

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 физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Исследование механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой |

УДК 620.179.1:666.974:678.067.5:621.317

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ4А | Корзенюк Ирина Николаевна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|---------------|---------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой Физических методов и приборов контроля качества | Суржиков А.П. | д. ф-м.н. профессор | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой менеджмента | Чистякова Н.О. | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу экспериментальных исследований:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| В.н.с. ПНиЛ ЭДиП | Фурса Т.В. | д.т.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---------------|---------------------------|---------|------|
| Физические методы и приборы контроля качества | Суржиков А.П. | д. ф-м.н. профессор | | |

Томск – 2016 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-7, 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-4,50 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-2,ОК—6,ОК-3) 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 (ПК-1,ПК-10), 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 | Требования ФГОС (ПК- 15,ПК-4,ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), |

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
|----------------|---|--|
| | действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении. | 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 (ПК-10,ПК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями 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 (ПК-16,ПК-23,ПК-25) 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 (ПК-18; ПК-19) 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 (ПК-10; ПК-21, ПК-22) Критерий 5 АИОР (п.2.5), 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 физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|---------------------------|
| 1БМ4А | Корзенюк Ирине Николаевне |

Тема работы:

| | |
|--|------------------------|
| Исследование механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 2655/с от 27.04.2015 |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

15.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---------------------------------|---|
| Исходные данные к работе | Конструкции из армированного бетона эксплуатируются в условиях воздействия статических и динамических нагрузок и значительных сезонных колебаний температуры и влажности, в результате воздействия которых в бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой происходят процессы трещинообразования, приводящие к разрушению конструкции. Для решения проблем безаварийной эксплуатации сооружений необходимо осуществлять контроль прочности контакта бетона с арматурой. Перспективным для этих целей является использование явления механоэлектрических преобразований, заключающееся в преобразовании энергии импульсного механического возбуждения в энергию электромагнитного поля на структурных неоднородностях и пьезоэлектрических включениях в гетерогенных материалах. |
|---------------------------------|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> | <ul style="list-style-type: none"> – анализ отечественной и зарубежной литературы по теме диссертации и современным методам неразрушающего контроля изделий и конструкций из бетона; – анализ литературных данных по разработке нового неразрушающего метода контроля, основанного на использовании явления механоэлектрических преобразований; – сравнительный анализ параметров механоэлектрических преобразований в тяжелом бетоне и бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой; – исследование механоэлектрических преобразований в бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой в процессе проведения знакопеременных климатических циклов; – анализ влияния циклического замораживания – оттаивания на прочность сцепления бетона со стеклопластиковой арматурой; – организация, планирование и оценка научной эффективности научно-исследовательской работы; – анализ опасных и вредных производственных факторов и разработка комплекса защитных мероприятий. |
| <p>Перечень графического материала</p> | <p>Слайд 1 – Титульный лист; Слайд 2 – Введение; Слайд 3 – Цель работы; Слайд 4 – Задачи Слайд 5 – Лабораторный комплекс для исследования механоэлектрических преобразований в композиционных строительных материалах; Слайд 6 – Электрические сигналы и их спектральные характеристики; Слайд 7 – Связь упругих характеристик тяжелого и армированного бетона с параметрами электрического сигнала; Слайд 8 – Влияние циклического замораживания-оттаивания на временные и спектральные характеристики электрического сигнала; Слайд 9 – Зависимость коэффициента затухания энергии электрических сигналов от количества циклов замораживания - оттаивания; Слайд 10 – Изменение центра тяжести спектров электрических сигналов в условиях циклического замораживания-оттаивания; Слайд 11 – Зависимость коэффициента корреляции от количества циклов замораживания - оттаивания; Слайд 12 – Изменение скорости звука в моделях армированного стеклопластиковой арматурой бетона; прошедших различное количество циклов замораживания -оттаивания;</p> |

| | |
|--|--|
| Перечень графического материала | Слайд 13 - Результаты механических испытаний образцов бетона, армированного стеклопластиковой арматурой; Слайд 14 – Зависимость коэффициента затухания энергии электрических сигналов от прочности связи бетона с арматурой Слайд 15 – Заключение; Слайд 16 – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Слайд 17 –Социальная ответственность; Слайд 18 – Список публикаций |
|--|--|

