

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

Институт	Неразрушающего контроля
Направление подготовки	Приборостроение
Кафедра	ФМПК

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование параметров механоэлектрических преобразований в железобетоне в процессе изгиба

УДК 620.178.74:004.3/.4:691.328

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Лыков Александр Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф. ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения по программе

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, ОПК-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
		международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
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 натуральных 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 образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки – Приборостроение
Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ Суржиков А.П.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Лыкову Александру Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование параметров механоэлектрических преобразований в железобетоне в процессе изгиба	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Железобетон часто используется в силовых конструкциях, где он подвергается воздействию высоких механических нагрузок. Наиболее важной технической характеристикой силовых конструкций из строительных материалов является прочность, которая в процессе эксплуатации может значительно снижаться в результате появления трещин, увеличения их размера и концентрации. Поэтому существует необходимость текущего контроля технического состояния железобетонных изделий. Существующие методы механического и ультразвукового контроля обладают невысокой точностью и низкой чувствительностью к внутренним
---------------------------------	--

	неоднородностям. Для решения этой проблемы может быть использован метод на основе явления механоэлектрических преобразований при импульсном ударном воздействии.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – анализ отечественной и зарубежной литературы по теме исследований и современным методам неразрушающего контроля изделий и конструкций из железобетона; – анализ литературных данных по разработке нового неразрушающего метода контроля, основанного на использовании явления механоэлектрических преобразований; – сравнительный анализ параметров электрического отклика на импульсное ударное воздействие в тяжелом бетоне и бетоне, армированном металлической арматурой; – исследование механоэлектрических преобразований в железобетоне, в процессе проведения испытаний на изгиб; – организация, планирование и оценка научной эффективности научно-исследовательской работы; – анализ опасных и вредных производственных факторов, и разработка комплекса защитных мероприятий
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Иностранный язык	Вебер Юлия Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методика проведения исследований	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф. ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Лыков Александр Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Лыкову Александру Евгеньевичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	<i>Обоснование необходимости и актуальности разработки. Проведение SWOT анализа.</i>
2. Инициация проекта	<i>Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта</i>
3. Планирование управления научно-техническим проектом	<i>Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов</i>
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	<i>Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Матрица SWOT-анализа 2. Календарный план проекта 3. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта) 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Лыков Александр Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Лыкову Александру Евгеньевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования являются параметры механоэлектрических преобразований в процессе изгиба
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать устройство.</p> <p>1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	Исследования по теме производятся в лаборатории, где могут возникнуть следующие вредные факторы: повышенный уровень электромагнитных излучений, недостаточная освещенность рабочей зоны. В ходе проведения работы возможно возникновение таких опасных факторов как поражение электрическим током и движущимися частями производственного оборудования
2. Экологическая безопасность:	Факторы, оказывающих негативное влияние на окружающую среду при проведении исследований по теме отсутствуют.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможно возникновение пожара
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рациональная планировка рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Лыков Александр Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 с., 32 рис., 16 табл., 51 источник, 1 прил. Ключевые слова: механоэлектрические преобразования, электрический сигнал, электрический отклик, импульсное ударное воздействие, армированный бетон, металлическая арматура, испытания на изгиб.

Объектом исследования является электрический сигнал, возникающий в результате механоэлектрических преобразований при импульсном ударном воздействии в бетонах, армированных металлической арматурой.

Цель работы – исследование закономерностей механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных металлической арматурой, для выявления диагностических критериев определения степени их деградации в условиях изгиба.

В результате выполнения работы на основе амплитудно-частотного, частотно–временного и корреляционного анализа установлены основные закономерности механоэлектрических преобразований в бетоне, армированном металлической арматурой. В качестве предварительного диагностического параметра предложены некоторые параметры электрического отклика на импульсное ударное воздействие.

Степень внедрения: на основе полученных результатов в дальнейшем будет производиться разработка способа неразрушающего контроля железобетонных конструкций и материалов, который позволит проводить разбраковку изделий и проводить своевременный их ремонт или замену. Это позволит значительно повысить прочность возводимых сооружений.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 2290-88 Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
2. ГОСТ 23829-85 Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.
3. ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования.
4. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
5. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.
6. 43. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. 44. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
8. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
10. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
11. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
12. ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
13. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

14. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические
требования.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими
определениями:

Явление механоэлектрических преобразований – это преобразование
энергии импульсного механического возбуждения в энергию
электромагнитного поля на заряженных структурных неоднородностях и
пьезоэлектрических включениях в гетерогенных материалах.

Электрический сигнал - это результат возникновения переменного
электрического поля при импульсном механическом возбуждении
гетерогенного неметаллического материала.

Спектр электрического сигнала - это амплитудно-частотная
характеристика сигнала, рассчитанная с помощью быстрого Фурье-
преобразования.

Оглавление

Введение	13
1 Существующие и разрабатываемые методы неразрушающего контроля железобетона.	14
1.1 Обзор существующих и разрабатываемых методов неразрушающего контроля прочности и дефектности железобетона	14
1.2 Механоэлектрические преобразования в гетерогенных материалах при импульсном ударном возбуждении	22
1.3 Основные физико-механические свойства железобетона	26
2 Методика проведения исследований	34
2.1 Методика физического моделирования образцов	34
2.2 Методика определения скорости распространения акустической волны в образцах железобетона	37
2.3 Методика и аппаратура для возбуждения и регистрации электрического отклика в образцах железобетона	39
2.4 Методика испытаний образцов на изгиб	42
2.5 Методика обработки данных	45
3 Экспериментальные исследования	50
3.1 Разработка схемы армирования	50
3.2 Сравнение параметров электрического отклика из моделей неармированных и армированных балок бетона	54
3.3 Исследование параметров электрического отклика в образцах железобетона в процессе изгиба	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
5 Социальная ответственность	77
Заключение	89
Список публикаций	90
Список использованных источников	91
Приложение А	96

Введение

Данная работа посвящена исследованию композиционных строительных материалов, в частности, железобетонных конструкций с помощью электрического отклика на импульсное ударное возбуждение. Как показывает практика, железобетонные конструкции на данный момент являются неотъемлемой частью любого сооружения. При этом стоит острая необходимость контроля их технического состояния на всех этапах производства и эксплуатации. Однако, сложность процессов, обуславливающих формирование структуры бетона и его физико-механических свойств привели к тому, что используемые для решения этих задач методы неразрушающего контроля обладают рядом недостатков, а в некоторых ситуациях их использование проблематично или вовсе невозможно.

За основу решения задачи контроля структурных и механических характеристик армированного бетона можно принять явление механоэлектрических преобразований. Исследования, проведенные в работах [1,2] показывают, что возникновение электромагнитной эмиссии в диэлектрических материалах возможно уже на этапе упругой деформации, а это означает, что получение всей необходимой для анализа информации возможно без нанесения каких-либо повреждений материалу. Такой подход, за счет особенностей распространения акустических колебаний в гетерогенных материалах, позволяет рассматривать такие их свойства, которые не доступны для рассмотрения другими методами. Таким образом, появилась перспектива разработки концепций и методик неразрушающего контроля армированного бетона на основе явления механоэлектрических преобразований.

Данная работа посвящена исследованию основных закономерностей изменений параметров электрического отклика на импульсное ударное возбуждение в процессе изгиба железобетона.

1. Существующие и разрабатываемые методы неразрушающего контроля железобетона

1.1 Обзор существующих методов неразрушающего контроля прочности и дефектности железобетона

Визуально-измерительный метод

Данный метод является самым универсальным методом неразрушающего контроля, а также наиболее широко распространенным при проведении контроля качества в процессе производства и эксплуатации широкого спектра устройств и материалов. Заключается он в определении поверхностных несовершенств материалов, таких как трещины, используя источники света. В строительстве данный метод применяется для определения несплошностей в материалах: трещины, отколы, прогибы и т.д. Данный метод отличается своей простотой и доступностью, так как использует органы зрения человека. Однако, в этом и заключается его главный недостаток – с помощью визуального метода можно определить дефекты, находящиеся только на поверхности объекта контроля, а также метод имеет низкую точность.

Механические методы

Согласно [3] выделяют следующие механические методы неразрушающего контроля бетона и железобетона: метод упругого отскока, метод пластической деформации, метод отрыва, метод отрыва со скалыванием и метод скалывания ребра. Все механические методы определения прочности бетона в своей основе рассматривают связь прочности бетона с косвенными характеристиками прочности.

При методе упругого отскока прочность бетона определяется с помощью величины обратного отскока ударника от поверхности бетона или от плоского штампа, прижатого к ней. Данный метод основан на измерении поверхностной твердости бетона.

Метод пластической деформации основан на вдавливании в поверхность объекта контроля стального шарика путем приложения статического напряжения или удара. При применении данного метода прочность бетона определяется по параметрам отпечатка в бетоне (диаметр, глубина и т.д.). Данный метод является наиболее распространенным.

При методе отрыва измеряется усилие, которое необходимо для отрыва приклеенного к поверхности небольшого металлического диска.

Метод отрыва со скалыванием основан на связи прочности бетона со значением усилия, прилагаемого для вырывания из него анкерного устройства.

К недостаткам механических методов можно отнести то, что они дают возможность оценить прочность цементного камня на поверхности, в следствие чего, мы не можем судить о прочности всей конструкции. Также они не позволяют отслеживать образование и развитие дефектов.

Акустические методы

Широкое распространение в неразрушающем контроле бетона и железобетона получили акустические методы. Согласно [4] акустические методы контроля делятся на два типа: активные и пассивные. Активные методы используют излучение и прием акустических колебаний и волн. Пассивные основываются только на регистрации колебаний и волн.

Акустические методы позволяют обнаруживать дефекты в изделиях, как на стадии производства, так и при эксплуатации, а также определять прочность конструкции.

