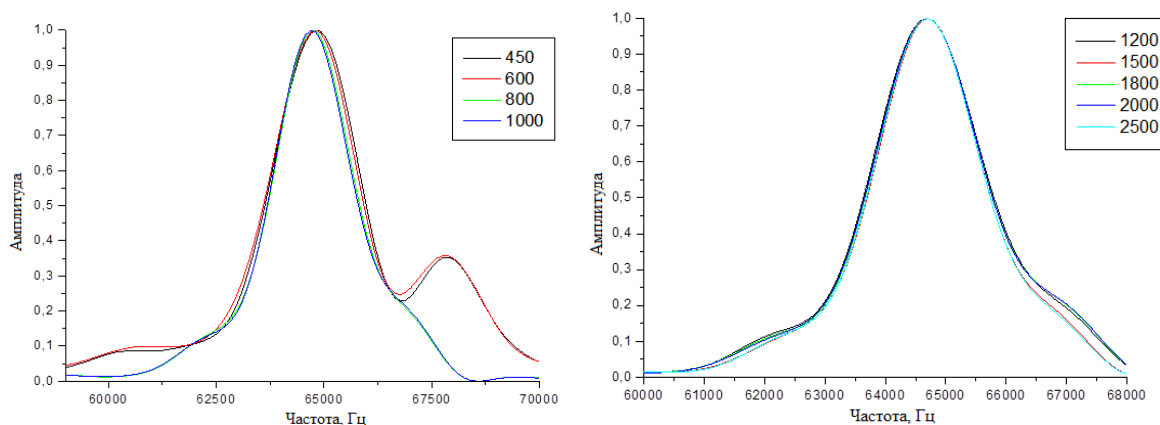


Рисунок 3.13 – Нормированные спектры мощности ЭМ откликов заднего фронта ВР на частоте возбуждения 65 кГц, при разных значениях ДИ.

Как видно из рисунка 3.12, при малых длительностях импульса, а именно до 300 мкс, в спектре наблюдается доминирование двух частот, одна из которых отвечает за собственные колебания образца. По мере увеличения длительности, спектр претерпевает изменения: происходит уменьшение амплитуды второго пика и увеличение первого. Такая тенденция трансформации спектра отклика заднего фронта проявляется до длительности импульса равной 800 мкс (Рисунок 3.13) и связана с уменьшением ширины спектральной полосы возбуждения и соответственно увеличении вклада энергии колебаний на вынуждающей частоте.

В итоге – вид спектральной характеристики отклика определяется частотным диапазоном, задаваемым длительностью импульса возбуждения, параметрами АЧХ ультразвука, набором разрешенных частот в исследуемом образце и используемой геометрией измерений. Вывод: изменение длительности импульса воздействия вызывает перераспределение в спектре отклика МЭП. Сокращение длительности приводит к доминированию в спектре собственных частот.

3.2 Зависимость интегральной энергии электромагнитного отклика от длительности импульса возбуждения

В данном опыте акустический импульс инициировался электрическим гармоническим импульсом с задающего генератора на фиксированных

частотах: 57 кГц, 65 кГц, 74 кГц, 94,5 кГц. Длительность импульсов возбуждения варьировалась от 10 мкс до 100 мкс. Емкостные датчики устанавливались параллельно граням образца №2 размером 87.5×78 мм на расстоянии 1 мм от поверхности. Дальнейшая методика исследования указана в п. 2.3.

На рисунке 3.14 приведено совмещение зависимости интегральной энергии колебаний в отклике от длительности импульса возбуждения (кривая 1) с импульсом напряжения с задающего генератора (кривая 2). При этом максимуму импульса напряжения соответствует максимум сжатия в генерируемой акустической волне, а минимуму импульса напряжения – максимум растяжения. Кривая 1 имеет несколько «ступенек» длительностью равной периоду колебаний с генератора с резким скачком в значениях амплитуды. Скачок амплитуды совпадает с передним фронтом отрицательной полуволны генератора, ответственным за генерацию напряжения растяжения в акустической волне.

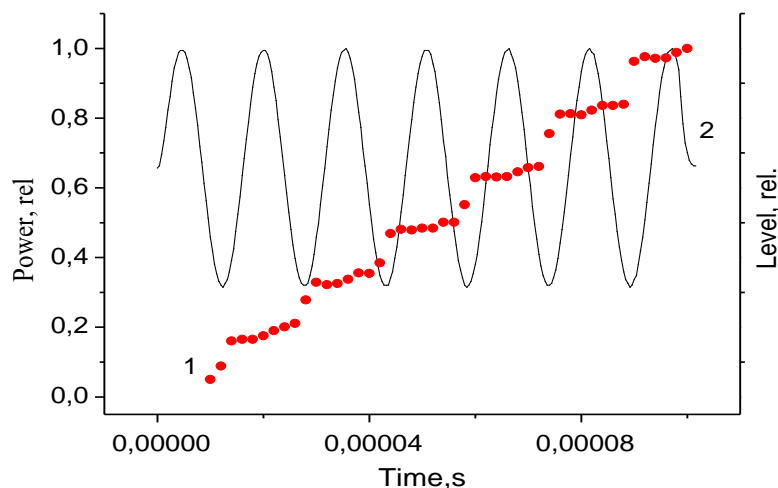


Рисунок 3.14. Зависимость интегральной энергии колебаний в отклике от длительности импульса возбуждения (левая ось) 2 – Форма сигнала импульса возбуждения (правая ось). Частота возбуждения 65 кГц.

На рисунке 3.15 представлены зависимости интегральной энергии колебаний в отклике от длительности импульса возбуждения для частот 94.5 кГц и 57 кГц. Зависимости образованы чередованием участков с плавным

подъемом в течение времени, равному периоду колебаний задающего генератора с резким скачком в значениях амплитуды, совпадающим с возникновением в образце импульса растяжения.

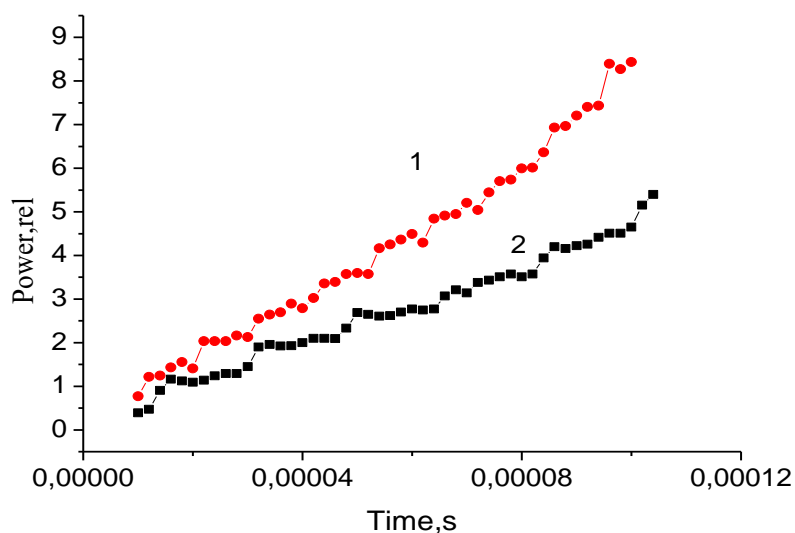


Рисунок 3.15 – Зависимость интегральной энергии колебаний в отклике от длительности импульса возбуждения 1- 94.5 кГц, 2 -57 кГц.

С целью исключения влияния суперпозиции колебаний на вид зависимостей (рисунок 3.14, рисунок 3.15) были проведены контрольные измерения при не дифференциальной схеме, когда измерения проводились одним емкостным датчиком (рисунок 3.16)

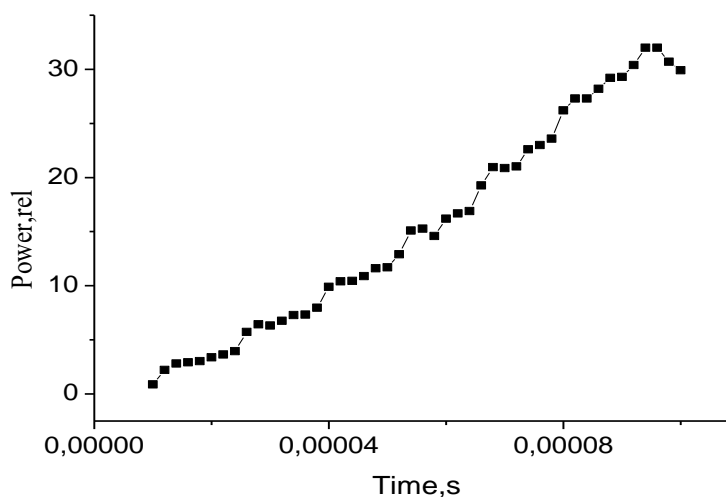


Рисунок 3.16 – Зависимость интегральной энергии колебаний в отклике от длительности импульса возбуждения 74 kHz. Вариант не дифференциального входа усилителя

Видно, что и в этом случае зависимость повторяет особенности зависимостей при дифференциальной схеме измерения. Обращает на себя внимание более выраженный вид ступенек при малых длительностях импульса возбуждения. Вероятно, данная тенденция связана с доминированием в спектре отклика при малых длительностях колебаний на собственных частотах.

3.3 Влияние статического давления на форму и характеристики электромагнитного отклика механоэлектрических преобразований

В данном разделе приведены результаты экспериментальных исследований электромагнитных откликов механоэлектрических преобразований в композитных твердых диэлектриках при разных статических давлениях на заданной частоте возбуждения.

Образец помещался между пуансонами пресса, где производилось его одноосное сжатие. К боковой грани образца прижималось ударное устройство в виде конструкции с пьезоэлектрическим преобразователем.

На пьезопреобразователь подавалась серия коротких электрических импульсов заданной формы и амплитуды, сформированная специальным высокостабильным генератором на частоте 65 кГц.

Длительность импульса возбуждения выбиралась таким образом, чтобы его ЭМО был полностью сформирован тремя участками, и составила 1000 мкс. Периодичность оцифровки составила 1 мкс.