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

| Раздел | Консультант |
|---|-----------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Чистякова Н.О. |
| Социальная ответственность | Анищенко Ю.В. |
| На английском языке | Устюжанина А.К. |
| Экспериментальная часть | Фурса Т.В. |

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Методики проведения исследований

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 15.10.2014 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой ФМПК | Суржиков А.П. | д. ф-м.н. профессор | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ4А | Корзенюк Ирина Николаевна | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ4А | Корзенюк Ирине Николаевне |

| | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Институт | неразрушающего контроля | Кафедра | ФПМК |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | Приборостроение |

| | |
|---|--|
| Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: | |
| Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах. |
| Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | Обоснование необходимости и актуальности разработки; анализ конкурирующих разработок; SWOT-анализ. |
| Разработка устава научно-технического проекта | Цели, результат и организационная структура проекта. |
| Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | План проекта; бюджет научного исследования; реестр рисков проекта. |
| Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Эффективность проекта. |
| Перечень графического материала | |
| Диаграмма Ганта; реестр рисков; матрица SWOT-анализа. | |

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|---------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Заведующий кафедрой менеджмента | Чистякова Н.О. | к.э.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 1БМ4А | Корзенюк Ирина Николаевна | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ4А | Корзенюк Ирине Николаевне |

| | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Институт | неразрушающего контроля | Кафедра | ФПМК |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | Приборостроение |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|---|
| Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Краткое аннотационное содержание научно-исследовательской работы. Область применения и возможные пользователи разрабатываемого метода неразрушающего контроля, основанного на явлении механоэлектрических преобразований |
|---|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <p>Производственная безопасность</p> <p>- Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования и которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований</p> <p>- Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p> | Анализ выявленных опасных и вредных факторов: электрический ток; повышенный уровень электромагнитных излучений; недостаточная освещенность рабочей зоны; отклонение показателей микроклимата; монотонность труда; умственное перенапряжение. |
| <p>Экологическая безопасность</p> <p>Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду, обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p> | Источники загрязнения окружающей среды: образцы армированного бетона. |
| <p>Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p> <p>Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые может инициировать объект исследований, а также разработка порядка действия в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.</p> | Возможные ЧС: разрушение зданий, сооружений; взрывы; пожары. |
| <p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> | Организационные мероприятия при компоновке 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 |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ4А | Корзенюк Ирина Николаевна | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105с., 28рис., 19табл., 44 источника, 1прил.

Ключевые слова: механоэлектрические преобразования, электрический сигнал, армированный бетон, стеклопластиковая арматура, циклическое замораживание – оттаивание, прочность сцепления бетона с арматурой.

Объектом исследования является электрический сигнал, возникающий в результате механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой.

Цель работы – исследование закономерностей механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой, для выявления диагностических критериев определения степени их деградации в условиях циклического замораживания - оттаивания.

В результате выполнения работы на основе амплитудно-частотного, частотно–временного и корреляционного анализа установлены основные закономерности механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой при циклическом замораживании – оттаивании и предложены критерии определения степени дефектности.

Степень внедрения: полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки метода входного контроля армированных конструкций, который позволит производить разбраковку изделий по их качеству и повысить надежность возводимых сооружений. Это даст возможность увеличить срок службы данных конструкций и избежать негативных последствий (в том числе человеческих жертв) в результате их непредвиденного разрушения.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

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

ГОСТ 12.4.009 – 83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в ЧС. Основные положения.

ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

явление механоэлектрических преобразований: Преобразование энергии импульсного механического возбуждения в энергию электромагнитного поля на заряженных структурных неоднородностях и пьезоэлектрических включениях в гетерогенных материалах.

электрический сигнал: Результат возникновения переменного электрического поля при импульсном механическом возбуждении гетерогенного неметаллического материала.

спектр электрического сигнала: Амплитудно-частотная характеристика сигнала, рассчитанная с помощью быстрого Фурье-преобразования.