Ультразвуковые методы

Весьма распространенным методом акустического неразрушающего контроля для исследования технического состояния бетонных и железобетонных конструкций являются ультразвуковые методы контроля.

При дефектоскопии бетонных изделий ультразвуковыми методами исследуют изменение параметров волны, прошедшей через зону дефекта или отраженной от него. В строительстве этими методами исследуют однородность и прочность бетона, а также наличие дефектов. Точность методов, основанных на измерении скорости звука в бетоне, зависит от точности измерения скорости звука. При этом необходимо учитывать, что скорость распространения акустических волн в армированном бетоне сильно зависит от его состава, влажности, шероховатости и т.д. К недостаткам можно отнести еще и сильное затухание ультразвуковых волн в неоднородных структурах. Это создает необходимость создавать более мощный импульс, что влечет за собой увеличение потребления энергии и увеличение конструкции прибора. К минусам данных методов также можно отнести необходимость идеального контакта датчика с поверхностью исследуемого образца, что не всегда представляется возможным в реальных условиях.

Несмотря на все недостатки, ультразвуковые методы неразрушающего контроля бетона и железобетона все еще широко используются в строительстве, а также проводится множество различных исследований по возможности их улучшения.

Наиболее простым методом ультразвукового контроля является измерение скорости звука в бетоне. Он основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний в бетоне и его плотностью, динамическим модулем упругости и соответственно прочностью.

Необходимо отметить, что зависимость между скоростью распространения ультразвука и прочностью армированного бетона определяется заранее для каждого конкретного состава бетона. Это связано с

тем, что применение градуировочных зависимостей для бетонов других или неизвестных составов может привести к ошибкам в определении прочности.

Ультразвуковой метод позволяет осуществлять массовые испытания изделий любой формы многократно, вести непрерывный контроль нарастания или снижения прочности. Недостатком метода является погрешность при переходе от акустических характеристик к прочностным.

Также необходимо отметить, что на данный момент за рубежом разрабатываются методы неразрушающего контроля бетона на основе явления поверхностных волн. Так, в статье [5] авторы используют данный метод для поиска дефектов в поверхностном слое бетона. Предложенный метод используется при поиске дефектов, полученных при двух типичных для прочности бетона проблемах – в случае термического повреждения и в случае карбонизации. Для исследования был использован принцип «накачка-зондирование». Волна Рэлея при этом использовалась в качестве пробной волны. Для обнаружения проблем в бетоне исследовалась временная задержка, а также различные нелинейные параметры. Авторы намерены продолжать исследования в данном направлении.

В случае же, когда доступ к образцу возможен лишь с одной стороны, возможно применение эхо-метода. Данный метод основан на регистрации отраженных от неоднородностей ультразвуковых импульсах, посланных в образец. Производится подсчет времени прихода отраженного импульса и его интенсивности. Как правило данный метод не используется из-за очень низкого соотношения сигнал-шум.

Метод акустической эмиссии

Метод акустической эмиссии основан на явлении возникновения упругих акустических колебаний в напряженном материале. Это позволяет производить диагностику состояния армированного бетона. Применяется данный метод для исследования процессов разрушения, происходящих в материале. Суть в том, что при возникновении напряжений в материале с

последующим образованием трещин, возникает акустическая волна. Основным принципом диагностики заключается в сборе информации, поэтому данный метод относится к пассивным. Ряд параметров полученного сигнала может помочь в определении стадии повреждения внутри материала. Так, например, энергия излучения может быть связана с интенсивностью трещинообразования [6]. Изучение сигналов акустической эмиссии позволяет понять на какой стадии разрушения материал находится в данный момент и, как следствие, спрогнозировать его дальнейшее поведение.

На данный момент исследование дефектности бетона и железобетона методом акустической эмиссии получило широкое распространение у зарубежных и российских исследователей. Так в статье [6] изучается влияние внутренних разрушений на параметры сигналов акустической эмиссии, а в [7] проведены исследования по усовершенствованию метода определения времени начала и нахождения источника акустических колебаний в бетонных образцах. В ходе исследования получены результаты с отклонением в диапазоне всего 3-4%. Это позволяет говорить о том, что данный метод является достаточно надежным.

Что касается исследования железобетона в процессе изгиба, то в статье [8] с помощью метода акустической эмиссии изучается степень и характер повреждений в железобетонной балке при изгибе путем анализа интенсивности сигнала. В ходе исследований было установлено, что с помощью данного метода можно установить тип и уровень повреждений железобетонной балки при изгибе.

В источнике [9] железобетонную балку исследовали в процессе трехточечного нагружения на изгиб. Авторы пришли к выводу, что использование метода акустической эмиссии по-прежнему ограничено. Выявлено, что при таком подходе процесс обнаружения расположения события в структуре с необходимой точностью все еще недоступен.

Авторы работы [10] с помощью акустической эмиссии исследуют железобетонные балки в процессе четырехточечного изгиба. Причем,

изучается влияние размера балки на параметры акустической эмиссии, поэтому в процессе исследования используются железобетонные балки различного размера.

В процессе исследования выявлены четыре стадии, которые испытывает балка в процессе изгиба: образование микротрещин; их рост и распространение; распределенные изгибные растрескивания и локализованное разрушение. Также установлено, что по мере увеличения уровня разрушения уменьшается частота акустических колебаний, а средние и суммарные значения всех параметров акустической эмиссии возрастают с увеличением толщины балки. В целом, авторы утверждают, что метод акустической эмиссии является очень перспективным для контроля и определения местоположения трещин в железобетоне.

К недостаткам данного метода можно отнести то, что его использование возможно лишь при непрерывном мониторинге материала в процессе разрушения. Также такой подход очень зависит от скорости распространения звука в материале, что в случае с железобетоном является огромным недостатком.

Тепловой контроль

Одним из достаточно востребованных методов неразрушающего контроля на данный момент является тепловой контроль. Данный метод основан на обнаружении и преобразовании в видимый спектр инфракрасного излучения. Тепловой метод может применяться во многих отраслях промышленности, в том числе и в строительстве, где по различным неоднородностям теплового поля становится возможным судить о внутренних неоднородностях и дефектах конструкций.

Достоинствами данного метода является высокая универсальность, достаточно высокая точность, а также возможность дистанционного проведения контроля.

В строительстве повышение интереса к тепловому контролю связано в основном с вопросами энергосбережения сооружений, поэтому данный метод применяется в основном для определения качества теплозащиты строительных конструкций и, согласно [11], для тепловой защиты зданий.

К недостаткам данного метода можно отнести то, что при бесконтактных измерениях возникает необходимость поддержки высокой чистоты окружающей среды. Также при определении трещин в конструкциях имеется высокая чувствительность к их расположению.

Современные исследования по разработке и совершенствованию методов неразрушающего контроля дефектности бетона и железобетона

Достижения в области разработки датчиков, появление новых материалов и миниатюризация устройств прокладывают путь для создания новых и усовершенствования существующих методов неразрушающего контроля. Очень много разработок ведется на тему слияния разных методов для получения наилучшего результата. В последнее время, большой научный интерес и внимание промышленности было уделено акустическим методам неразрушающего контроля бетона и железобетона.

За рубежом ведутся обширные исследования по усовершенствованию метода акустической эмиссии [7,10]. Данный метод позволяет достаточно точно определять начало трещинообразования в структуре железобетона при изгибе, а также плотность и размер трещин [7]. В работе [12] для определения наличия разрушения железобетона исследуется эффект Кайзера. Авторами исследования сделаны выводы о том, что существование эффекта Кайзера указывает на наличие пластических деформаций, при этом скорость нагружения не оказывает никакого влияния на этот эффект.

Исследования в области акустической эмиссии дают весьма обнадеживающие результаты, однако от основных недостатков данного метода избавиться не представляется возможным: метод акустической

эмиссии подразумевает непрерывный мониторинг конструкции и идеальный контакт датчика с материалом.

В источнике [13] представлены разработки по комплексной визуализации железобетонных образцов с помощью технологий ультразвуковой томографии и технологии компьютерного зрения. В ходе исследования установлено, что интеграция двух методов позволяет проводить анализ в единой унифицированной среде координат, что обеспечивает наиболее полную и целостную информацию о внешнем и внутреннем состоянии исследуемого объекта.

В работе [14] предлагается возбуждать ультразвуковую волну бесконтактным методом с помощью мощного источника звука, а показания снимать с помощью лазера. Авторы статьи утверждают, что удалось обнаружить дефект даже с расстояния 5-ти метров. Однако, данное исследование находится в начальной стадии и говорить о конкретных результатах пока рано. Авторы статьи продолжают исследования в данном направлении

Наравне с методами так же разрабатываются специальные датчики, для непрерывного мониторинга технического состояния железобетонных конструкций. Так в [15] предложен прочный и недорогой датчик, помещаемый внутрь конструкции на этапе ее изготовления или ремонта, который позволяет адекватно оценивать такие параметры как скорость коррозии арматурных стержней, удельное электросопротивление бетона, количество кислорода и температуру внутри материала. Лабораторные исследования и первые установки на месте показали, что датчик работает исправно.

1.2 Механоэлектрические преобразования в гетерогенных материалах при импульсном ударном возбуждении

Историческая справка по исследованию МЭП

Началом исследований в области электромагнитной эмиссии можно считать изучение возрастания ионной проводимости в кристаллах под действием пластической деформации. Еще в 1928 году это явление было достаточно детально изучено в работе [16] на кристаллах каменной соли. Исследователями установлено, что проводимость при нагружении возрастала в 10-100 раз пропорционально величине нагрузки.

А. В. Степанов в работах [17,18] отмечает, что проводимость растет не во всем объеме образцов, а лишь в области полос скольжения. Этот результат в дальнейшем был подтвержден в работе [19], в которой данный эффект исследуется в кристаллах AgBr. При этом всеми экспериментальными работами подтверждается, что возрастание ионной проводимости – временное явление, так как при статической нагрузке данный эффект постепенно сходит на нет.