На рисунках 3.17 представлены усредненные ЭМ отклики временной реализации при всех давлениях ранее указанных давлениях.

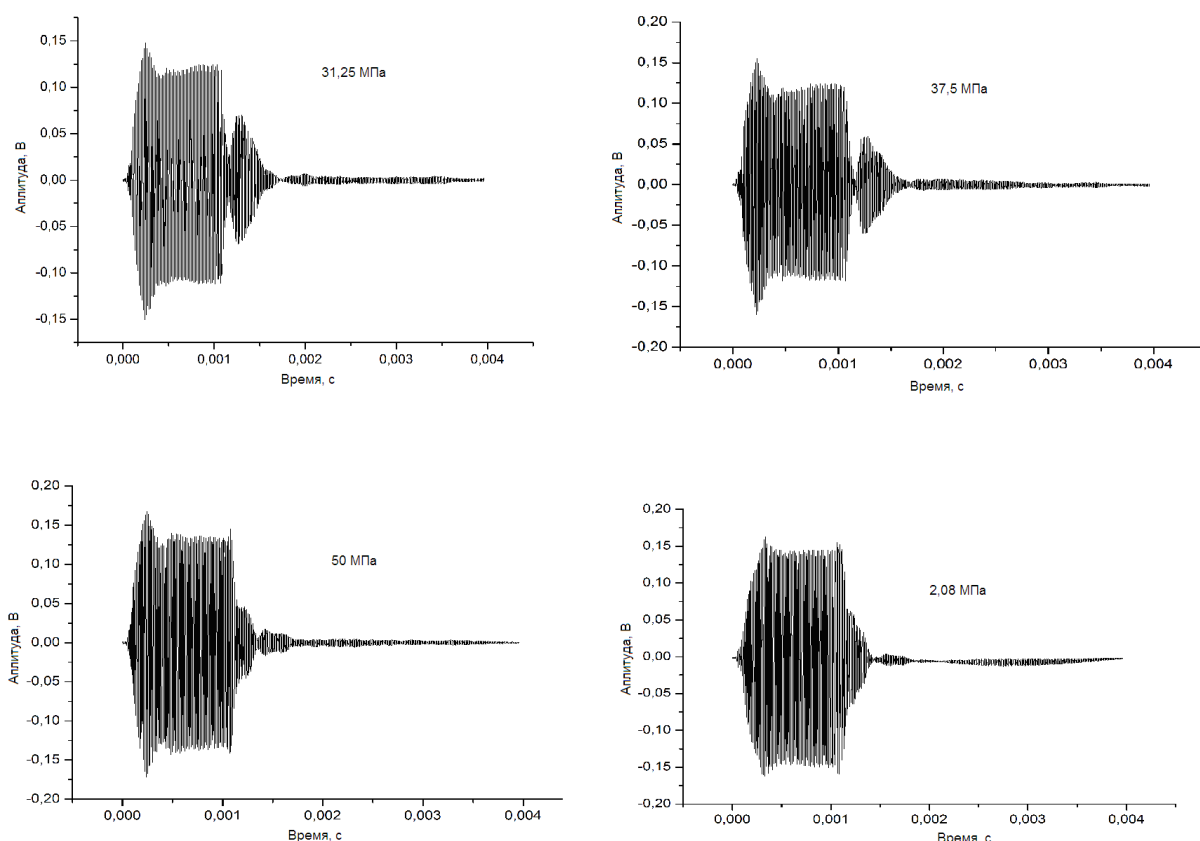


Рисунок 3.17 – Усредненные отклики ВР при одноосном сжатии образца при остальных давлениях (2,08 МПа, 31,25 МПа, 37,5 МПа, 50 МПа)

Для полученных временных реализаций проводился анализ спектральных характеристик, рассчитанных для режима установившихся колебаний (середина импульса), переднего и заднего фронтов при каждой нагрузке.

На рисунке 3.18 изображены графики спектральных характеристик откликов переднего фронта. Как видно, при всех значениях нагрузки в спектре доминируют колебания на частоте, близкой к частоте возбуждения 65 кГц.

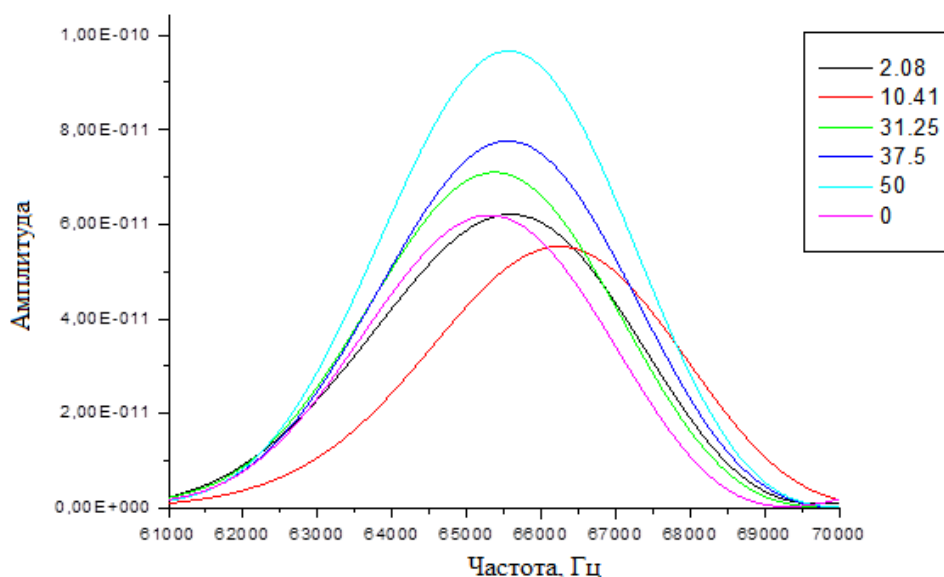


Рисунок 3.18 – Спектры мощности ЭМО переднего фронта ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, ДИ 1000 мкс, при разных значениях давления (2,08 МПа, 10,41 МПа, 31,25 МПа, 37,5 МПа, 50 МПа)

Также имеется тенденция уменьшения амплитуды мощности по мере увеличения нагрузки с 2,08 МПа до 31,25 МПа. При дальнейшем увеличении нагрузки с 31,25 МПа до 50 МПа, происходит обратное явление.

Для более детального анализа спектральной характеристики мощности ЭМО была произведена нормализация полученных данных для приведенных нагрузок. Результат представлен в виде графика на рисунке 3.19.

Как видно из рисунка 3.19, при увеличении нагрузки на образец частота колебаний в отклике смещается, как в сторону уменьшения частоты, так и увеличения. Такие изменения связаны с тем, что по мере увеличения нагрузки в образце происходят различные изменения (геометрические, упругие свойства, коэффициент затухания и т.д.), которые влияют на амплитудно-частотные характеристики откликов.

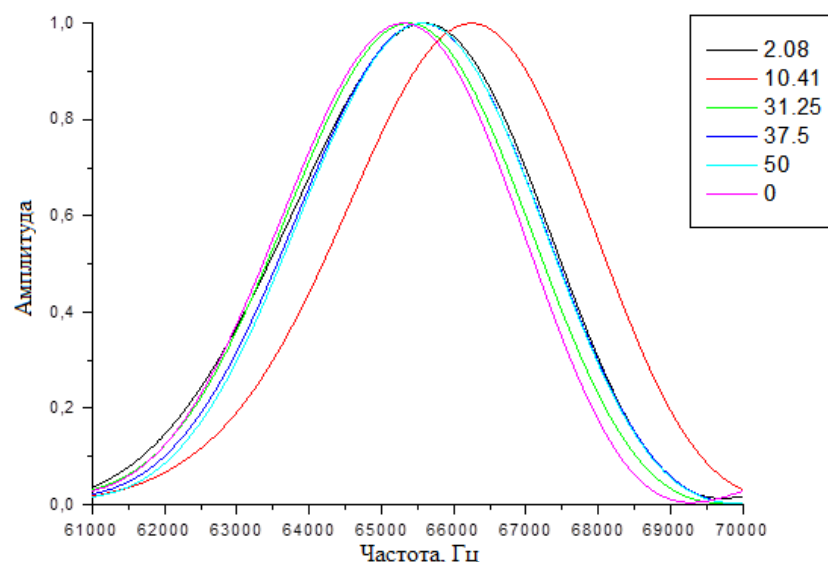


Рисунок 3.19 – Нормализованные спектры мощности откликов переднего фронта ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при разных значениях давлений (2.08 МПа, 10.41 МПа, 31.25 МПа, 37.5 МПа, 50 МПа)

На рисунках 3.20 и 3.21 приведены спектры откликов МЭП и нормализованный спектр мощности для середины отклика. Для данного участка также наблюдается трансформация спектра в виде изменения амплитуды спектра так и смещения частоты колебаний относительно частоты возбуждения.