Оглавление

| | |
|--|-------------------------------|
| Введение | 12 |
| 1 Бетон, армированный стеклопластиковой арматурой и методы его исследования | 14 |
| 1.1 Основные сведения о бетоне и стеклопластиковой арматуре | 14 |
| 1.2 Неразрушающие методы контроля прочности и дефектности армированного бетона | 22 |
| 1.3 Неразрушающий метод контроля строительных материалов на основе явления механоэлектрических преобразований | 30 |
| 2 Методики проведения исследований | 33 |
| 2.1 Методики и аппаратура для регистрации и обработки электрических сигналов | 33 |
| 2.2 Методика регистрации скорости прохождения акустической волны через образец | 46 |
| 2.3 Методика проведения климатических испытаний | 47 |
| 2.4 Методика определения прочности сцепления бетона со стеклопластиковой арматурой | 46 |
| 2.5 Методика изготовления образцов | 49 |
| 3 Экспериментальные исследования | 53 |
| 3.1 Сравнение параметров электрического сигнала из моделей неармированного и армированного стеклопластиковой арматурой бетона | 53 |
| 3.2 Влияние циклического замораживания оттаивания на параметры электрического сигнала из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой | 57 |
| 3.3 Исследование параметров электрического сигнала из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой в процессе механического нарушения адгезионного контакта | 64 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 70 |
| 5 Социальная ответственность | 86 |
| Заключение | 99 |
| Список публикаций | 100 |
| Список использованных источников | 101 |
| Приложение А | 106 |
| CD-диск | В конверте на обороте обложки |

Введение

Наряду с основным армированным строительным материалом – железобетоном все чаще используются армированные стеклопластиковой арматурой бетоны. Растущее применение стеклопластиковой арматуры является результатом ее устойчивости к коррозии и высокого соотношения прочности к весу по сравнению со стандартной стальной арматурой. Но даже при таком типе армирования, при воздействии природных условий, особенно в регионах со значительными сезонными колебаниями температуры и влажности, конструкции из армированного бетона постепенно разрушаются.

Для принятия эффективных решений по снижению уровня опасности проживания населения на территориях, подверженных воздействиям природных факторов, необходима достоверная информация о реальном техническом состоянии зданий и сооружений, построенных в этих регионах.

В настоящее время нет достаточно простых и надежных неразрушающих методов определения происходящих в конструкциях из армированного бетона нарушений. Используемые для этих целей методы обладают рядом недостатков и не имеют широкого применения. Поэтому существует необходимость разработки методов контроля с целью обеспечения мониторинга технического состояния инженерных сооружений, который является залогом своевременного обнаружения изменения несущей способности конструкций и основой безопасной эксплуатации.

Перспективным для этих целей является использование явления механоэлектрических преобразований при упругом ударном возбуждении гетерогенных неметаллических материалов.

Тема диссертации является актуальной, так как задача контроля качества и диагностики разрушения композиционных строительных материалов имеет очень важное практическое значение, а механоэлектрические преобразования, происходящие на границах неоднородностей внутри материала позволяют

исследовать такие структурные характеристики материалов, которые невозможно изучать с использованием других методов.

Цель работы – исследование закономерностей механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой, для выявления диагностических критериев определения степени их деградации в условиях циклического замораживания - оттаивания.

Для достижения цели в работе необходимо решение следующих задач:

- провести сравнительный анализ параметров механоэлектрических преобразований в тяжелом бетоне и бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой
- исследовать механоэлектрические преобразования в бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой в процессе проведения знакопеременных климатических циклов;
- оценить влияние циклического замораживания – оттаивания на прочность связи бетона со стеклопластиковой арматурой.

Объект исследования – электрический сигнал, возникающий в результате механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой.

Предмет исследования – разработка метода неразрушающего контроля армированного стеклопластиковой арматурой бетона на основе явления механоэлектрических преобразований.

Результатом выполнения магистерской диссертации является установление при проведении циклического замораживания – оттаивания основных закономерностей механоэлектрических преобразований в бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой, а также оценка влияния циклических климатических циклов на прочность связи с бетона с арматурой. Полученные данные могут послужить основой для разработки алгоритмов и методик неразрушающего контроля армированных материалов.

1 Бетон, армированный стеклопластиковой арматурой и методы его исследования

1.1 Основные сведения о бетоне и стеклопластиковой арматуре

В настоящий момент бетонные конструкции по праву занимают главное место в мировом производстве строительной продукции.

Бетон - каменный искусственный материал, применяемый во всех областях строительства, обладающий высокой архитектурно-строительной выразительностью, сравнительной простотой и доступностью технологии, малой энергоемкостью, экологической безопасностью и эксплуатационной надежностью (рисунок 1).