Первое объяснение данного эффекта сделали Дьюлан и Хартли [16], предположив, что эффект появляется при деформации «рыхлых мест», обуславливающих ионную проводимость. Далее автор работы [20], учитывая то, что данный эффект появляется еще на стадии упругой деформации связывал возрастание проводимости с пьезоэффектом. Однако, дальнейшие исследования не подтвердили данную гипотезу, так как пьезоэффект в кристаллах каменной соли при деформации не возникал. Степанов же возможной причиной повышения ионной проводимости считал локальное расплавление кристалла вдоль полос скольжения.

Кассель в работе [21] объяснял рост проводимости с возрастанием ионов проводимости, которые отрываются от дефектов решетки. Таким образом, чем больше в решетке дефектов, тем выше должна становиться

проводимость, однако спад проводимости при статической нагрузке он так и не объяснил.

Первые же исследования по возникновению электромагнитной эмиссии были проведены в 1965 году в работах [22-24]. Наблюдения велись за возникновением световых вспышек в щелочно-галоидных кристаллах при их деформировании.

Более детальное рассмотрение общих закономерностей возникновения электромагнитной эмиссии при нагружении образцов из щелочно-галоидных кристаллов, а также горных пород представлены в работе [25]. Результатами данных исследований является установление факта, что электромагнитная эмиссия носит импульсный характер, а также имеет одни и те же механизмы возникновения как в щелочно-галоидных кристаллах, так и в горных породах.

В работе [26], в качестве механизма появления электромагнитной эмиссии в диэлектриках, указан механизм, связанный с тем, что в процессе развития трещины возникающие упругие колебания возбуждают поверхностный электростатический заряд, который присутствует на поверхности любых высокоомных диэлектриков. Колебания этих зарядов должны сопровождаться электромагнитным излучением. По такому механизму электромагнитный сигнал всегда будет реагировать на процессы зарождения и роста дефектов, что является основным условием для практического использования явления.

В исследовании [27] предприняты первые попытки связать с электромагнитным сигналом прочностные характеристики твердых тел. Авторы наблюдали свечение кристаллов фтористого лития при их царапании. Установлено, что свечение почти всегда соответствует появлению микротрещин в материале.

Все эти результаты дают надежду что связь между параметрами электромагнитного сигнала и индивидуальной прочностью твердых диэлектриков принципиально возможна.

Разработка метода неразрушающего контроля композиционных материалов на основе механоэлектрических преобразований

Хотя первые исследования по возникновению электромагнитной эмиссии в диэлектриках производились достаточно давно [22], разработка метода неразрушающего контроля на основе данного явления производится относительно недавно [28,29].

Метод основывается на том, что бетон является гетерогенным материалом и песок в его составе, в большом количестве содержит пьезокварц. Также на границах различных компонентов, входящих в состав цементного камня, возникают двойные электрические слои. При импульсном механическом возбуждении в бетоне возникают акустические волны, которые вызывают смещение двойных электрических слоев, а также возникновение пьезоэффекта. Более того, в [30] установлено, что пьезоэффект имеет наибольшее значение при формировании электромагнитного поля при импульсном ударном воздействии. В результате этого в материале образуется электромагнитное поле, которое может быть подвергнуто анализу. Таким образом, данный метод изучает закономерности между изменением внутренней структуры бетона и параметрами электрического отклика на импульсное ударное возбуждение образца.

Суммирующее электрическое поле в образце бетона при импульсном ударном воздействии является результатом векторного сложения разнонаправленных полей от всех источников, имеющих в материале [31]. Благодаря этому анализ электрического отклика позволяет достаточно точно судить о тех или иных изменениях в структуре материала. Исследованиями установлено, что наличие дефектов в материале приводит к значительным изменениям параметров электрического отклика.

Преимуществами данного метода, по сравнению с акустическими, является то, что на параметры электрического отклика никак не влияют различные поверхностные эффекты, так как сам датчик располагается на

расстоянии от поверхности исследуемого материала. Также, можно указать на то, что при данном методе дефекты регистрируются вне зависимости от расположения датчика, тогда как при стандартных ультразвуковых методах направление волны не должно совпадать с направлением распространения акустической волны. Таким образом, данный метод является более чувствительным к обнаружению дефекта по сравнению со стандартными акустическими методами.

Также данный метод имеет огромное преимущество перед методом акустической эмиссии. заключается оно в отсутствии необходимости непрерывного мониторинга изделия под нагрузкой, так как возбуждение акустических волн в образце происходит за счет внешнего источника – механического ударника.

На данный момент произведено множество исследований на тему взаимосвязи параметров электрического отклика с такими характеристиками бетона, как прочность, глубина залегания и плотность трещин в структуре материала, а также зависимость параметров электрического отклика от стадии напряженно-деформированного состояния бетона [32].

Таким образом, видно, что все ранние исследования электрического отклика на упругое ударное возбуждение проводились исключительно на бетонных образцах. Что касается данной работы, то в ней исследуется бетон, армированный стальной арматурой. Такой подход выбран потому что железобетон имеет наиболее широкое распространение в строительстве, по сравнению с обычным бетоном, так как имеет во многом улучшенные характеристики.

Основным отличием армированного бетона от неармированного является большее его сопротивление растягивающим напряжениям. Это происходит благодаря арматуре, которая берет на себя часть нагрузки и обладает запасом в области пластической деформации.

В сооружениях горизонтальные железобетонные элементы, такие как плиты и балки, подвержены в основном изгибающим нагрузкам. Поэтому наиболее эффективно испытывать такие элементы при изгибе.

1.3 Основные физико-механические свойства железобетона

Как правило, бетон для железобетонных конструкций должен обладать заранее точно определенными, заданными физико-механическими свойствами. К таким свойствам относятся, прежде всего: прочность, сцепление с арматурой, непроницаемость, для защиты, находящейся в железобетонных конструкциях арматуры от внешних факторов. Также для бетона могут быть предъявлены специальные требования, связанные с эксплуатацией железобетонных конструкций: морозостойкость, жаростойкость, коррозионная стойкость и т.д.

Согласно [33], классифицируются бетоны по следующим признакам:

- по основному назначению – на конструкционные и специальные (жаростойкие, химические стойкие, декоративные и т.д.);
- по виду вяжущего – на основе цементных, известковых, шлаковых, гипсовых и специальных вяжущих;
- по виду заполнителей – на плотных, пористых и специальных заполнителях;
- по структуре – плотной, пористой, поризованной, ячеистой и крупнозернистой структуры;
- по условия твердения – на твердевшие в естественных условиях, в условиях тепловлажностной обработки при нормальном давлении и в условиях тепловлажностной обработки при давлении выше атмосферного (автоклавное твердение);
- по прочности – средней прочности, высокопрочные;

- по скорости набора прочности в нормальных условиях – на быстротвердеющие и медленнотвердеющие;
- по средней плотности – подразделяют на особо легкие (марки по средней плотности менее D800), легкие (D800 – D2000), тяжелые (D2000 – D2500), особо тяжелые (более D2500).

Прочность и деформативность бетона во многом зависит от его внутренней структуры. Наибольшей плотностью обладают, как правило, бетоны с плотной структурой. Наименьшей – с ячеистой.

Также, одним из основных факторов, влияющим на внутреннюю структуру является количество воды, которое применяется при приготовлении бетонной смеси. Оценивается этот параметр отношением количества воды к количеству цемента в единице объема бетонной смеси W/C . Для протекания химической реакции в бетонной смеси необходимо, чтобы $W/C \approx 0,2$. Однако при создании смеси, необходимо также учитывать, что количество воды берется с неким запасом для достижения достаточной подвижности смеси.

Благодаря таким процессам, как изменение водного баланса, рост упругих кристаллических сростков, бетон приобретает свои упругопластические свойства. В дальнейшем, эти свойства проявляются при деформации бетона под нагрузкой, а также при воздействии различных температурных и влажностных режимов.

К основным механическим свойствам бетона можно отнести то, что он отлично сопротивляется сжатию, но, при этом, значительно хуже растяжению, поэтому появилась необходимость усиливать бетонные конструкции стальной арматурой. Данный метод существенно повышает физико-механические свойства готовых изделий. Например, как указано в [34], прочность железобетонной балки выше в 15-20 раз прочности аналогичной балки из неармированного бетона.

Установка арматуры в железобетонных изделиях производится для усиления бетона и для восприятия растягивающих усилий.

От способа упрочнения разделяют термически упрочненную арматуру, которая подвергается термической обработке, или упрочненную в холодном состоянии посредством вытяжки или волочения.

В зависимости от формы поверхности арматура бывает гладкой и периодического профиля. Выступы и ребра на поверхности арматуры позволяют значительно улучшить сцепление с бетоном. На рисунке 1 представлены три типа периодического профиля арматуры, производимой в РФ:



Рисунок 1 – Основные типы периодического профиля: а – кольцевой; б – серповидный двусторонний; в – серповидный четырехсторонний.

Также арматуру различают по способу применения: на напрягаемую, которая подвергается предварительному натяжению, и ненапрягаемую.

Благодаря выгодному сочетанию физико-механических свойств бетона и стальной арматуры обеспечивается совместное их сопротивление внешним воздействиям.

Железобетон, как и бетон подвержен усадке и ползучести. Однако в конструкциях из железобетона, арматура выступает в качестве внутренней связи и препятствует усадке и ползучести бетона. Согласно исследованиям, усадка железобетонных конструкций в некоторых случаях в два раза меньше усадки бетона.