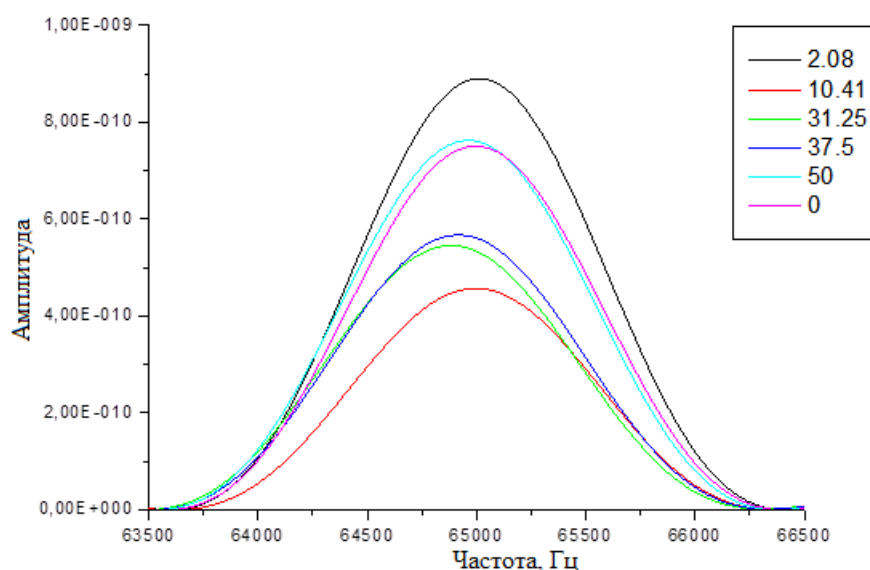


Рисунок 3.20 – Спектр середины ВР при всех значениях давления. Длительность импульса 1000 мкс, частота импульса возбуждения 65 кГц

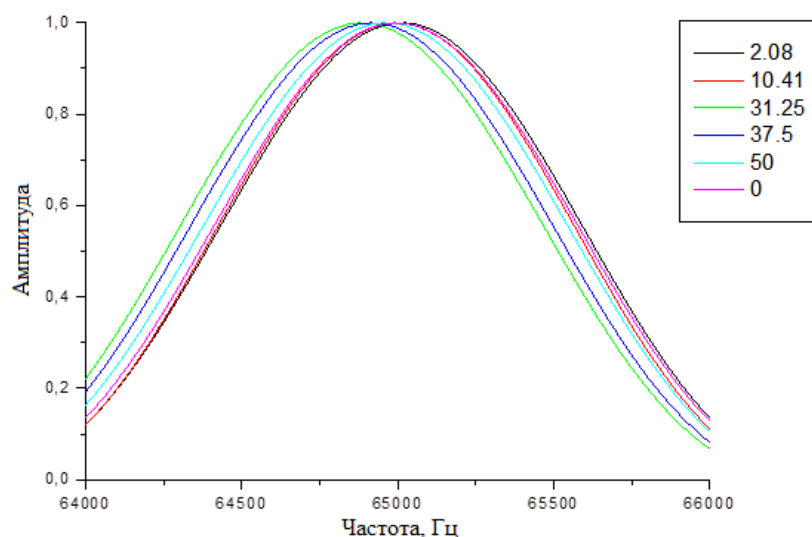


Рисунок 3.21 – Нормализованные спектры мощности откликов середины ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при разных значениях нагрузки (2.08 МПа, 10.41 МПа, 31.25 МПа, 37.5 МПа, 50 МПа, 0 МПа)

Как следует из рисунка 3.21, по мере увеличения давления на образец частота ЭМ отклика как увеличивается, так и уменьшается:

1. При давлении 2,08 МПа – частота максимума в спектре 65023 Гц
2. При давлении 10,41 МПа – частота максимума в спектре 65023 Гц
3. При давлении 31,25 МПа – частота максимума в спектре 64870 Гц
4. При давлении 37,5 МПа – частота максимума в спектре 64910 Гц
5. При давлении 50 МПа – частота максимума в спектре 64985 Гц

Также для данного участка (середины отклика) была определена спектральная ширина отклика на высоте равной 0,7 от максимума. Результат представлен в таблице 3.2:

Таблица 3.2. Спектральная ширина при разных значениях нагрузок.

Нагрузка, МПа	Частота мин на уровне 0,7, Гц	Частота макс на уровне 0,7, Гц	Спектральная ширина, Гц
2,08	64555	65470	830
10,41	64545	65445	745
31,25	64425	65343	815
37,5	64458	65374	800
50	64500	65421	770
0	64535	65455	820

По мере увеличения давления на испытуемый образец ширина спектральной полосы для середины ЭМО меняется незначительно.

В работе также проводились исследования влияния времени воздействия статических одноосных нагрузок на спектральные характеристики ЭМО МЭП. Испытания проводились следующим образом. Образец подвергался одноосному сжатию фиксированным давлением в течение полутора часов. В течение этого времени с интервалом 20 минут измерялись временные реализации. Типичные спектры приведены на рисунках 3.22 и 3.23.

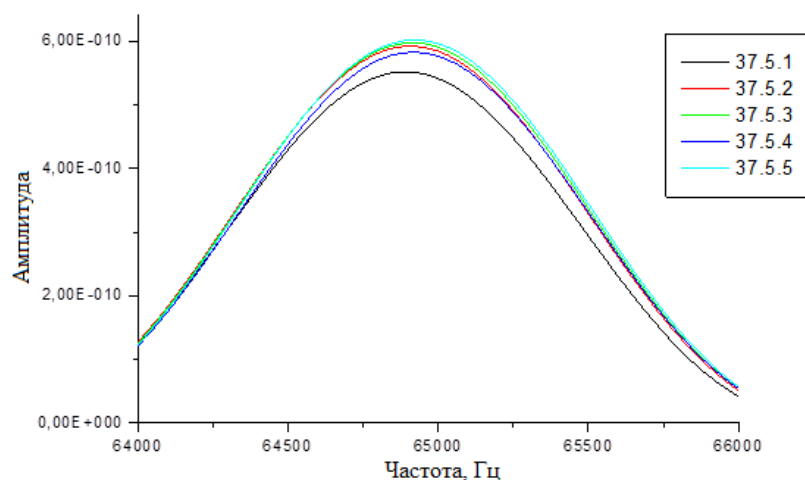


Рисунок 3.22 – Спектр середины ВР при давлении 37.5 МПа. Длительность импульса 1000 мкс, частота импульса возбуждения 65 кГц.

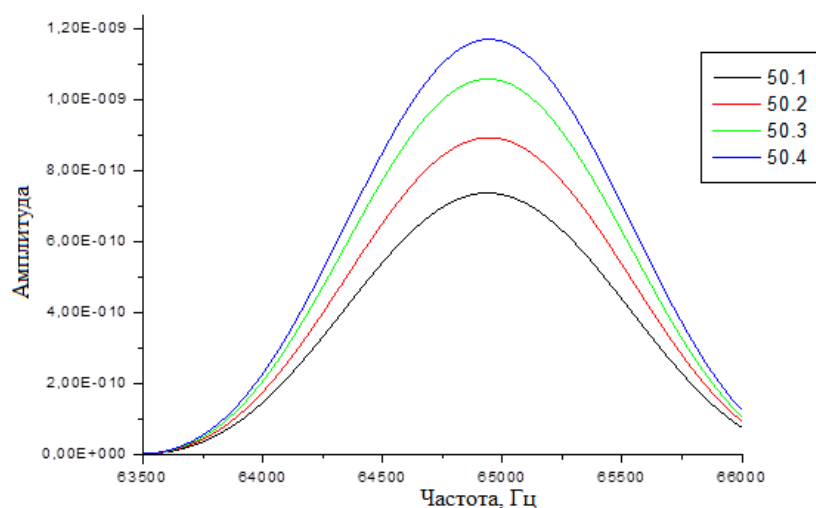


Рисунок 3.23 – Спектр середины отклика при давлении 50 МПа. Длительность импульса 1000 мкс, частота импульса возбуждения 65 кГц.

Из приведённых графиков в итоге имеем, существование влияния длительности нагрузки на параметры откликов. Причем, при одинаковой длительности воздействия статических нагрузок более заметные изменения в откликах происходят при больших нагрузках.

Далее, в данной работе была рассмотрена спектральная характеристика заднего фронта ЭМ отклика.

Задний фронт отклика формируется после окончания внешнего воздействия на исследуемый образец, в течение которого совершаются свободные затухающие колебания. Релаксация колебаний происходит за счет рассеяния энергии возбуждения на неоднородностях, дефектах, границах раздела сред с формированием низкочастотных гармоник со своими временами релаксации. При этом возникает широкий спектр собственных колебаний, продолжающихся продолжительное время после прекращения акустического импульса. Для более подробного описания задний фронт был разделен на два временных интервала. Рассчитанные нормированные спектры для каждого участка представлены на рисунках 3.24-3.25.

Интервал, по длительности равный длительности переднего фронта, под действием статической нагрузки по своим АЧХ практически ничем не отличается от АЧХ переднего фронта.

Длительность второго интервала составила 300мкс. Далее полезный сигнал скрыт шумами. Этот участок отклика характеризуется более сложным спектром с постепенным смещением основных максимумов с увеличением нагрузки в более низкочастотную область.

Рассчитанные нормированные спектры для каждого участка представлены на рисунках 3.24-3.25.

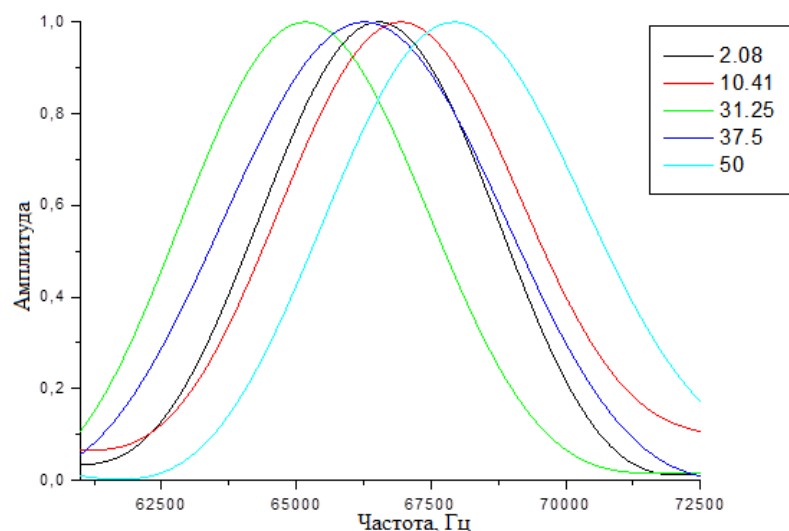


Рисунок 3.24– Нормированные спектры мощности откликов заднего фронта на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при разных значениях нагрузки (2,08 МПа, 10,41 МПа, 31,25 МПа, 37,5 МПа, 50 МПа)