Рисунок 1 – Бетон

Бетон получают в результате затвердения уплотненной смеси цемента, мелкого и крупного заполнителей и воды.

Цемент – это порошкообразная группа веществ, отличающаяся вязкостью и способностью при смешивании с водой или ее солевыми растворами превращаться в пластичную массу, приобретающую при высыхании вид и свойства камня. Это односторонний процесс – затвердев, цемент никогда не вернется в свое исходное состояние.

Основными составляющими цемента являются глинистые, известковые, мергелистые породы, а также различные добавки. Эти сырьевые материалы после высокотехнологичной и высокотемпературной обработки полностью или частично расплавляются. Так образуются алюминаты кальция и силикаты, а цемент приобретает достаточно высокую прочность – важнейшее свое качество [1-3].

Портландцемент – это гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением клинкера и гипса (до 3,5%).

Марка цемента – это свойство, характеризующее качество любого цемента. В строительстве применяют цементы марок М300, М400, М500, М550 и М600.

Вода для приготовления бетонов и строительных растворов должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011[4]. Вода не должна содержать химических соединений и примесей в количествах, указанных в стандарте.

В качестве заполнителей для бетонов применяются природные материалы – песок, гравий и щебень. Применением тех или иных заполнителей можно получить бетоны с разными свойствами.

Заполнители для обычных бетонов подразделяют на мелкий и крупный.

Под мелким заполнителем понимается материал с зернами от 0,05 до 5 мм и прежде всего природный песок. При необходимости природный песок может быть заменен искусственным. Искусственный песок получают путем дробления твердых горных пород.

Крупный заполнитель подразделяют на гравий и щебень, керамзит. Гравий – каменный материал, образовавшийся в результате выветривания горных пород, размерами 2 – 70 мм. Щебень – дробленный на куски камень. В зависимости от требуемой прочности бетона щебень изготавливается как из прочных, так и слабых естественных пород, а также кирпича и доменных шлаков. Керамзит – искусственный пористый материал ячеистого строения, имеющий вид дробленого щебня, получаемый из легко вспучившихся глин и глинистых сланцев при их обжиге.

В данной работе при изготовлении лабораторных моделей используется тяжелый бетон.

Тяжелый бетон – это смесь цемента, воды, песка и крупного заполнителя. Тяжёлым считается бетон с удельной массой одного кубического метра от 1800 до 2500 кг. Тяжёлый бетон – самый прочный из распространённых видов бетона и наиболее часто используемый. Область применения тяжёлого бетона - все виды монолитных несущих конструкций. Доступная цена в совокупности с великолепными прочностными характеристиками, удобством подачи и укладки, на сегодняшний день делают тяжёлый бетон самым практичным строительным материалом. Лишь в двух областях тяжёлый бетон уступает легкому - при устройстве ограждающих конструкций (стен) и легких перекрытий.

При проектировании бетонных конструкций, армированных стеклопластиковой арматурой следует применять виды бетонов, отвечающие функциональному назначению конструкций и требованиям, предъявляемым к ним, согласно действующим стандартам.

Новые технологии все больше затрагивают строительную отрасль и все чаще используют инновационные материалы, которые превосходят традиционные материалы по техническим и экономическим показателям. Использование стеклопластиковой арматуры является одним из инновационных направлений в строительстве, заменяя во многих случаях традиционную металлическую.

Армирующим элементом является неметаллическая стеклопластиковая арматура с применением стеклянных волокон [5,6]. Стеклопластиковая арматура представляет собой стеклопластиковый стержень диаметром от 4 до 18 мм, длиной до 12 метров с ребристой поверхностью спиралеобразного профиля (рисунок 2).

В зарубежных изданиях ее можно встретить по аббревиатуре GFRP - bars (Glass Fiber Reinforced Plastic bars – полимерная арматура, упрочненная непрерывным волокном).