Что касается ползучести, то она оказывает различное влияние на работу железобетона. В предварительно сжатых элементах, например, приводит к потере предварительного напряжения, а в изгибаемых элементах – увеличение прогибов. В сжатых элементах небольшой длины ползучесть приводит к полному использованию прочности бетона и арматуры.

Арматура в железобетоне нуждается в защите от внешних воздействий, так как имеет низкую коррозионную стойкость. Защитный слой бетона в железобетонных конструкциях создается путем размещения арматуры на некотором расстоянии от поверхности элемента. Также защитный слой необходим для совместной работы арматуры с бетоном на всех стадиях от изготовления и до эксплуатации.

Согласно [35] защитный слой бетона должен обеспечивать:

- совместную работу арматуры с бетоном;
- анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных элементов;
- сохранность арматуры от воздействий окружающей среды (в том числе при наличии агрессивных воздействий);
- огнестойкость и огнесохранность конструкций.

Толщину защитного слоя устанавливают в соответствии с требованиями, представленными выше, в зависимости от диаметра используемой арматуры, условий эксплуатации, размера сечений элемента, вида бетона и т.д. Для балок, высотой менее 250 мм, в источнике [36] указывается защитный слой не менее 15 мм.

Для продольно напрягаемой арматуры, располагаемой в каналах, защитный слой должен быть не менее 20 мм и не менее половины толщины канала.

Расстояние от концов продольной арматуры, до торцов элемента для ненапрягаемой арматуры должно быть не менее 10 мм, а для сборных конструкций большой длины, не менее 15 мм. [34]

Вообще процессы коррозии в железобетоне происходят под воздействием внешних жидких или газообразных агрессивных сред. В результате длительного воздействия таких сред, коррозия в железобетонных конструкциях может привести к значительным разрушениям.

Коррозионная стойкость железобетона во многом зависит от плотности применяемого в нем бетона и степени агрессивности среды.

В случае с арматурой, коррозия или ржавление происходит вследствие электролитического и химического воздействия окружающей среды. Протекает она обычно одновременно с коррозией бетона, но также может протекать и отдельно. В результате коррозии арматуры полученный продукт, имеющий больший объем, чем у стали, создает значительное давление на окружающий бетон. Это, в свою очередь, приводит к образованию трещин вдоль арматурных стержней, а в некоторых случаях и к отколам бетона.

Для защиты арматуры от коррозии применяются следующие меры: повышение плотности бетона, увеличение защитного слоя, применение лакокрасочных покрытий, применение изоляции, применение различных видов специального бетона.

Основные виды дефектов в железобетонных балках

Можно выделить следующие дефекты, образующиеся в железобетонных балках под действием изгибающих нагрузок:

- нормальные трещины в зоне растянутого бетона. Образуется данный дефект за счет действия изгибающего момента при перегрузках, а также уменьшения диаметра арматуры в результате коррозии.
- наклонные трещины у опор. Причинами образования служат также действие изгибающего момента и поперечной силы.
- приопорные трещины обычно образуются в результате нарушения анкеровки и проскальзывания арматуры.
- трещины вдоль арматуры образуются за счет того, что образованный в результате коррозии арматуры материал по объему превышает объем металла. Таким образом, из-за повышения давления происходит растрескивание бетона вокруг арматуры.
- продольные трещины в бетоне сжатой зоны. Образуется в основном в результате раздавливания сжатой зоны бетона вследствие перегрузок.

- раздробление бетона между наклонными трещинами вызвано раздавливанием бетона главными сжимающими напряжениями при перегрузке.
- шелушение поверхности бетона происходит за счет попеременного замораживания оттаивания или увлажнения-высыхания, а также при воздействии агрессивных сред.
- сколы защитного слоя бетона вызываются механическими повреждениями, коррозией арматуры или длительным воздействием открытого огня.

Таким образом видим, что основная часть дефектов вызвана действием на железобетонную балку изгибающих моментов. Следовательно, все изменения структуры железобетонной балки при исследовании с помощью электрического отклика на упругое ударное возбуждение целесообразнее всего производить в процессе изгиба.

Физические процессы в железобетоне при изгибе

В данной работе исследуется влияние изменения внутренней структуры железобетона при изгибе на электрический отклик при упругом ударном воздействии. Следовательно, необходимо понимать какие процессы происходят во время исследования в образцах железобетона. Как указано в [36], процесс разрушения железобетонной балки под изгибным воздействием можно разделить на три стадии:

I стадия:

При небольших нагрузках напряжения в железобетонном элементе невелики. Все деформации являются упругими, а зависимость между напряжениями и деформациями линейные. Соответственно эпюры нормальных напряжений в бетоне сжатой и растянутой зоны являются треугольными, как это показано на рисунке 2:

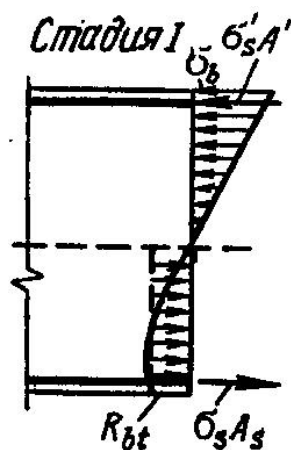


Рисунок 2 – Эпюры нормальных напряжений в бетоне при небольших нагрузках.

Эпюра напряжений становится криволинейной к концу первой стадии при увеличении нагрузки на элемент и развитии неупругих деформаций. Далее при увеличении нагрузки, в растянутой зоне начинают образовываться трещины.

II стадия:

В растянутой зоне, где образовались трещины, усилие воспринимается уже арматурой и участком бетона, расположенным над трещиной. Сцепление арматуры с бетоном в этом случае сохраняется в интервалах между трещинами. По мере удаления от трещин напряжения в арматуре уменьшаются, а в бетоне, напротив, увеличиваются. Далее, с увеличением нагрузки, неупругие деформации начинают образовываться уже в бетоне сжатой зоны. Эпюра нормальных напряжений при этом заметно искривляется, а ордината максимального напряжения смещается от края сечения в глубину, как показано на рисунке 3. Наступает третья стадия.

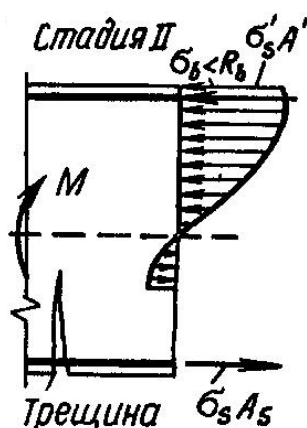


Рисунок 3 – Искривление эпюры нормальных напряжений при второй стадии

III стадия:

Является стадией разрушения. С увеличением нагрузки напряжения в арматуре достигают предела текучести. Разрушение элемента начинается от арматуры растянутой зоны и заканчивается разрушением бетона сжатой зоны. Такое разрушение носит пластический характер и относится к случаю 1. В элементах с избыточным содержанием растянутой арматуры разрушение происходит по бетону сжатой зоны, переход из стадии II в стадию III происходит внезапно. Разрушение сечений с избыточным содержанием арматуры всегда носит хрупкий характер при неполном использовании растянутой арматуры и его называют случаем 2.

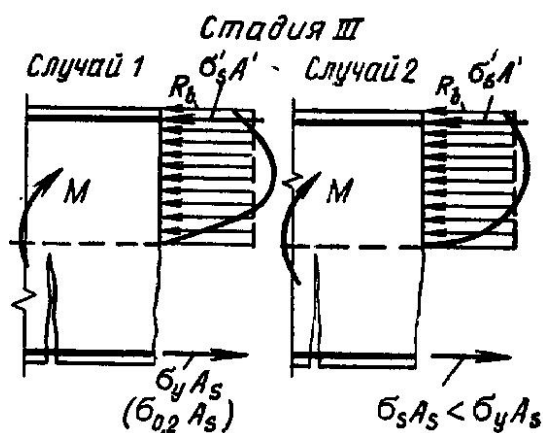


Рисунок 4 – Два случая третьей стадии напряженно-деформированного состояния

2. Методика проведения исследований

Суть исследований в данной работе заключается в установлении зависимости параметров электрического отклика на импульсное ударное возбуждение от степени дефектности образцов железобетона. Все экспериментальные исследования проводились в научно-исследовательской лаборатории ПНИЛ ЭДиП Томского политехнического университета в соответствии с действующими стандартами.

2.1 Методика физического моделирования образцов

Испытания выполнялись на образцах бетона, армированного металлической арматурой. Образцы имеют размеры $100 \times 100 \times 400$ мм. Как указано в [37], для экспериментальных образцов из разных партий должна соблюдаться структурная и составная идентичность. В соответствии с этим, все образцы, подвергшиеся испытаниям, изготавливались по одной методике, приведенной ниже.

В состав бетона входят гравий, песок и цемент в соотношении 3,7:1,7:1, соответственно. Данное соотношение компонентов в бетонной смеси соответствует смеси используемой в промышленности. Соотношение количества воды к цементу равно 0,5.

Для изготовления моделей был использован чистый речной песок. Гравий использовался размером от 5 до 20 мм. Для просева были использованы металлические лабораторные сита, приведенные на рисунке 5.



Рисунок 5 – Лабораторные сита

Компоненты смешиваются при помощи лабораторной мешалки МЛА-30, представленной на рисунке 6. Прежде всего, в емкость мешалки засыпаются сухие материалы – гравий, песок и цемент. Далее в процессе перемешивания постепенно добавляется вода. Перемешивание продолжается вплоть до придания бетонной смеси однородной консистенции.



Рисунок 6 – Лабораторная мешалка МЛА-30

Арматура для образцов железобетона подготавливается заранее. Подробное описание процесса армирования, а также схемы армирования описаны в п. 3.1.

После установки арматуры, в формы укладывается готовая бетонная смесь.