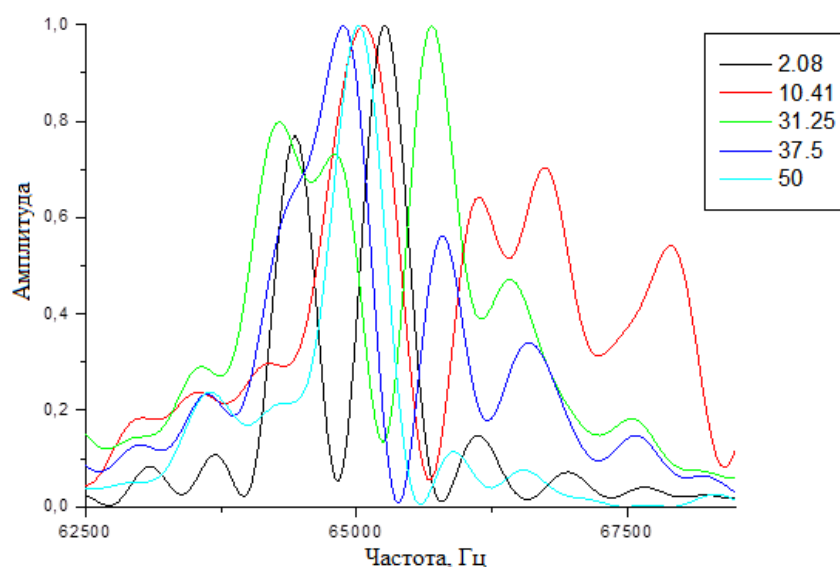


Рисунок 3.25 – Нормированные спектры мощности откликов заднего фронта на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при разных значениях нагрузки (2,08 МПа, 10,41 МПа, 31,25 МПа, 37,5 МПа, 50 МПа)

Также для заднего фронта был проведен анализ АЧХ откликов, полученных при выдержке образцов под нагрузкой для двух давлений 37,5 МПа и 50 МПа. Регистрация отклика производилась 4-5 раз (а) через 1 час.

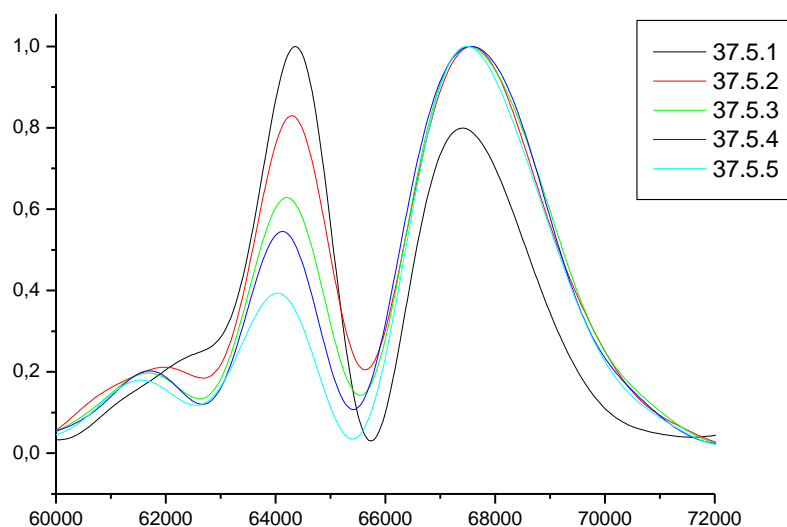


Рисунок 3.26 – Нормализованные спектры мощности откликов заднего фронта ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при нагрузке 37,5 МПа

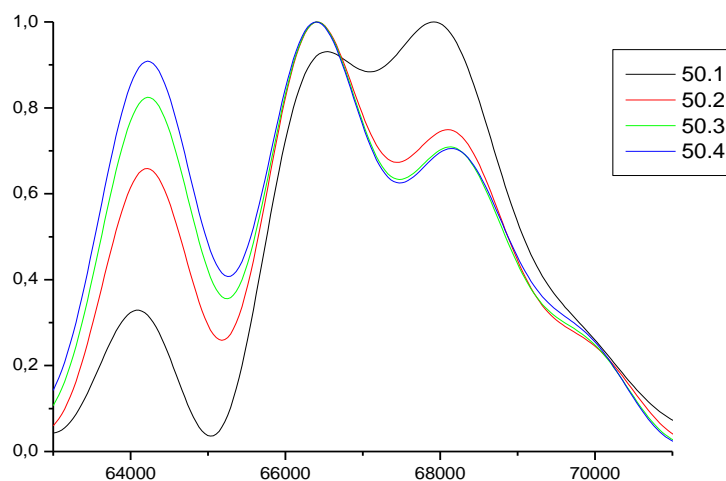


Рисунок 3.27 – Нормализованные спектры мощности откликов заднего фронта ВР на частоте импульса возбуждения 65 кГц, при нагрузке 50 МПа

Данные представлены на рисунках 3.26 и 3.27. Как видно из рисунка, при обоих давлениях в спектре наблюдается 2 ярко выраженных пика (при давлении 37,5 МПа: первый пик на частоте 64366 Гц, второй – 67361 Гц; при давлении 50 МПа: первый пик на частоте 64218 Гц, второй – 66363 Гц). Со временем выдержки под давлением 37.5 МПа амплитуда первого пика уменьшается, а второго увеличивается. При давлении 50 МПа, происходит увеличение амплитуды сразу 2 пиков.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Потенциальные потребители результатов исследования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации имеющие отношение к производству приборов ориентации. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

Технология QuaD.

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

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

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

Таблица 4.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Доступность (понятность)	0,2	95	100	0.95	19
2. Удобство использования	0,1	90	100	0.9	9
3. Простота	0,1	80	100	0.8	8
4. Надежность	0,05	75	100	0.75	3,75
5. Полнота изложения	0,03	55	100	0.55	1,65
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0,15	85	100	0.85	12,75
7. Перспективность рынка	0,02	35	100	0.35	0,7
8. Цена	0,05	75	100	0.75	3,75
9. финансовая эффективность научной разработки	0,2	95	100	0,95	19
10. Наличие сертификации разработки	0,1	80	100	0,8	8
Итого	1	765	1000	7,65	85,6

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле: $P_{cp} = \sum B_i * B_i$ (4.1)

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i-го показателя.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что перспективность проделанного исследования выше среднего.

SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, метода и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 4.2. Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Наличие опытного руководителя</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Наличие современного программного продукта</p> <p>С5. Актуальность проекта</p> <p>С6. Экологичность исследования</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Высокая стоимость мультисенсорной системы</p> <p>Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p> <p>Сл4. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство «под ключ»</p>
<p>В1. Сотрудничество с зарубежными профессорами в этой области</p> <p>В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>- Возможность создания партнерских отношений с рядом ведущих вузов для совместных исследований дефектности материалов с помощью мультисенсорной системы</p> <p>- При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами.</p>	<p>- Снижение цен на мультисенсорные системы</p> <p>- Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.</p>
<p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства .</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>- Повышение квалификации инженеров, т.к. тема актуальна.</p>	<p>- Расширение области применения за счет разработки новых технологий.</p>

Интерактивные матрицы проекта исследования представлены в таблицах 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	-	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	+
	B3	+	0	+	+	+	+
	B4	-	-	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C2C3C4C5C6, B2C1C2C3C4C5C6, B3C1C3C4C5C6, B4C3C4C5C4.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	-	-	-
	B2	+	+	+	0
	B3	0	-	-	-
	B4	-	0	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1, B2Сл1Сл2Сл3.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта							
Угрозы Проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	-	-	-	+	+	-
	У2	+	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1С4С5, У4С1, У3С4С6.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	+
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3Сл4, У3Сл3.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 4.7 – Морфологическая матрица для анализа

	1	2	3
А. Методы ударного воздействия	Ударный импульс	Упругий отскок	Пластическая деформация
Б. Диагностические системы	Bosch	SPM Instrument	QNAP
В. Подаваемая мощность генератора	Малая мощность	Средняя мощность	Высокая мощность
Г. Материал образца	Бетон	Железобетон	Смесь бетона и песка

Возможные варианты решения технической задачи:

1. А1Б2В2Г3 - наиболее дешевый; первая комбинация отличается простотой реализации, наименьшими затратами ресурсов, дешевизной выполнения работы. В следствии чего получится дешевая, но низкокачественная работа.

2. А2Б3В3Г2 - затратный; вторая комбинация является самой ресурсозатратной, вследствие всего и самой дорогой, но самой качественной и удобной для восприятия ее пользователем.

3. А1Б2В2Г3 - универсальный; третья комбинация является универсальной. Полученная работа будет выполнена без лишних затрат и является средней по качеству.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный рук., Студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение влияния объемной дефектности на пространственно-временные характеристики	
Практические исследования	9	Исследование дефектообразования диэлектрических материалов под нагрузкой.	Студент
	10	Изучение результатов проведенной исследования	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный рук., студент
	12	Заключение	Научный рук., студент

Определение трудоемкости выполнения работ рассчитывается по формуле:
$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i} \quad (4.3)$$

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

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

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

Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал} \quad (4.4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

В свою очередь коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4.5)$$

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

$T_{вых} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = 1.48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 4.9 (приложение Б).