Рисунок 2 – Стеклопластиковая арматура

К преимуществам данной композитной арматуры можно отнести:

- Прочность. Прочность на разрыв у стеклопластиковой арматуры в 3 раза выше, чем у стальной арматуры при равном диаметре, что позволяет применять композитную арматуру меньшего диаметра (равнопрочная замена).
- Легкость. Исходя из плотности, стеклопластиковая арматура легче металлической более чем в 4 раза, соответственно при равнопрочной замене легкость конструкции будет больше в 9 раз.
- Экономический эффект. Данная арматура значительно дешевле металлической, на 50-60%. Срок годности не ограничен. Прогнозируемая долговечность не менее 80 лет. Следовательно, сокращение или ликвидация ремонтных работ и долговечность самой конструкции.
- Коррозионная стойкость. По сравнению со стальной арматурой, стеклопластиковая не подвергается коррозионному разрушению благодаря полимерам, входящим в состав.
- Стойкость к агрессивным средам. Арматура относится к материалам 1-ой группы химической стойкости, гарантируя долговечность и отсутствие возможности появления трещин в бетоне и разрушения армированных бетонных конструкций вследствие внутренних напряжений, возникающих в процессе коррозии и коррозионного разбухания, как это происходит в случаях со стальной арматурой.

- Постоянность характеристик. Собственные характеристики стеклопластиковых арматур остаются постоянными как при критически низких, так и при критически высоких температурах. Конструкции на основе данной арматуры могут выдерживать воздействующие на них температуры в диапазоне от -70 до +100 градусов Цельсия. Технические характеристики же при этом воздействии остаются постоянными.
- Низкая теплопроводность. По сравнению со стальной арматурой теплопроводность стеклопластиковой существенно ниже, она практически не пропускает тепло благодаря своему полимерному составу.
- Бесшовность. Продажа арматуры осуществляется бухтами, до 150м длиной, надобность резать арматуру отпадает, проблематичность транспортировки исключается легким весом.
- Магнитоэнергетность и радиопрозрачность. При воздействии на конструкцию электромагнитного поля прочностные характеристики изделия остаются постоянными и неизменными. Радиоволны проходят сквозь армированную стеклопластиком конструкцию беспрепятственно.
- Диэлектричность. Стеклопластиковая арматура не проводит электрический ток. Данное свойство предотвращает короткие замыкания проводки, находящейся внутри бетонных конструкций. Так же композит препятствует появлению малых токов в каркасе из арматуры.
- Экологичность. Вредных веществ, угрожающих жизни человека или окружающей среде из арматуры, не выделяется.

Растущее применение стеклопластиковой арматуры является результатом его устойчивости к коррозии и высокого соотношения прочности к весу по сравнению с обычным стальным армированием. Тем не менее, отличия в механическом поведении неметаллической арматуры по сравнению со стальной имеет некоторые недостатки, которые связаны с отсутствием тепловой совместимости между бетоном и композиционной арматурой.

Сравнительные характеристики стеклопластиковой и стальной арматуры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение арматур

| Характеристика | Стальная арматура класса А-III(А400С) | Стеклопластиковая арматура |
|---|---------------------------------------|--|
| Материал | сталь | стеклоровинг, связанный полимером на основе эпоксидной смолы |
| Предел прочности при растяжении, МПа | 390 | 1300 |
| Относительное удлинение, % | 25 | 2.2 |
| Модуль упругости, МПа | 210 000 | 55 000 |
| Продольный коэффициент линейного расширения, $\alpha \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ | 13-15 | 9-12 |
| Поперечный коэффициент линейного расширения, $\alpha \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ | 13-15 | 30-50 |
| Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ | 7850 | 1900 |
| Коррозионная стойкость к агрессивным средам | корродирует | нержавеющий материал |
| Теплопроводность | теплопроводная | нетеплопроводная |
| Электропроводность | электропроводная | диэлектрик |
| Выпускаемые профили, диам. мм | 6-80 | 4-20 |
| Длина, м | 11.7 м | по заявке покупателя |
| Экологичность | экологичная | 4 класс опасности (малоопасные) |

Армирование стеклопластиковой арматурой бывает внутренним, внешним и комбинированным [7].

Внутреннее неметаллическое армирование применимо к случаям, когда среда не агрессивна к бетону и агрессивна к стальной арматуре.

Принцип внутреннего армирования - замена стальных стержней стеклопластиковыми определенного диаметра. Стеклопластиковые стержни не уступают по прочности стальным, по коррозионной стойкости значительно превосходят их и поэтому используются в конструкциях, в которых существует опасность коррозии арматуры. Из арматурных стержней чаще всего образуют пространственные каркасы или плоские сетки. Скрепление стеклопластиковых стержней в армокаркасы осуществляется путем связывания или применением самозащелкивающихся пластмассовых кляммеров.