Для исключения воздушных пустот в образцах железобетона осуществляется уплотнение бетонной смеси с помощью лабораторного вибростола СМЖ-539, который показан на рисунке 7. Уплотнение происходит за счет того, что при вибрации происходит компактная усадка бетонной смеси и вытесняется весь лишний воздух. Вибростол управляется с помощью таймера. Образцы выдерживаются под вибрацией в течении 30 с.



Рисунок 7 – Вибростол СМЖ-539

Далее образцы твердели 1 сутки в пропарочной камере, после чего извлекаются из форм и продолжают твердеть при комнатной температуре в течение 28 суток. По истечении этого времени, все образцы готовы к экспериментальным исследованиям. Готовые образцы представлены на рисунке 8:



Рисунок 8 – Готовые образцы железобетонных балок

2.2 Методика определения скорости распространения акустической волны в образцах железобетона

В данной работе электрический сигнал в образцах формируется за счет упругого ударного воздействия. Вследствие упругого удара в образцах железобетона формируется акустическая волна, которая, проходя через весь образец, возбуждает заряды двойных электрических слоев и пьезоэлементы, формируя таким образом электрический импульс. Поэтому все исследования, проведенные в данной работе, напрямую зависят от параметров распространения акустических колебаний в исследуемом материале, особенно от скорости их распространения.

Измерения производились следующим образом:

На одну из стенок образца устанавливается пьезопреобразователь (излучатель). Далее с генератора импульсов на излучатель подавался импульс. Таким образом, в образце возбуждается ультразвуковая волна. На противоположной стенке железобетонной балки, соосно излучателю устанавливается приемник, также представляющий собой пьезопреобразователь (рисунок 9).



Рисунок 9 – Измерение скорости распространения ультразвука в образце

На один вход платы ввода-вывода подается сигнал с генератора импульсов, а на второй – с приемника. Время с момента подачи импульса и до его принятия приемником есть время прохождения ультразвука через образец. Плата ввода вывода подключена к ПК. Таким образом, зная время прохождения ультразвуковой волны и расстояние, в специальной программе, построенной в среде LabView, рассчитывается скорость распространения ультразвукового импульса в данном материале. Рабочее окно программы представлено на рисунке 10.

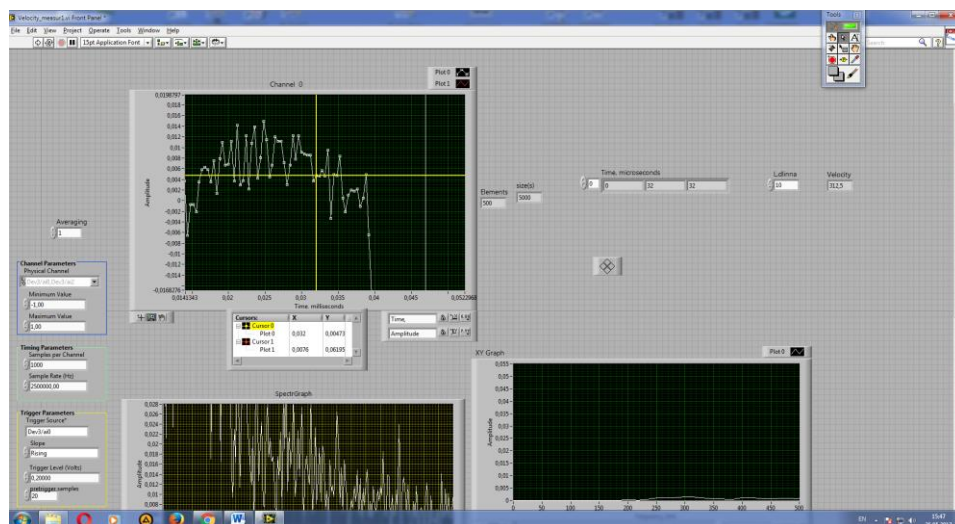


Рисунок 10 – Рабочее окно программы

В программе курсорами выставляется начало каждого сигнала и толщина изделия, которое проходит волна. В окне «Velocity» программа показывает рассчитанную скорость прохождения ультразвуковой волны через образец.

В процессе измерения было использовано следующее оборудование: генератор импульсов Olympus Panametrics 5058PR, пьезодатчики Olympus Panametrics V1011 VIDEOSCAN.

2.3 Методика и аппаратура для возбуждения и регистрации электрического отклика в образцах железобетона

Для возбуждения и регистрации электрического отклика в гетерогенных материалах используется установка, разработанная специально для этих целей в лаборатории ПНИЛ ЭДиП Национального исследовательского Томского политехнического университета. Внешний вид установки представлен на рисунке 11.

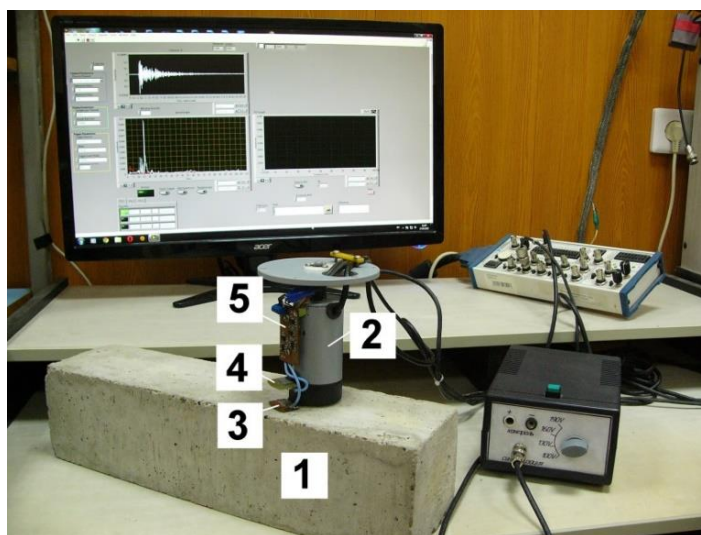


Рисунок 11 – Лабораторная установка для исследования механоэлектрических преобразований: 1 – образец; 2 – ударное устройство; 3,4 – измерительная и компенсационная пластины; 5 – дифференциальный усилитель

Электромеханическое ударное устройство 2 производит одиночный удар нормированной силы. Удар производился по металлической подложке, приложенной вплотную к образцу. Ударник и металлическая подложка изготовлены из закаленной стали одинаковой твердости, за счет чего удар получается упругим. Акустическая волна, по мере распространения по образцу возбуждает пьезоэлементы, содержащиеся в образце, а также вызывает смещение двойных электрических слоев. Это приводит к образованию электрического поля в материале. Регистрация производится дифференциальным электрическим датчиком. Электрический приемник представлен в виде двух воспринимающих металлических пластин. Первая пластина (3) располагается на расстоянии 2 мм от образца и является измерительной. Она воспринимает полезный сигнал и сигнал удаленной помехи. Вторая (4) располагается в 3-5 см от поверхности и предназначена для регистрации только сигнала удаленной помехи. Это позволяет на выходе датчика значительно повысить соотношение сигнал-шум.

Сигналы с датчиков подаются на вход дифференциального усилителя 5, а затем регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода «NI PCI-6251». Данная плата позволяет выполнять оцифровку временной реализации сигнала с частотой дискретизации до 1 МГц. Плата подключена к ПК и управляется с помощью специального программного обеспечения, разработанного в среде LabView. Рабочее окно программы представлено на рисунке 12.

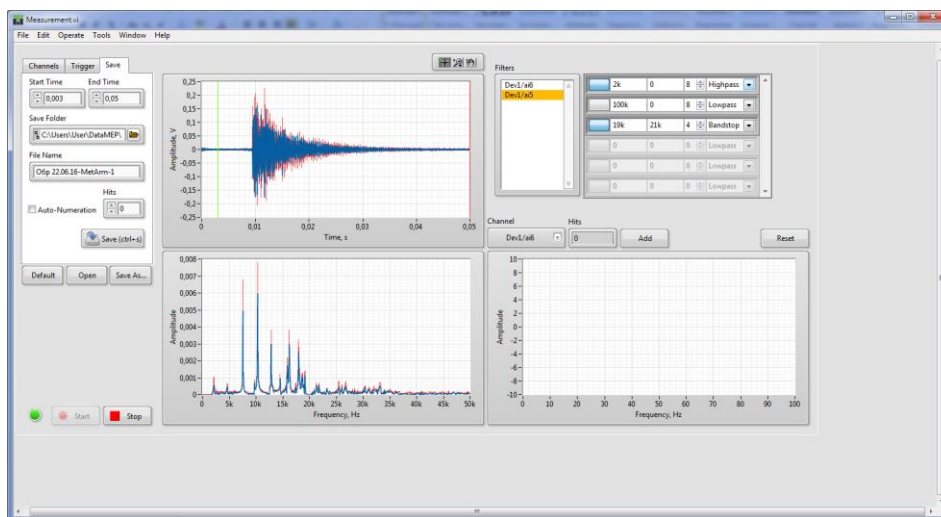


Рисунок 12 – Рабочее окно программы «Measurtment»

В окне программы задаются такие параметры, как частота оцифровки и число точек временной реализации сигнала. Устанавливается максимальное напряжение, подаваемое на вход АЦП. Чем меньше это напряжение, тем точнее аналоговый сигнал преобразуется в цифровой. В поле «Trigger» устанавливаются параметры порога срабатывания, при превышении которого начинается запись сигнала.

При нажатии кнопки «Start» программа переходит в режим ожидания. С помощью кнопки, расположенной на блоке питания, на ударное устройство подается напряжение и производится удар. Программа переходит в режим записи с помощью синхроимпульса длительностью 6 мкс и амплитудой 6 В, который формируется в источнике питания в момент подачи напряжения на катушку индуктивности ударника. В результате всех этих действий сигнал, поступающий с дифференциального усилителя, записывается в буфер

программы. Также в этой программе производится расчет спектра, полученного сигнала, с помощью БПФ. С помощью кнопки «Save» сигнал и его спектр сохраняется в постоянную память ПК в текстовом формате в виде табличных данных, с целью дальнейшей обработки и анализа.