После заполнения таблицы 4.9 строим календарный план-график (табл. 4.10 – приложение В). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расхи}}, \quad (4.6)$$

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

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


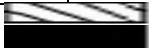

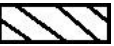



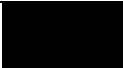




C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} чел-дни			t_{max} чел-дни			$t_{ожи}$ чел-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3							
Составление и утверждение темы технического задания	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Проведение патентных исследований	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Проведение теоретических расчетов и обоснований	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент	4	6	6	6	9	9
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент	2	3	4	3	5	6
Выбор и расчет конструкции	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Составление пояснительной записки	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Составление пояснительной записки (графического материала)	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№Ра бот	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} ,ка л.дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3									
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2									
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3									
6	Изучение литературы по теме	Студент	15									
7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студ.-рук.	5									
8	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент	6									
9	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Студент	3									
10	Выбор и расчет конструкции	Студент	3									
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студ.-рук.	3									
12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации, графического материала)	Студент	4									

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Итого								2852	2219,5	2135,5

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выносной блок	1	1	1	61	68	65	70,15	78,2	74,75
2.	Генератор сигнала	1	1	1	46	71	58	52,9	81,65	66,7
3	Усилитель генератора	1	1	1	103	221	153	118,45	254,15	175,95
4	Многоканальное устройство	-	1	1	-	42	42	-	48,3	48,3
5	Ноутбук с прог. обеспеч.	1	1	1	47	47	47	54,05	54,05	54,05
6	Образец	1	1	1	1	2,5	2	1,15	2,875	2,3

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо- емкость, чел.- дн.			Заработная плата, прихо- дящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего зара- ботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководител ь	2	2	2	3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководител ь	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководител ь	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Выявление достоинств и недостатков теорети- ческих средств	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Выявление достоинств и недостатков практи- чески используемых	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Изучение	Студент	2	3	3	0,8			1,8	2,7	2,7
11.	Анализ результатов	Студ-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8
12.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8			2,7	2,7	2,7
Итого:									79,7	84,2	85,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.7)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (4.8)$$

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

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.10)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 3745306,5 \cdot 0,16 = 599249,2$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	2852	2219,5	2135,5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	296700	519225	422050
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212
5. Отчисления во вне бюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5
6. Накладные расходы	599249,2	747532,7	392182,64
7. Бюджет затрат НИИ	1012255	1388837	934509

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{1012255}{1388837} = 0,72; I_{финр}^{исп1} = \frac{1388837}{1388837} = 1; I_{финр}^{исп1} = \frac{934509}{1388837} = 0,67$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4.12)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.16).

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	3	5	5
2. Универсальность	0,2	5	3	4
3. Уровень материалоемкости.	0,15	4	5	4
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	5	5
5. Ремонтопригодность	0,1	5	4	5
6. Энергосбережение	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	4,5	4,2	4,0

$$I_{p-исп1} = 3 * 0,2 + 5 * 0,2 + 4 * 0,15 + 4 * 0,2 + 5 * 0,1 + 5 * 0,15 = 4,0$$

$$I_{p-исп2} = 5 * 0,2 + 3 * 0,2 + 5 * 0,15 + 5 * 0,2 + 4 * 0,1 + 5 * 0,15 = 4,2$$

$$I_{p-исп3} = 5 * 0,2 + 4 * 0,2 + 4 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,1 + 4 * 0,1 = 4,5$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi.} = \frac{I_{p-испi}}{I_{исп.i}^{финр}}, \quad (4.13)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,0}{0,72} = 5,5; I_{исп2} = \frac{4,2}{1} = 4,2; I_{исп3} = \frac{4,5}{0,67} = 6,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 4.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{испi}}{I_{исптах}} \quad (4.14)$$

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,2	4,0
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,2	6,89
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,82	0,62	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Глава 5. Социальная ответственность

Социальная безопасность рабочих и инженерно-технического персонала на предприятиях является неотъемлемой частью при организации технологического процесса и предусматривает выполнение ряда требований, предписываемых общепринятыми и специальными правилами. Выполнение правил и норм при охране труда является необходимым и обязательным требованием в производственном процессе.

Цель данной выпускной квалификационной работы заключается в исследовании электромагнитной эмиссии из композитных диэлектриков при акустическом и статическом воздействии. В лабораторных экспериментах производилось одноосное сжатие образцов. Обработка полученных сигналов производилась с помощью специального программного обеспечения.

5.1 Производственная безопасность.

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по исследованию электромагнитной эмиссии приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Опасные и вредные факторы

Источник фактора	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа в помещении: 1)использование прессы; 2) работа приборами и установкой, подключающихся к сети с напряжением 220 Вольт; 3) работа с персональным компьютером	1.превышение уровней шума; 2.недостаточная освещенность 4.повышенный уровень электромагнитных излучений	1.поражение электрическим током	1.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ 2. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ 3. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 4. ГОСТ Р 55710-20135 5. СанПиН 2.2.4.1191–03

5.1.1 Мероприятия по электробезопасности

Основными причинами поражения электрическим током являются:

- удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов;
- присоединение к незаизолированным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.);
- ошибочно поданное напряжение на рабочее место;
- появление напряжения на корпусе оборудования, которое в нормальных условиях не находится под напряжением.

Электробезопасность в процессе исследования должна обеспечиваться следующими мероприятиями:

- для защиты от напряжения прикосновения все токоведущие части должны быть изолированы; запрещается использовать кабели и провода с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; незаизолированные токоведущие части должны быть оборудованы защитными ограждениями или расположены в недоступном для прикосновения месте; запрещается пользоваться поврежденными розетками, распределительными коробками, рубильниками и другими электроустановочными приборами; устройство и эксплуатация временных электросетей не допускается;

- для защиты от поражения электрическим током путем возникновения потенциала на проводящих корпусах электроприборов необходимо наличие защитного заземления; согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 4 Ом, при этом сечение заземляющей жилы должно быть не менее 4 мм² для медных проводников, не менее 6 мм² – для алюминиевых и не менее 20 мм² – для стальных;

- для защиты от токов короткого замыкания необходимо наличие быстродействующих устройств защиты; электрическая сеть должна иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности; в качестве

аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители.

При работе в лаборатории, с целью обеспечения электробезопасности пользователей компьютеров, должны выполняться следующие требования:

- все узлы одного персонального компьютера и подключенное к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для аварийного отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит с автоматами защиты и общим рубильником;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключенном электропитании.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горячей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;
- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

5.1.2 Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения

В соответствии с СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 в лабораториях: органической и неорганической химии, термических, физических, спектрографических, стилометрических, фотометрических, микроскопных, рентгеноструктурного анализа, механических и радиоизмерительных, электронных устройств, препаратных, средняя освещенность должна быть не менее 400 лк.

Согласно СНиП 23-05-95* (СП 52.13330.2011), в процессе выполнения экспериментальной части выпускной квалификационной работы магистра, производились зрительные работы, относящиеся к 3 разряду – высокая точность, наименьший размер объекта различения 0,3 – 0,5 мм, подразряд работы – в, контраст объекта различения с фоном – большой, характеристика фона – темный. Необходимо создать комбинированную освещенность 400 лк для указанной категории работ. Значение показателя ослеплённости (Р) не более 20, а коэффициента пульсации (Кп) не более 15 %.

Коэффициент естественного освещения (КЕО) при верхнем или комбинированном освещении должен быть равен 3%, при боковом – 1,2%.

5.1.3 Мероприятия по борьбе с производственным шумом

На рабочем месте шум возникает в основном при работе ламп импульсного нагрева, вентиляции персонального компьютера и при воздействии внешних факторов.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Согласно пункту 5.3.1 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 для рабочих мест в помещениях «... проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных...», предельно допустимый уровень звукового давления составляет $L_{max} = 60$ дБ. Средний уровень шума, создаваемый компьютером, составляет 35 дБ, иными словами, шум, создаваемый работой компьютеров, по своим характеристикам удовлетворяет санитарным нормам.

Для борьбы с шумом в помещениях должны проводиться мероприятия как технического, так и медицинского характера. Основными из них являются:

- устранение причины шума, т. е. замена шумящего оборудования, механизмов на более современное оборудование, которое менее шумное;
- применение рациональной планировки помещений;
- использование средств автоматики для управления и контроля технологическими производственными процессами;
- соблюдение режима труда и отдыха.

5.1.4 Мероприятия по обеспечению электромагнитной безопасности

Основными источниками электромагнитного излучения являются осциллограф, компьютер, источник питания электромагнитного датчика, а также гидравлический пресс. Минимальное влияние среди всех источников оказывает осциллограф и источник питания, т.к. приборы полностью

экранированы материалом, имеющий низкое электросопротивление, который в свою очередь отражает вредное излучение.

Из за воздействия электромагнитных полей и излучений на человека могут возникнуть проблемы полностью со всем организмом, а особенно с нервной системы, так как она является самой чувствительной к электромагнитному воздействию. Также весьма негативна реакция иммунной системы на электромагнитные поля.

Согласно СанПиН 2.2/2.2.1340-временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, составляют:

- напряженность ЭП в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 25 В/м;
- напряженность ЭП в диапазоне частот 2 кГц - 400кГц – 2,5 В/м;
- плотность МП в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 250 нТл;
- плотность МП в диапазоне частот 2 кГц - 400кГц – 25 нТл;
- электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

Существует несколько основных мероприятий по защите от электромагнитных излучений на рабочем месте:

- экранирование источника излучения и рабочего места (активное и пассивное; источника электромагнитного излучения или же объекта защиты; комплексное экранирование);
- уменьшение излучения от источника;
- конструктивное совершенствование оборудования с целью снижения используемых уровней ЭМП, общей потребляемой и излучаемой мощности оборудования;
- поглощение или уменьшение образования зарядов статического электричества.

5.1.5 Мероприятия по обеспечению безопасности оборудования для работников

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 «производственное оборудование» должно обеспечивать безопасность сотрудников при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации, как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией.

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации.

Конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность работникам.

Если возможно возникновение нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, то производственное оборудование должно быть оснащено устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а такие детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций.

Конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа). Если из-за формы производственного оборудования, распределения масс отдельных его частей и (или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления, о чем эксплуатационная документация должна содержать соответствующие требования.

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих.

Перед началом выполнения работ должны быть проведены организационные мероприятия, важным из которых является проведение инструктажей для работников.

5.1.6 Вредные вещества

1. Эпоксидная смола имеет в своем составе такие компоненты, как эпихлоргидрин и толуол. Данные вещества могут проникнуть в организм человека двумя способами: ингаляционный и кожный. Эпихлоргидрин при высоких концентрациях может вызвать изменения в легких и печени. Толуол оказывает раздражающее действие на кожу и может вызвать острое отравление (ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ).

Предельно допустимые нормы данных веществ представлены в таблице 3 [4].