Внешнее стеклопластиковое армирование одновременно выполняет три функции: защитную, силовую и функцию опалубки при бетонировании, и применяется во внешней листовой арматуре. Стеклопластиковая арматура надежно защищает бетон от воздействий внешней среды, поскольку стеклопластиковая оболочка непроницаема для воздуха и воды.

Внешнее армирование может устраиваться как на отдельных, наиболее напряженных участках (когда нет необходимости защиты бетона от воздействия агрессивной среды) так и по всей площади поверхности несущего элемента. Возможны два пути получения бетонных конструкций в стеклопластиковых оболочках. Первый – нанесение на предварительно высушенные бетонные элементы стеклопластиковой оболочки, путем обматывания их стекловолокном с послойной пропиткой смолой. Второй - предварительное изготовление стеклопластиковой оболочки и последующее заполнение ее бетонной смесью. Первый путь обеспечивает создание поперечного предварительного обжатия бетона, повышающего прочность и снижающего деформативность получаемой конструкции. Предварительное обжатие бетона создается за счет усадки связующего в процессе полимеризации, а также при натяжении стеклонитей. Также внешнее армирование возможно путем обмотки элементов стеклолентой. В ряде случаев стеклопластиковая оболочка способна оказывать достаточно большое влияние на характер напряженно-деформированного состояния бетона.

Комбинированное армирование применимо к случаям, для восприятия механических нагрузок внешнего армирования недостаточно, конструкцию дополняют внутренней арматурой, как металлической, так и стеклопластиковой.

Применение стеклопластиковой арматуры в строительной сфере весьма разнообразно. Согласно стандартам СП 28.13330.2012 и МГСН 2.08-01С, а также учитывая свойства, стеклопластиковая арматура может быть применена в следующих конструкциях[8,9]:

- в плитах перекрытия длиной до 5м;
- фундаментах ниже нулевой отметки залегания;
- в конструкциях, подверженных влиянию агрессивных сред;
- при смешанном армировании бетонных и железобетонных конструкций;
- в осветительных опорах, опорах ЛЭП, изолирующих траверсы ЛЭП;
- в конструкциях, подвергающихся постоянному тепловому режиму не выше 60 °С и кратковременному до 100 °С;
- в армировании деревянных и клееных балок для повышения жесткости изгибаемого элемента;
- в зданиях до 3х этажей (включительно);
- при армировании кирпичной кладки, особенно в зимний период, когда кладочный раствор дополняют противоморозными добавками - хлористыми солями, вызывающими коррозию стальной арматуры;
- на объектах дорожного строительства.

Технология сборки каркасов из композитной - вязка арматуры стальной проволокой или вязка с использованием самозатягивающихся полимерных стяжек (рисунок 3). Из условия совместной работы бетона и арматуры выбирается толщина защитного слоя, устанавливаются фиксаторы из полимерных и теплостойких материалов. При проектировании конструкций на основе стеклопластиковой арматуры толщина защитного слоя определяется в соответствии с СП 63.13330.2012[10].



Рисунок 3 – Примеры соединения стеклопластиковой арматуры

1.2 Неразрушающие методы контроля прочности и дефектности армированного бетона

Неразрушающий контроль - совокупность методов измерения и проверки показателей качества изделия без изменения присущих ему свойств, размеров и характеристик. Он позволяет получать дополнительную информацию, прямо или косвенно характеризующую изменения качества контролируемого объекта во времени, исключать уже при изготовлении потенциально ненадёжные изделия со скрытыми дефектами, отбирать наиболее надёжные образцы для работы в особо сложных условиях, определять причины возникновения скрытых дефектов, чтобы вовремя устранять их.

Методы неразрушающего контроля основываются на наблюдении, регистрации и анализе результатов взаимодействия физических полей (излучений) или веществ с объектом контроля, причем характер этого взаимодействия зависит от химического состава, строения, состояния структуры контролируемого объекта и т.д.[11,12].