2.4 Методика испытаний образцов на изгиб

Испытания железобетонных балок размером $100 \times 100 \times 400$ мм на изгиб производились с помощью автоматизированного гидравлического прессы ИП-500. Данный пресс позволяет записывать всю необходимую информацию об испытании. Процесс испытаний в прессе представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Процесс испытаний в прессе

Изгиб производился по схеме четырехточечного изгиба, которая показана на рисунке 15.

Схема нагружения образцов разработана в соответствии с [43]. Подробная схема нагружения модельных образцов в испытательном прессе представлена на рисунке 14:

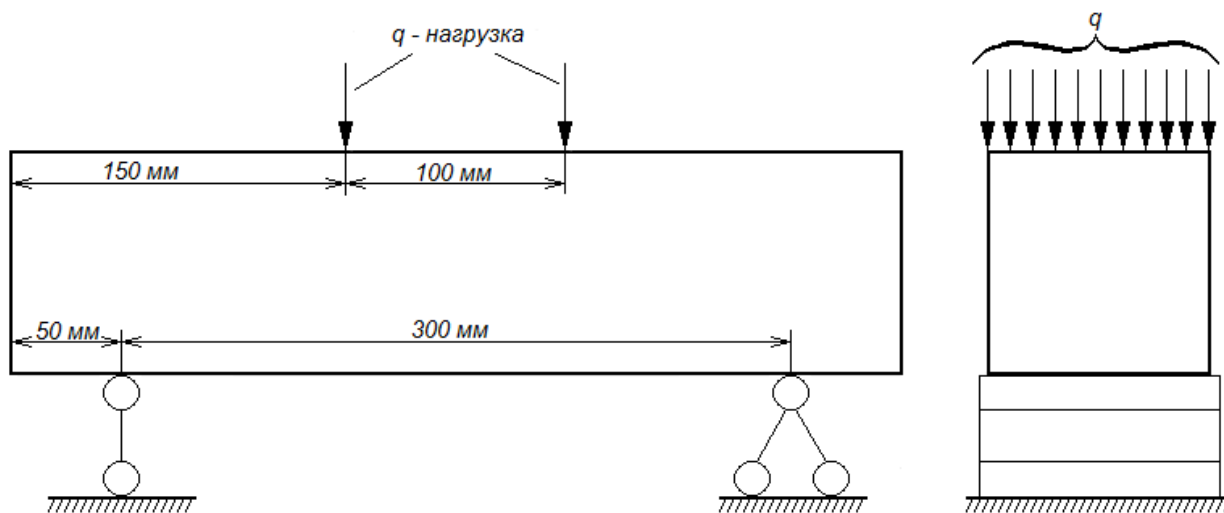


Рисунок 14 – Подробная схема нагружения модельных образцов в испытательном прессе

При нагружении в качестве опор применялись металлические цилиндры. Данная форма была выбрана для обеспечения минимального контакта с поверхностью образца, а также для исключения острых углов, которые могли бы повредить поверхность. Расстояние между нижними опорами равняется тройной высоте образца, между верхними – трети расстояния между нижними опорами.

Испытания производились следующим образом. На нижнюю плиту пресса устанавливается металлическая пластина с установленными на ней цилиндрическими опорами, в соответствии с рисунком 14. Далее на опоры помещался экспериментальный образец железобетона, с закрепленным сбоку измерительным зондом. Сверху на образец устанавливались еще две опоры, поверх которых располагалась такая же пластина. Далее с помощью компьютеризированного пресса производилось нагружение образца с постоянной скоростью 0,05 кН/с. При нагружении каждые 5 секунд производится запись электрического отклика на упругое ударное возбуждение испытуемого образца железобетона. Сам процесс нагружения отслеживается с помощью специальной компьютерной программы, регистрирующей нагрузку и деформацию с дискретностью по времени в 1 секунду (рисунок 15).

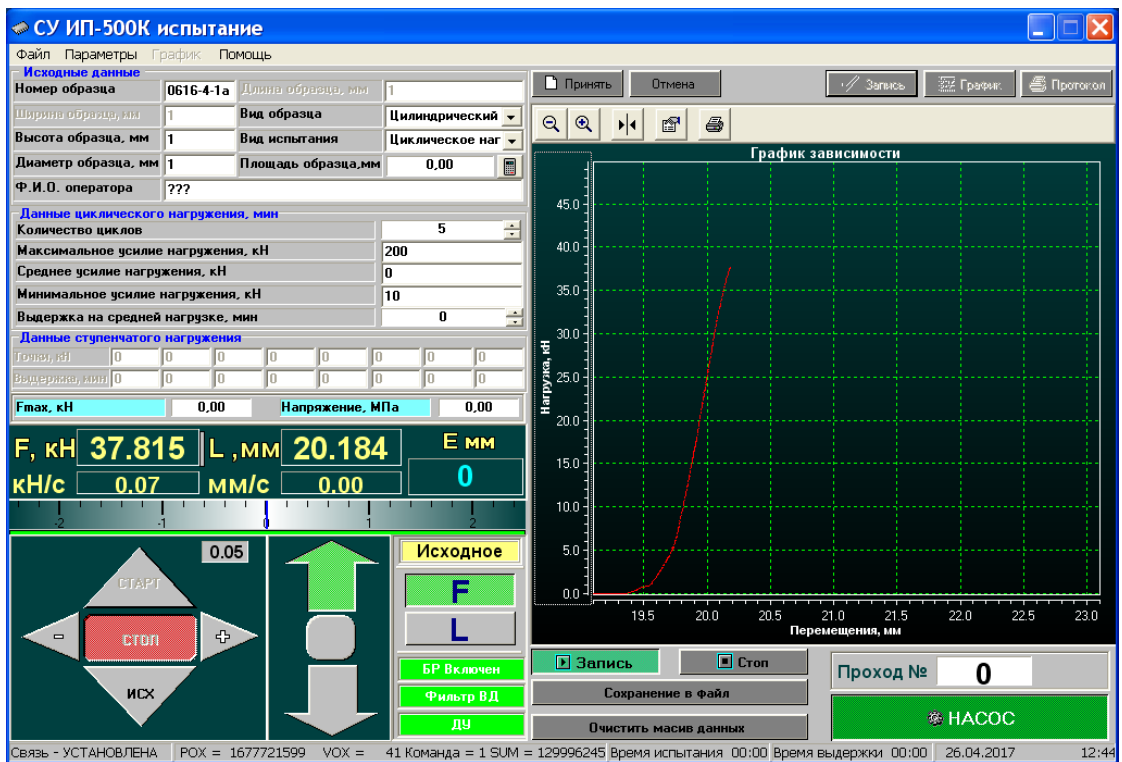


Рисунок 15 – Окно программы записи испытания изгибом

На рисунке 16 представлена фотография процесса испытания.



Рисунок 16 – Испытания железобетонной балки в процессе изгиба

В процессе испытания строятся нагрузочные кривые, полностью отражающие характер поведения образца под нагрузкой.

2.5 Методика обработки данных

В процессе исследования существовала необходимость расчета различных параметров сигнала и его спектра. Ниже представлены методики и описание компьютерных программ, с помощью которых это осуществлялось.

Определение коэффициента взаимной корреляции

Программа для расчета коэффициента корреляции имеет название «Corr_Model» и разработана в среде программирования LabView. Данная программа позволяет вычислять коэффициент взаимной корреляции двух временных реализаций сигналов или их спектров. Корреляционный анализ позволяет оценить функцию регрессии и выявить связь между случайными переменными, которые имеют совместное нормальное распределение.

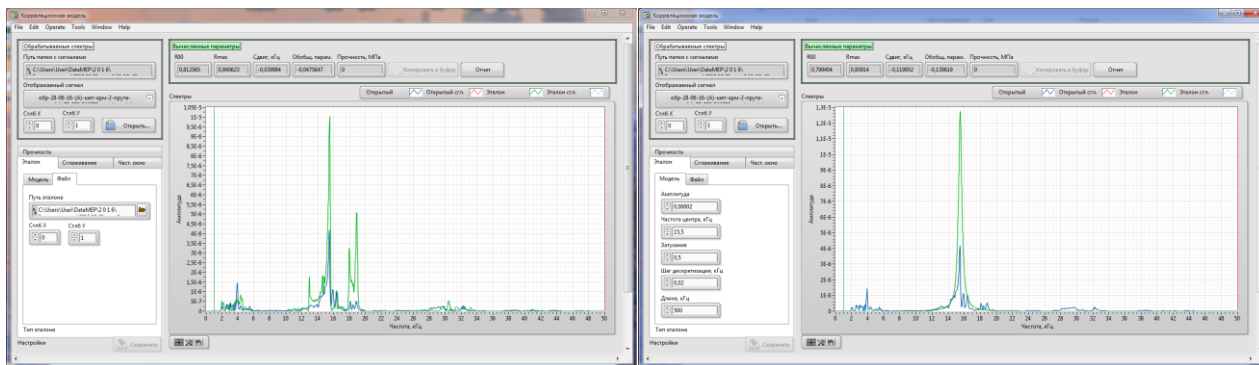
На вход программы подается два сигнала. Это могут быть исследуемый сигнал, и сигнал электрического отклика из бездефектного образца или исследуемый сигнал и математический эталон сигнала, построенный в специальной программе. Работа программы заключается в том, что она производит сдвиг сигналов относительно друг друга и в каждой точке вычисляет их коэффициент взаимной корреляции. Рассчитывается коэффициент корреляции в программе при помощи формулы 1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где: X_i и Y_i – две сравниваемые последовательности;

\bar{X} и \bar{Y} – их средние значения.