Таблица 5.2 – Предельно допустимые нормы эпихлоргидрина и толуола

Наименование показателя	Норма для летучих веществ	
	эпихлоргидрин	толуол
Допустимая концентрация, мг/м ³	1,0	50,0

Для предотвращения попадания летучих и нелетучих веществ в организм, необходимо, чтобы производственное помещение было оснащено вытяжной вентиляцией. В целях ограничения контакта кожи рук с эпоксидной смолой работники должны быть обеспечены перчатками.

5.2 Экологическая безопасность

При проведении экспериментов были использованы эпоксидная смола и кварцевый песок. Для снижения влияния выделяющихся вредных летучих веществ на окружающую среду рабочее помещение оснащено вентиляцией.

Отходы эпоксидных материалов и кварцевого песка собирались в специально закрытые емкости и выносились из помещения для уничтожения в отведенные для этого места.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании ЭМЭ

К наиболее вероятным ЧС, которые может инициировать объект или которые могут возникнуть при исследовании объекта можно отнести электрическое замыкание и, как следствие, пожар. Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушение изоляции электрооборудования. Нарушение изоляции вызывается:

- перенапряжениями;
- старением изоляции;
- механическими повреждениями изоляции;
- неудовлетворительным уходом за оборудованием;
- неквалифицированными действиями обслуживающего персонала.

5.3.2 Мероприятия по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

При возгорании, возникновении пожара (основная причина – короткое замыкание), необходимо отключить электрические устройства работающие от электросети (если это сделать невозможно, то необходимо отключить питающую сеть автоматическим или пакетным выключателем, или

рубильником на лабораторном или силовом щите), вызвать пожарную команду и приступить к тушению пожара имеющими средствами пожаротушения. Следует помнить, что для тушения пожара на установках, находящихся под напряжением, можно пользоваться только углекислотным или порошковыми огнетушителями. При сильном возгорании, пожаре необходимо срочно вызвать электрика и обесточить помещение, после чего для тушения пожара можно использовать пенные огнетушители и воду.

5.3.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К общей части нормативно-правовых основ охраны труда относится: Трудовой Кодекс Российской Федерации.

Контроль условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Данный контроль заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в первую очередь несет руководитель.

Службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы.

5.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Компоновка рабочей зоны — это комплекс мероприятий, обеспечивающих рациональный трудовой процесс и эффективное использование средств и предметов труда.

Рациональная организация рабочего места осуществляется с учетом требований производственной санитарии и требований ГОСТ «Системы стандартов безопасности труда» (ССБТ). При этом необходимо обеспечить: правильную планировку рабочего места и рациональное оснащение его соответствующим современным оборудованием и оргтехоснасткой; оптимальное пространственное расположение материальных средств производства и правильное его обслуживание, а также рациональную цветовую окраску оборудования и приспособлений и нормированное освещение.

Планировка рабочего места должна предусматривать:

- а) возможность выполнения рациональных движений, необходимых для осуществления трудового процесса;
- б) наиболее экономное использование производственных площадей и сокращение путей транспортировки материалов;
- в) рациональное расположение оборудования и оснастки в соответствии с последовательностью технологического процесса, возможность экономных движений оператора (станочника) для осуществления трудового процесса и его безопасность.

При разработке планировки должны быть учтены общие антропометрические и физиологические данные человека.

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя, или в положениях и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;

- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено:

- Изменение длительности импульса воздействия вызывает перераспределение в спектре отклика МЭП. При длительности до 300 мкс в АЧХ существенный вклад вносят собственные частоты.
- Определяющий вклад в формирование отклика МЭП создаётся импульсами растяжения.
- Одноосное сжатие образцов композитов приводит к изменениям в амплитудно-частотных характеристиках отклика. Для данной геометрии возбуждения и регистрации по мере увеличения давления на образец наибольшие изменения происходят в спектре свободных колебания, эффективно проявляющихся после окончания внешнего воздействия.

Список публикаций студента

1. Жанчипов Б.Д. Исследование электромагнитной эмиссии из композитных диэлектриков при воздействии акустическим импульсом. Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов 4 Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых в 3-х т., Томск, 5-10 октября 2015. – Томск: ТПУ, 2015 – Т. 1. – с. 75-78.
2. V. P. Surzhikov, L. V. Yavorovich, B. D. Zhanchipov. Determining the effect of the duration of alternating acoustic excitation on electromagnetic response parameters of the composite / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 110 : Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials (RTEP2015). — [012104, 5 p.]. — Title screen.
3. Жанчипов Б.Д. Модели разрушения материалов. Неразрушающий контроль: сборник трудов 5 Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск 25-29 мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – Т. 1 – С. 40-41.

Список использованных источников

1. Куксенко В.С. Модель перехода от микро- к макроразрушению твердых тел // Физика прочности и пластичности. – Л.: Наука, 1986. – С. 36-41.
2. Журков С.П., Куксенко В.С., Петров В.А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 259, № 6. — С. 1350— 1353.
3. Гор А.Ю., Куксенко В.С., Томилин Н.Г., Фролов Л.И. Концентрационный порог разрушения и прогноз горных ударов. // ФТПРПИ. — 1989. — № 3. — С. 54—60.
4. Суржиков А.П., Суржиков В.П., Хорсов Н.Н., Хорсов П.П. Мультисенсорная аппаратура контроля дефектности и напряженно-деформированного состояния гетерогенных диэлектрических структур// монография Томского Политехнического университета, 2014. С. 7 – 11.
5. Дамаскинская Е.Е., Кадомцев А.Г. Отклонение от закона Гутенберга–Рихтера. // Письма в ЖТФ. 2013. том 39. вып. 2
6. Алейников А.Л., Беликов В.Т., Немзоров Н.И. Акустическая эмиссия в гетерогенных средах. -Дефектоскопия, 1993, № 3, с. 31-36.
7. Карабутов А.А., Кобелева Л.И., Подымова Н.Б., Чернышова Т.А. Лазерный оптико-акустический метод локального измерения упругих модулей композиционных материалов, упрочненных частицами. // Электронный журнал «Техническая акустика» <http://www.ejta.org>, 2008, 19
8. Воллбрандт М., Хрусталеv Ю.А., Линке Э.И. и др. Генерирование электронов высоких энергий при разрушении твердых тел. // ДАН СССР. - 1975. — Т. 225, № 2. — С. 342—344.
9. Корнфельд М.Н. Электризация ионного кристалла при расщеплении. // ФТТ. — 1974. — Т. 16, вып. 11. — С. 3385—3387.
10. Кротова Н.А., Карасев В.В. Исследование электронной эмиссии при раскалывании твердых тел в вакууме // Докл. АН СССР. — 1953. — Т. 92, №3, —С. 607—610.

11. Перельман М.Е., Хатиашвили Н.Г. О радиоизлучении при хрупком разрушении диэлектриков // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 256, № 4. — С. 824—826
12. Воробьев А.А., Завадовская Е.К., Сальников В.Н. Исследование радиоизлучения, вызванного нагреванием слюды в вакууме / Тез. докл. 4 Всесоюзного симпоз. по механоэмиссии и механохимии твердых тел. - М.: Наука, 1973 – С. 72-73
13. Воробьев А.А., Завадовская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводности и радиоизлучение горных пород и минералов при физикхимических процессах в них // ДАН СССР. - 1975. - Т. 220. - №1. – С. 82-85.
14. Воробьев А.А., Сальников В.Н., Коровкин М.В., Наблюдения радиоимпульсов при нагревании кристаллов и минералов в вакууме // Изв. ВУЗов. Сер. Физика. - 1975. - №7. - С. 59-64.
15. Молоцкий М.И. Дислокационный механизм электризации ионных кристаллов при расщеплении // ФТТ. — 1986. — Т. 18, вып. 6. — С. 1763—1764.
16. Перельман М.Е., Хатиашвили Н.Г. Генерация электромагнитного излучения при колебаниях двойных электрических слоев и его проявления при землетрясениях // Докл. АН СССР. — 1983. — Т. 271, № 1. — С. 80—83.
17. Карабутов А.А., Марков В.А., Черепецкая Е.Б., Шкуратник В.Л. Лазерно-ультразвуковая спектроскопия горных пород. — М.: Изд. Моск. гос. горного ун-та, 2008. — 175 с.
18. Гершензоп Н.И., Зилпилшани Д.О., Манджгаладзе П.В. и др. Электромагнитное излучение вершины трещины при разрушении ионных кристаллов // Докл. АН СССР. — 1986. — Т. 228, № 1. — С. 75—78.
19. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Герасимович Е.А., Матвеев И.В. Оперативные электромагнитные предвестники землетрясений. — М.: Науки, 1985. — 115 с.

20. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмoeлектромагнитные явления. — М.: Наука, 1988. — 175 с.
21. Головин Ю.И., Дьячек Т.П., Усков В.И., Шибкое А.А. Электромагнитное излучение деформированных щелочно-галогидных кристаллом II ФТТ. — 1985. — Т. 27, вып. 2. — С. 555—557.
22. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. М.А. Садовского. — М.: Наука, 1982. — 89 с.
23. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 259, № 6. — С. 1350—1353.
24. Гор А.Ю., Куксенко В.С., Томилин Н.Г., Фролов Д.И. Концентрационный порог разрушения и прогноз горных ударов // ФТПРПИ. — 1989. — № 3. — С. 54—60.
25. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Наука, 1975. — 255 с.
26. Панасюк В.В., Колодий Б.И. Теоретическое исследование электромагнитного излучения при развитии круговой трещины в диэлектрике // Физико-химическая механика материалов. — 1983. — №5. — С. 72—75.
27. Корнейчиков В.П. Исследование механизма формирования электромагнитного излучения горных пород в связи с прогнозированием землетрясений: Автореферат дис. канд. физ.-мат. наук. — М., 1984. — 17 с.
28. Колмаков В.В. Разработка метода и аппаратуры контроля трещинообразования в горных породах по параметрам естественного электромагнитного излучения: Автореф. дис, ... канд. тех. наук. — Кемерово, 1989—18 с.
29. Шведов И.М. Разработка способа прогнозирования выбросоопасности карналлитовых пластов по их электромагнитному излучению: Автореф. дис. канд. тех. наук. — М., 1986. — 14 с.