Рабочее окно программы представлено на рисунке 17.



а)

б)

Рисунок 17 – Рабочее окно программы расчета коэффициента корреляции:

а) – с реальным сигналом; б) – с математическим эталоном

В результате всех проделанных операций программа рассчитывает следующие параметры: максимальный коэффициент корреляции, сдвиг по частоте, при котором он получен и коэффициент корреляции с нулевым сдвигом по частоте.

Определение центра тяжести спектра электрического сигнала

При испытаниях железобетонных балок на изгиб наблюдается смещение спектров электрических откликов на импульсное ударное воздействие в области более низких или более высоких частот. Изменение спектрального состава можно количественно оценить с помощью такой характеристики как центр тяжести спектра. То есть производится оценка в сторону каких частот происходит перераспределение амплитуды или энергии спектральных пиков, и на какую величину. Такой параметр возможно использовать для оценки степени дефектности образцов, которая возникает в результате деградации материала в процессе трещинообразования при изгибе. В нашем случае для расчета центра тяжести использовалась специальная программа, разработанная в среде программирования LabView (Рисунок 18).

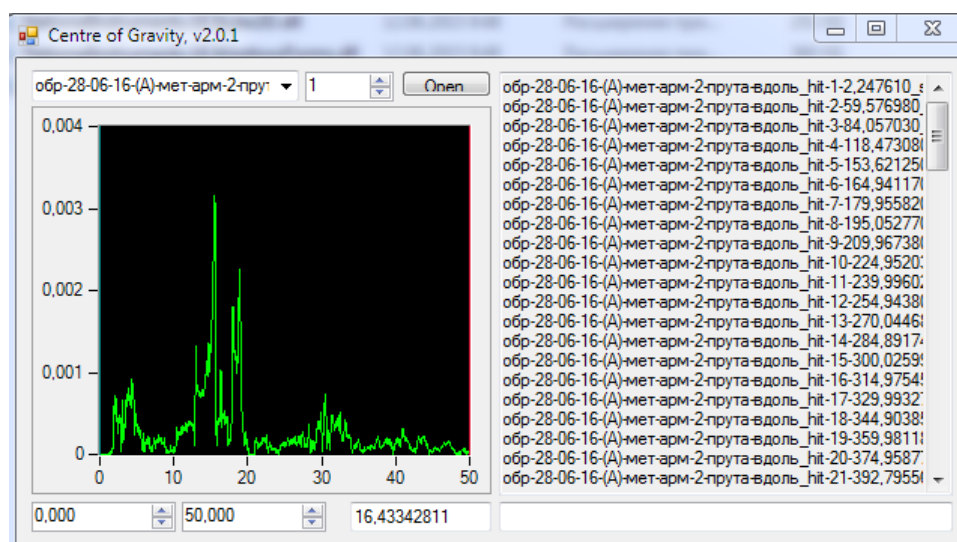


Рисунок 18 – Рабочее окно программы

В данной программе задается частотный диапазон, в котором последовательно вычисляется интеграл двух частей указанной области спектра и определяется частота, при которой они равны. Эта частота и является центром тяжести спектра. Полученный результат показывается в окне, напротив имени файла расчетного спектра, откуда его можно скопировать для последующей обработки.

Определение коэффициента затухания энергии электрического отклика

Также для количественной оценки изменений в электрическом отклике при испытаниях образцов железобетона на изгиб использовался коэффициент затухания. Для его получения используется частотно-временной анализ, описанный в работах [38,39].

Производится выбор размера скользящего окна и задается шаг для его смещения по временной реализации сигнала. Затем в окне программы выбирается необходимый частотный диапазон для анализа и рассчитывается интеграл выбранной части. Полученный интеграл представляет собой амплитуду электрического отклика на выбранном нами диапазоне частот в текущем времени. Полученная точка помещается в график, а скользящее окно смещается в следующую временную точку. Из полученных точек энергии

строится кривая, которая линейно аппроксимируется, и программа строит полученный график затухания сигнала.

Обработка данных производится в специально разработанной программе в среде программирования LabView (рисунок 19).

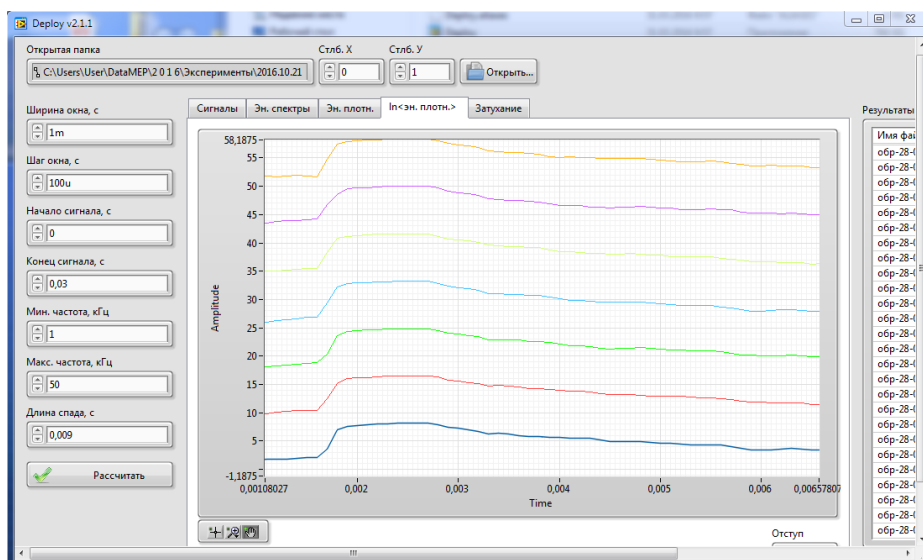


Рисунок 19 – Рабочее окно программы для расчета коэффициента затухания

Обработка данных с помощью программы Origin

Программный продукт Origin предназначен для графического представления результатов. Этот пакет позволяет не только строить те или иные графики, но, также проводить математическую обработку данных: Производить численное дифференцирование и интегрирование, осуществлять интерполяцию и экстраполяцию, вычислять различные зависимости и производить необходимые преобразования данных непосредственно в самой программе [40]. Для удобства работы в программе есть возможность экспортирования полученных графиков и таблиц в распространённые форматы: PDF, TIFF, JPEG, GIF и др. На рисунке 20 представлено рабочее окно программы.

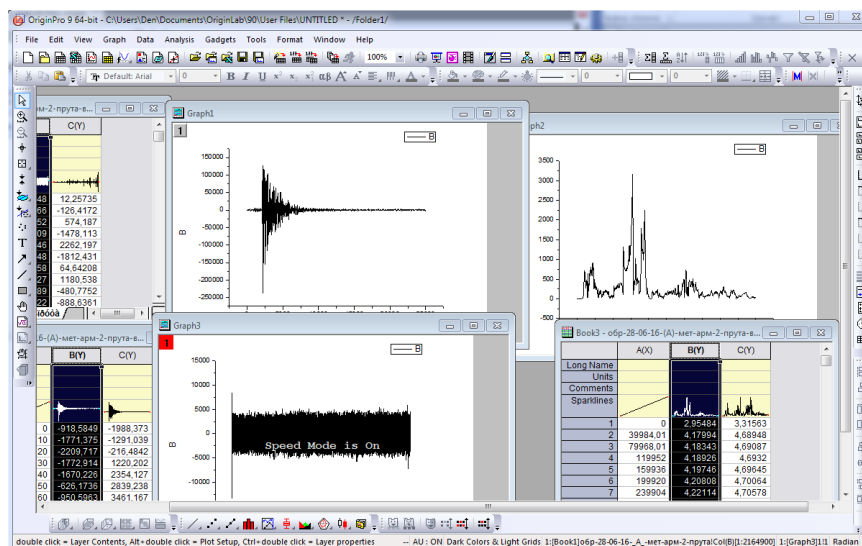


Рисунок 20 – Рабочее окно программы Origin

В данной работе использовалась программа Origin версии 9.0.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

Обоснование необходимости и актуальности разработки

В настоящее время при возведении зданий и сооружений в большинстве своем используется железобетон, потому что конструкции из него на данный момент зарекомендовали себя как наиболее экономически выгодный вариант. Однако, железобетон, как и другие материалы, в процессе эксплуатации подвержен разрушающему воздействию механических нагрузок и окружающей среды. С целью обеспечения безопасности эксплуатации таких сооружений существует необходимость осуществления мониторинга их технического состояния на всем сроке эксплуатации для осуществления своевременного ремонта. Существующие методы неразрушающего контроля не обладают достаточной надежностью и точностью, поэтому ведется разработка перспективного метода неразрушающего контроля железобетона на основе явления механоэлектрических преобразований в гетерогенных материалах, т.к. с помощью него можно отслеживать прочность, структурные характеристики, динамику изменения качества адгезионного контакта в системе бетон-арматура. В связи с этим тема диссертации является актуальной на сегодняшний день.

SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – комплексный анализ научно-исследовательского проекта, производящийся в несколько этапов[32].

Первый этап – выявление возможностей и угроз для реализации проекта (таблица 1).

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта (таблица 2).

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT – анализа. Результаты данного этапа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Комплексный анализ научно-исследовательского проекта

Характеристика	Описание
Сильные стороны	С1. Исследование прочности и дефектности железобетона с помощью метода, который обладает преимуществами в сравнении с другими. С2. Отсутствие подобных разработок. С3. Наличие бюджетного финансирования.
Слабые стороны	Сл1. Разработка метода далека от стадии завершения. Сл2. Сложность применения лабораторной установки в реальных условиях.
Возможности	В1. Оценка качества изделий перед началом эксплуатации. В2. Повышение надежности возводимых сооружений. В3. Увеличение срока службы данных конструкций. В4. Возможность избежать негативных последствий (в том числе человеческих жертв) в результате непредвиденного разрушения конструкций.
Угрозы	У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У2. Трудность реализации установки в готовый миниатюрный прибор.

В таблице 4 представлена интерактивная матрица проекта. Она позволяет разобраться с разными комбинациями взаимосвязей областей SWOT-анализа и выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Так знак «+» означает соответствие сильных сторон возможностям, «-» - слабое соответствие, и «0» - если есть сомнения по поводу соответствия сторон возможностям.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны			Слабые стороны	
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	+	+	+	-
	В3	+	-	-	+	0
	В4	-	-	0	+	+
Угрозы проекта	У1	-	+	+	+	+
	У2	0	-	+	+	+

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
		С1. Исследование прочности и дефектности железобетона с помощью метода, который обладает преимуществами в сравнении с другими. С2. Отсутствие подобных разработок. С3. Наличие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Оценка качества изделий перед началом эксплуатации. В2. Повышение надежности возводимых сооружений. В3. Увеличение срока службы данных конструкций. В4. Возможность избежать негативных последствий (в том числе человеческих жертв) в результате непредвиденного разрушения конструкций.	В1В2С1С2С3; В3С1	В1В2С1
Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У2. Трудность реализации установки в готовый миниатюрный прибор.	У1С2С3; У2С3	У1У2Сл1Сл2

Для уменьшения влияния слабых сторон необходима разработка установки, адаптированной для применения на реальных объектах. На данный момент работа в данном направлении ведется сотрудниками Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Сроки на проектирование и итоговая стоимость данной разработки еще не определены.

Для устранения основной угрозы и обеспечения своевременного финансирования необходим поиск инвесторов в лице компаний, связанных со строительством или с созданием типовых железобетонных конструкций. Данными мероприятиями занимаются ведущие научные сотрудники ПНИЛ ЭДиП.

4.2 Планирование управления научно – техническим проектом

План проекта заключается в составлении перечня работ, которые необходимы для достижения поставленных задач; в определении исполнителей каждой работы; в установлении продолжительности работ в рабочих днях. Каждый этап разработки требует определённых затрат труда и времени на его выполнение.

В рамках данного раздела необходимо составить календарный план проекта (таблица 6), а также составить диаграмму Ганта (таблица 7).

Таблица 6 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Наименование работ	Длит., дни	Срок выполнения	Состав участников
1	Определение темы проекта. Постановка задач	4	10.2015	Руководитель, Исполнитель

Продолжение таблицы 6

Код работы (из ИСР)	Наименование работ	Длит., дни	Срок выполнения	Состав участников
2	Патентный обзор	7	11.2015	Исполнитель
3	Ознакомление с литературой по вопросу армированного бетона	20	12.2015	Исполнитель
4	Составление структуры диссертации	6	01.2016	Руководитель, Исполнитель
5	Анализ современных методов неразрушающего контроля армированного бетона	10	02.2016	Исполнитель
6	Анализ метода неразрушающего контроля, основанного на явлении механоэлектрических преобразований	5	02.2016	Руководитель Исполнитель
7	Освоение лабораторной установки	2	03.2016	Руководитель Исполнитель
8	Изготовление лабораторных образцов	18	04.2016-06.2016	Исполнитель
9	Освоение изгибных испытаний	2	07.2016	Руководитель Исполнитель
10	Исследование электрического отклика из образцов железобетона в процессе изгиба	18	08.2016-10.2016	Исполнитель
11	Освоение методики определения прочности железобетонных балок	5	11.2016	Руководитель Исполнитель
12	Разработка критериев оценки качества образца железобетона по параметрам электрического отклика	14	12.2016-02.2017	Руководитель Исполнитель
13	Составление диссертации	29	02.2017-05.2017	Исполнитель

Таким образом, у исполнителя трудоемкость разработки составила 140 дней, а у руководителя – 40 дней.

Далее представлена диаграмма Гантта, которая используется для наглядно иллюстрации линейного календарного плана проекта.

№	Вид работ	Исп.	Т _{вып.} , дн.	Продолжительность выполнения работ																			
				2015 г.			2016 г.														2017 г.		
				Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май
1	Определение темы проекта. Постановка задач	Рук., исп.	4	■																			
2	Патентный обзор	Исп.	7		■																		
3	Ознакомление с литературой по вопросу железобетона	Исп.	20			■																	
4	Составление структуры диссертации	Рук., исп	6				■																
5	Анализ современных методов неразрушающего контроля железобетона	Исп.	10					■															
6	Анализ метода неразрушающего контроля, основанного на явлении МЭП	Рук., исп	5					■															
7	Освоение лабораторной установки	Рук., исп.	2						■														
8	Изготовление лабораторных образцов	Исп.	18							■	■	■											
9	Освоение изгибных испытаний	Рук., исп.	2									■											
10	Исследование электрического отклика из образцов железобетона в процессе изгиба	Исп.	18											■	■	■							
11	Освоение методики определения прочности железобетонных балок	Рук., исп.	5															■					
12	Разработка критериев оценки качества образца железобетона по параметрам электрического отклика	Рук., исп.	14															■	■	■			
13	Составление диссертации	Исп.	29																		■	■	■

4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Вся информация, связанная с затратами на приобретение всех необходимых материалов, полуфабрикатов и комплектующих представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Материалы необходимые для проведения исследований

Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за ед., руб	Сумма, руб
Гравий	мешок	1	250	250
Песок	мешок	1	220	220
Цемент	кг	25	35	875
Металлическая арматура	метр	7	25	175
Перчатки резиновые	шт.	5	70	350
Респиратор	шт.	1	90	90
Бумага, А4	Уп.	1	320	320
Всего				2280
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				88
Итого				2368

Специальное оборудование для экспериментальных работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной

аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме. Расчет представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена ед. оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Источник питания ТЕС 1300 к	1	4500	4500
2	Усилитель сигнала	1	4000	4000
3	Весы ВЛТЭ–2200	1	21800	21800
4	Прибор ультразвуковой УК-14П	1	18000	18000
6	Компьютер		38200	38200
Итого				86500

В процессе исследования использовался автоматизированный гидравлический пресс ИП-500. Так как его стоимость превышает 100000 руб., для него производился расчет амортизации. Формула для расчета амортизационных отчислений:

$$C_a = \sum_i^n \frac{C_{бал} \cdot H_a \cdot g_i \cdot t}{\Phi_{эф}} \quad (2)$$

где $C_{бал}$ – балансовая стоимость i -го вида оборудования, руб;

H_a – норма годовых амортизационных отчислений;

g_i – количество единиц i -го вида оборудования;

t – время работы i -го вида оборудования;

$\Phi_{эф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (250 дней).

Расчет затрат по статье спецоборудование с учетом амортизации представлен в таблице 10:

Таблица 10 – Расчет амортизации

№	Наименование оборудования	Балансовая стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Время работы, час	Сумма амортизации, руб.
1	Гидравлический пресс ИП-500	390000	15	200	2340
Итого					2340

Расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений на социальные нужды и накладные расходы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы сведен в табл. 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

№	Исполнители по категориям	Должность	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб
1	Руководитель	д.ф.-м.н., профессор	40	1535,27	33 775,83
2	Исполнитель	м.н.с	140	452,61	8893,56

Формула для расчета основной заработной платы работников, занятых выполнением проекта представлена ниже:

$$C_{\text{ЗП}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} \quad (3)$$

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

$Z_{\text{ДОП}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ДН}} \cdot T_{\text{РАБ}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{ОСН}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{РАБ}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. Дней.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{Z_{\text{М}} \cdot M}{F_{\text{Д}}}, \quad (5)$$

Где $Z_{\text{М}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{М}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{М}}$, руб	$Z_{\text{ДН}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33775,83	1,3	43908,58	1535,27	40	61400
Исполнитель	9893,56	1,3	12861,63	452,61	140	63280
Итого						124680

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 13 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	61400	63280
Дополнительная зарплата	6140	6328
Зарплата исполнителей	67540	69608
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	137148	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3(67540 + 69608) = 41144,4 \text{ руб}$$

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (9)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы включают в себя затраты на управление и хоз. Обслуживание (80-100% от общей суммы заработной платы работников).

$$C_{\text{накл}} = 0,8(67540 + 69608) = 109718,4 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат в таблице 14 составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы

Таблица 14 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	91208
Основная заработная плата	137148
Дополнительная заработная плата	12448
Отчисления на социальные нужды	41144,4
Накладные расходы	109718,4
Итого себестоимость НИР	391666,8

Заключение

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» представлено обоснование необходимости и актуальности разработки, проведен SWOT-анализ, рассчитан бюджет исследования. Согласно полученным результатам, тема, поднятая в исследованиях, является актуальной и перспективной. На основании исследований возможно создание способа неразрушающего контроля железобетона, что позволит производить мониторинг технического состояния железобетонных конструкций и производить их своевременный ремонт. Бюджет для реализации исследований составляет 391666,8 рублей.

Список публикаций студента:

1. Лыков А. Е. Разработка способа контроля напряженно-деформированного состояния бетона в условиях одноосного сжатия / А. Е. Лыков, Д. Д. Данн; науч. рук. А. П. Суржиков // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 6: Строительство и архитектура. — [С. 139-141].
2. Лыков А. Е. Исследование параметров электрического отклика на импульсное ударное воздействие в процессе изгиба железобетонных изделий / А. Е. Лыков; науч. рук. А. П. Суржиков // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.: в 3 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [4 с.].
3. Т.В. Фурса, М.В. Петров, Д.Д. Данн, А.Е. Лыков. Разработка комплексного метода оценки процессов трещинообразования при одноосном сжатии армированного бетона. Дефектоскопия, №6, 2016.