30. Гончаров А.И., Корявое В.П., Кузнецов В.И. и др. Акустическая эмиссия и электромагнитное излучение при одноосном сжатии // Докл. АН СССР. — 1980. — Т. 255, № 4. — С. 821—824.
31. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. и др. О прогнозировании разрушения горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1977. — №6, — С. 11—18.
32. Куксенко В.С., Ляшков А.М., Мирзоев С.Х. и др. Связь между размерами образующихся под нагрузкой трещин и длительностью выделения упругой энергии // Докл. АН СССР.— 1982. — Т. 264, №4,—С. 846—848.
33. Головин Ю.И., Шибкое А.А. Быстропротекающие электрические процессы в пластически деформируемых щелочно-галогидных кристаллах// ФТТ. — 1987. — Т. 28, вып. 11. — С. 3492—3499
34. Яковицкая Г.Е. Методы и технические средства диагностики критических состояний горных пород на основе электромагнитной эмиссии. Новосибирск: Параллель, 2008. 315 с.
35. Фурса Т.В., Гордеев В.Ф. Влияние размера заполнителя на эффективность механоэлектрических преобразований в бетонах. // Письма в Журнал технической физики. 2000. Т. 26. № 3. С. 30-34.
36. Ковалев А.В. Поисковые технические средства на основе методов интроскопии. Акустические поисковые системы. // Электронный ресурс. Журнал «Специальная Техника».
37. Суржиков А.П., Фурса Т.В., Хорсов Н.Н. К вопросу о механизме механоэлектрических преобразований в бетонах. // Журнал технической физики. 2001. Т. 71. № 1. С. 57-61.
38. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Романов Д.Б. К вопросу о механизме механоэлектрических преобразований в композиционных материалах. // Письма в Журнал технической физики. 2001. Т. 27. №19. С. 53-57.
39. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Батурин Е.А. Источники акустоэлектрических преобразований в бетонах. // Журнал технической физики. 1999. Т. 69. № 10. С. 51-55.

Раздел 1.2 Неразрушающие методы контроля твердых тел

Chapter 1.2 Non-destructive testing of solids

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Жанчипов Булат Доржиевич		

Консультант кафедры ФМПК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ФМПК	Суржигов Анатолий Петрович	Д. ф-м. н., профессор		

Консультант – лингвист кафедры ИЯНК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯ ФТИ	Вебер Юлия Юрьевна	к.п.н		

Chapter 1.2 Non-destructive testing of solids

One of the priority directions of materials science is the development of methods and non-destructive testing of the state of structures, in particular, of composite materials. Many non-destructive testing methods have been developed that have different physical bases.

Significant methods of ultrasonic testing are: the echo method, the impedance method and the resonance method, and the method of acoustic emission, based on recording the parameters of elastic waves that arise or are excited in the object.

1.2.1 Methods based on the phenomenon of acoustic emission

Acoustic emission (AE) is called radiation of acoustic waves, accompanying some types of irreversible transformations in the solid body. There are three main types of mechanisms of such emission [3]:

- 1) mechanisms related to plastic deformation (movement of dislocations, sliding of domain boundaries in ferromagnetics and ferroelectrics, etc.);
- 2) phase transitions, in particular, the martensitic transformation in steel;
- 3) the formation and development of fractures.

The scheme of experiment for this emission observation is following. The waves excited by evolving defect (source of emission), undergo various changes on the boundaries of the sample and on the other static heterogeneities, reach the receiver of the sound (usually a piezoelectric transducer), an electrical signal of which is usually sent to the processing circuit. The signal which is received from the piezoelectric transducer represents a random sequence of radio pulses, corresponding to individual events — splash of acoustic emission. The central frequency of radio pulses is mainly determined by the resonance properties of the transducer. The elementary principle of signal emission processing used in most existing methods is the following: the radar pulse after amplification gets to a threshold device, separating it from extraneous noise. [4]

This threshold device forms a sequence of pulses from the radio pulse which is then transferred to counting devices. Despite the fact that a processing scheme uses

only a small part of the information, it is possible to make a number of important physical observations.

Practical application of acoustic emission is extremely diverse. However, the main area of acoustic emission application is currently a non-destructive and operational control of engineering constructions and buildings. The main advantage of non-destructive testing methods which use acoustic emission and make them especially valuable is the fact that this emission is accompanied by only the developing i.e. the most dangerous defects. Another important aspect of the use of AE is due to the fact that the source of sound, moreover, quite significant, in this case is the defects themselves. The task of identifying and localizing a defect (AE source) is significantly facilitated due to this.

1.2.2 Nondestructive testing method based on electromagnetic emission

It was [7-10] estimated, that electromagnetic radiation occurs as a consequence of brittle damages of dielectrics.

The development of control methods using the phenomenon of electromagnetic emission (EME) began at Tomsk Polytechnic Institute by the team under the leadership of Vorobyev A. A. [11-13].

It was suggested, saying that the occurrence and development of fractures should be accompanied by the emission of pulses of electromagnetic nature. These works gave impetus to the studies of the physics of the EME process. Currently, there are about 30 of the hypotheses of the EME occurrence. According to the basic of them, the pulses of EME may arise due to the emission of electrons from the boundaries of the growing fracture due to unequal (accelerated) motion of the charge mosaic on the boundaries of a growing fracture [8-10], when breaking the connections of the electric double layer near the surface of rupture [15-16]. The radiation of charges moving with the top of sprouting fractures has the most significant contribution to the EME [17-18]. It is known that moving dislocations during deformation, for example, alkali halide crystals, have a significant role to the EME [19-21].

On the basis of model concepts [22-25] it was assumed that electromagnetics, occurring at the beginning of fracture growth of electromagnetic radiation is generated by the sources, which can be formed by areas with high and low density of charged dislocations [10], as well as the movement of the charge mosaic on the boundaries of a growing fracture [12]. The oscillatory movement of electric charges in these areas leads to the emergence of electric current accompanying the growing fracture [15], the change of geometrical sizes of which is associated with the emitted in a wide range of frequencies of electromagnetic energy. In the general case when time-varying on the boundaries of a growing fracture charges and currents in the surrounding space, there is a variable electromagnetic field, and sources of electromagnetic nature can be modeled by elementary electric (charge) and magnetic (current source) dipoles [26].

It was estimated that when there is a fracture, the time of its development equals the duration of electromagnetic radiation signal [27]. It was also assumed that there is a correlation between the sizes generated under load of fractures and, as the result, signals of certain duration [28].

In this regard, it is considered that the occurrence of a fracture is accompanied by either a single pulse or a set of pulses of EME.

Laboratory work for the study of defects and stress-strain state of the samples of dielectric materials, using the method of the EME, was conducted.

The methodological disadvantage of these studies is that the intensity of the pulsed flow (the number of pulses of EME in excess of the specified threshold, per unit time) is used as an EME parameter [20,29-32].

A large amount of work on the study of the links between the VAT and the amplitude-time parameters of EME signals was performed at the Institute of mining of SB RAS. This methodology was developed as well as a stand for simultaneous measurement of EME and loads under uniaxial compression of rock samples. On the stand the structure of EME signals at loading of samples at a given rate has been investigated. In the process of experiments simultaneously on two channels the signals of EME and the load were recorded, whose parameters were displayed on the

PC screen in a separate frame. Each frame contained 2^{14} samples of EME values and load digitized by 12-bit ADC, taken with the interval of 2 μ s.

A temporary implementation, which was used for the analysis, was formed from the frames. It has been shown that there is a correlation between the occurrence of EME when loading and the local drop of the load due to micrometrology (microfracture).

According to the results of the research conclusions have been made:

- it is established that the transition from the stationary phase of fracture accumulation to the non-stationary stage of damage during the load of rock samples is associated with the changes in the structure in the EME signals — the emergence of periodic low-frequency oscillations with variable amplitude and duration — self-oscillating quasi-resonant process.
- Experimentally it has been proved that under uniaxial loading of rock samples there are three stages of their destruction process, which is reflected in the S-shaped character of change of spectral structure-time parameters of the EME signals: the first stage appears as a high frequency process with the sequential shift of the EME spectrum as loading samples in the lower frequency area; the second — on the contrary, as the process of the spectrum shift in the high frequency part of the range; third stage, discontinuity is characterized by the fact that the spectral parameters are again recorded in the low frequency area of the frequency range.

1.2.3 Nondestructive testing method based on mechano-electrical transformations

The development of a method based on the phenomenon of mechanoelectric transformations (MET) in dielectric materials under the action of pulsed mechanical excitation is a promising development of the method of defect management and stress-strain state. The method of MET is as follows [34]. The pulsed mechanical excitation of a dielectric sample is conducted, resulting in an acoustic wave appearing, which spreads throughout the sample, reflecting from its boundaries. During the movement the wave front crosses mechano-electrical sources of

transformations that convert a portion of the wave energy in the alternating electromagnetic field. The parameters of the electromagnetic field recorded in the form of a signal response with the capacitive or inductive receivers located near the surface of the sample.

In the MEP method, the acoustic energy is converted into an electromagnetic field, and then to an electrical signal using capacitive or inductive sensors. One of the advantages of the method of MET is the possibility of contactless reception of signals that eliminates the problem of contact stability and also ensures the absence of the influence of receiver parameters on signal response.

During the spread of acoustic waves throughout the sample at multiple reflection from the boundaries their scattering due to inhomogeneities of the structure occurs, therefore, on the receiver signal, the superposition of the scattered waves comes, in which the Ultrasonic method of control noises the useful signal associated with the defects. The superposition of scattered waves is called the structural noise. The specifics of structural noise is that the resulting response is stable during the repeated excitation of the sample with the same excitation system in case of invariability of the structure of the sample and the geometry of the system 'excitation source – sample – signal receiver [35].

Experimental researches have been undertaken to assess the possibility of using the phenomenon of MET for flow inspection, verification of the stress-strain state and the strength of composite materials.

The analysis of the sensitivity of the method to map grain size in the concrete was conducted. A number of works is devoted to the consideration of the mechanisms of MET. The dependence of amplitude-frequency characteristics for impact excitation of concrete from the dimensions and geometry of the location of the inclusions was estimated. A physical model of the source signal was offered and the calculated values of the frequency response characteristics of the electric circuit of substitution were received. A good correlation between the calculated and experimental results, which confirms the correctness of the proposed mechanism mechano-electrical transformations was shown.

The calculations based on this model showed that the geometry of the system source of the acoustic signal – sample – capacitive receiver of the electromagnetic response has a significant impact on its shape and spectral characteristics.

Chapter 2. Research technique

2.1 The prerequisites for the equipment development

The MEP method for defect and stress-strain control of composite dielectric transformations is close to the acoustic method of reverberation, but the difference is that in the role of the signal receiver there is not an acoustic sensor but a system that includes an internal source of MEP and an external capacitive receiver. In both cases, the characteristics of the acoustic waves interacting with the structure of the object under study are recorded.

It can be assumed that the metrological effect from the MET method for the control of structural changes (defects and inhomogeneities of the structure) of the research object under the influence of the mechanical stress represent the accumulation of deformations of direct and reflected acoustic waves excitation, which is reflected in the response.

When using the conventional methods of mechanoelectrical transformations, it was observed that for the same geometry of the experiment and with a steady shock excitation with a ball or electromechanical transducer accurate within noise, the repeatability of response was quite high. Thus, it is possible to conclude that the spread of acoustic waves of excitation in the sample, and, therefore, the process of mechanoelectrical transformation is deterministic with low stochastic component.

The gist of it is that if the object of study, with a deterministic impulse response, underwent a series of N pulses of a given shape, then the output would be a sequence of responses, representing the mixture of useful components and noise. For coherent addition of useful components, their level will increase by N times. The stochastic (random) components of the noise will not be adding correlatedly, and

their level will increase by \sqrt{N} times. As a result of addition of the feedback the relation 'signal/noise' of the signals level will increase by \sqrt{N} times.

Direct impact of stability of excitation has a direct impact on the playback of the response. At the commonly used excitation there is usually a variation of the interaction of parameters of the impact device with the object of study because of the heterogeneity of its surface. Thus from impact to impact the duration of an impact device contact with the surface of the object of study changes, which affects the form of the generated acoustic waves. The measures to reduce the influence on the impact of heterogeneity of the surface of the object field by the use of metal plates, which effectively averaged the heterogeneity of the surface were taken.

From the mathematical model it follows that the form of the response varies depending on the location of the signal receiver. When there is a point excitation of the sample it begins to spread to the front of the acoustic waves reflected from the boundaries. The response is formed as a superposition of signals due to the mechano-electrical transformations on the sources of MET, through which the rays of the acoustic wave propagate. The magnitude of the electrical signal of the receiver decreases with the distance from the source the MET, therefore, *ceteris paribus*, with a uniform distribution of the sources of the MET throughout the material sample the main contribution to the response will be from sources MET, located near its surface by capacitive receivers.

In addition, the size of the receiver plays a role. With the increase in size for high-frequency components of the signal response the receiver can play the role of a diffraction grating. The wavelengths of the spectral components, a multiply fitting linear dimensions of the capacitive plates of the receiver will coherently emerge, whereas for the other terms of the summation will be less favorable, including the fact that they can fully compensate each other.

For more broadband reception of response signals, it is desirable to have the smaller receivers. On the other hand, the small size of the receiver reduces the relation 'signal/noise' of the amplifier channel.

The problem is removed by using a multi-sensor system with small linear dimensions of the capacitive plates of the receiver under the condition of multiple-pulse excitation of the object of study.

When using multiple excitation of the object of study of highly stable pulses, the allocation of the average value of the temporary implementation opens up the possibility to make a comparative analysis of certain parameters of the response due to the changes of defects and the stress-strain state.

2.2 Description of the layout

On the basis of the foregoing the laboratory model of a multi-touch system control of defects and stress-strain state on the basis of the phenomenon of mechano-electrical transformations were developed.

A block diagram of the multi-sensor control system is shown in fig. 2.1. The sample is excited with a given number of short acoustic pulses (beats) of a certain shape and amplitude piezoelectric transducer based on CTS–19, excited by an electric high-precision generator with adjustable waveform.

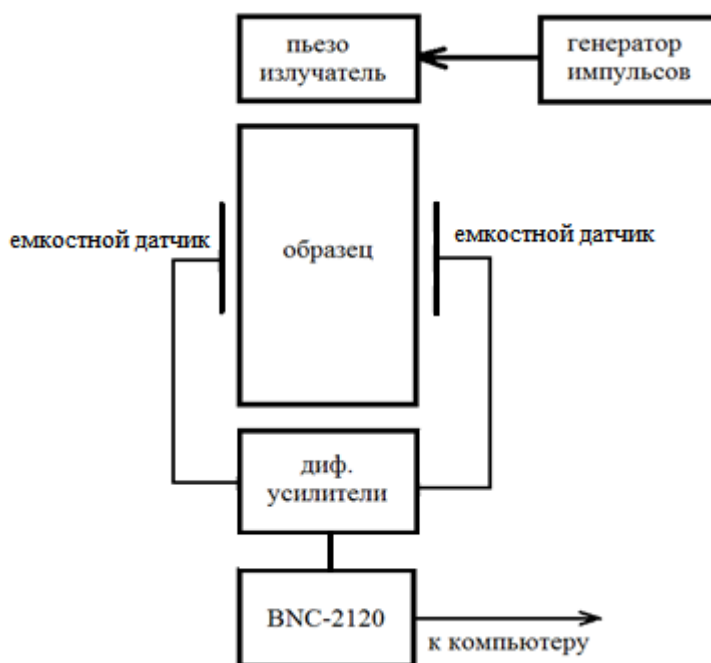


Figure 2.1 – The scheme of the experimental setup

Samples are placed in an experimental setup (fig. 2.2) and the response is perceived by the system of differential capacitive sensors. Each of the differential

capacitive sensors consists of 2 receiving plates, the measuring path consisting of emitter followers with a high impedance input and a low noise amplifier, the signal from which goes through the switching unit BNC - 2120 is supplied to a multifunction acquisition Board PCI – 6251 of a computer, whose database for further processing is created. The system envisages to digitize the signal with a preset discretization step, optimal for solving various problems in comparative analysis. The measuring system involves the use of interchangeable system receivers, made on a plate of glass epoxy by etching. The shape and the number of receivers is determined by the objectives of the experiment.

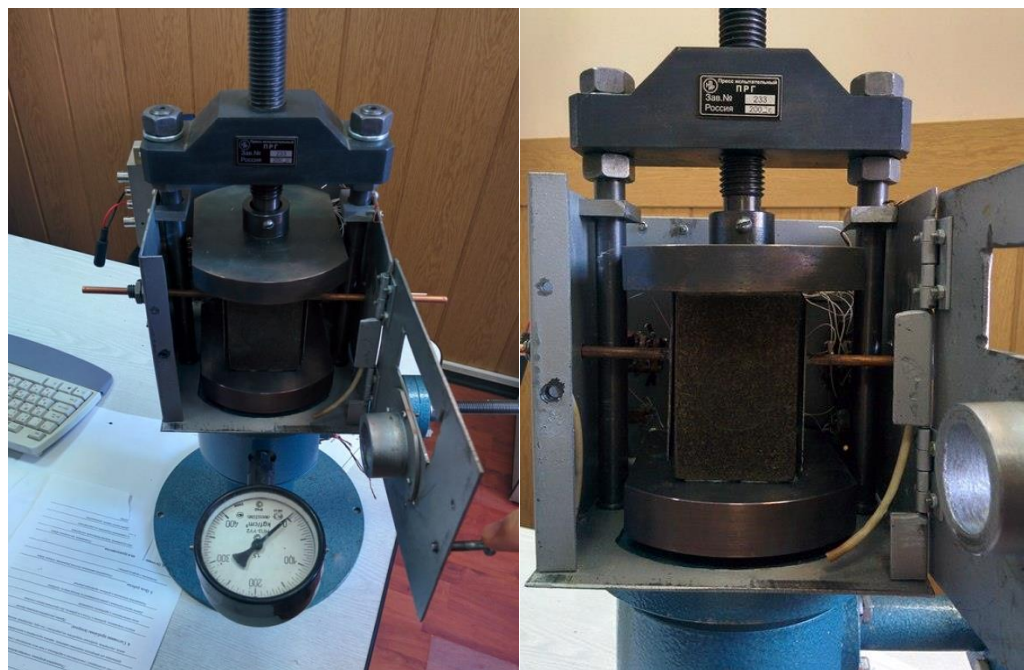


Figure 2.2 – Experimental setup with the sample №1

Registered in digital form, the responses from each receiver are pre-processed: the average value at each sample point of temporal realizations of the response with repeated excitations of the sample, normalized to the initial moment of excitatory impulses and the standard deviation for each point of time of the sample response is estimated. The latter is necessary for statistical evaluation of differences of average values of the time samples responses when changing the characteristics of the sample using comparative analysis.

It should be noted that the considered mathematical model is suitable only for the case of narrowband pulsed excitation, as in the model the existing frequency dependence of attenuation is not provided in reality.

2.3 Samples of the experiment

Samples for the experiment were made as follows. The epoxy glue ED-20 was prepared according to the instructions. After 40 minutes, quartz sand with a particle size of 0.1-0.3 mm and a volume fraction of 0.5 was added to the glue and everything was thoroughly mixed (Fig. 2.3).



Figure 2.3 – Process for making samples for experiments

Then the prepared mixture was poured into a mold and solidified. After 20 hours, the sample was removed and its faces were ground to the required surface cleanliness. Sample dimensions: sample No. 1 is $60 \times 80 \times 100$ mm, sample No. 2 is $60.5 \times 78 \times 87.5$ mm.