1.2.1 Визуальный метод

Самым простым и основным был и остается визуальный метод контроля, который обычно выполняется до применения других методов, и чаще всего без какого-либо оборудования. Основные достоинства визуального метода это, то, что он осуществляется органами зрения и имеет простую технологию контроля. Применяется для всех материалов в целях обнаружения поверхностных дефектов изделий. В строительстве визуальным методом можно оценить техническое состояние элементов и объектов по внешним признакам, которое производится на основе определения: наличия трещин, отколов, разрушений, прогибов и деформаций конструкций. Недостаток визуального контроля заключается в ограниченности такого метода, поскольку он позволяет исследовать только видимые дефекты и неоднородности, и имеет низкую точность контроля.

1.2.2 Механические методы

Механические методы контроля включают в себя прямые и косвенные неразрушающие методы.

К прямым механическим методам относятся: метод стандартных образцов, метод определения прочности по образцам, извлеченным из конструкции.

Наиболее широко используемым методом является метод стандартных образцов. В этом случае образцы для испытаний изготавливаются из той же бетонной смеси и арматуры, которые применяются при возведении конструкции. Однако достоверность контроля прочности армированного бетона по такому методу является недостаточной из-за того, что объем испытаний стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в армированную

конструкцию бетона, условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны.

Метод определения прочности по образцам, извлеченным из материала конструкции, также используется для определения прочности армированных конструкций. Пробы армированного бетона для изготовления образцов отбирают путем выпиливания или выбуривания из конструкций или ее частей. Места выборки после извлечения проб заделывают мелкозернистым бетоном или бетоном, из которого изготовлены конструкции. При обследовании конструкций зданий и сооружений эти методы испытания изделий неприменимы.

К косвенным механическим методам армированного бетона относятся: метод отрыва со скалыванием, и метод отрыва стальных дисков.

Метод отрыва со скалыванием является наиболее точным, но и наиболее трудоемок при проведении испытаний, т.к. присутствует необходимость подготовки шпуров для установки анкера. Данный метод неприменим к тонкостенным и густоармированным конструкциям.

Метод отрыва стальных дисков может использоваться при испытании бетонных изделий, содержащих густоармированные конструкции. Метод имеет высокую точность и меньшую трудоемкость по сравнению с методом отрыва со скалыванием. Недостатком этого метода является заблаговременная подготовка, которая требует приклеивания дисков за несколько часов до момента испытания. В настоящее время метод используется крайне редко.

Методы местных разрушений, как и все методы контроля, имеют свои недостатки, такие как большая трудоемкость, необходимость определения местоположения и глубины арматуры, невозможность использовать большинство методов на участках с большим наличием арматуры, и частичное повреждение поверхности конструкции, а также необходимость уточнять градуировочные зависимости.

1.2.3 Акустические методы

Методы акустического контроля делятся на две группы: пассивные, которые основываются только на регистрации колебаний и волн, и активные, которые используют излучение и прием акустических колебаний и волн.

Акустические методы позволяют ориентировочно определить прочность конструкции, как на отдельном ее участке, так и всего элемента в целом без ее разрушения и обнаруживать дефекты в изделиях, возникающие в процессе производства и эксплуатации.

С помощью акустических методов можно проводить сплошной контроль качества армированного бетона, как вовремя, так и после изготовления изделия. Также могут быть внесены изменения в производственный процесс для улучшения качества изделий.

Пассивный акустико-эмиссионный метод применим при отслеживании процессов разрушения как отдельных элементов так и всей конструкции в целом. Основу данного метода составляет регистрация и последующий анализ сигналов акустической эмиссии, которые возникают при пластической деформации исследуемого материала, изменении структуры, образовании трещин, которые принимаются соответствующим преобразователем в виде волн напряжений. Значительные трудности использования акустической эмиссии появляются при не высоком уровне напряжений, когда на фоне помех полезный сигнал трудно выделяем. Основным недостатком эмиссионного метода является использование его только для непрерывного мониторинга изделий в процессе разрушения, а также большая зависимость от скорости звука, которая в бетоне является величиной непостоянной и имеет даже на модельных образцах большую погрешность определения координат.

Активные методы контроля (ультразвуковые) базируются на использовании ультразвуковых волн. Суть данного метода контроля заключается в анализировании корреляции со скоростями распространения в конструкции упругих волн или нелинейностью диаграммы деформирования. В

первую очередь производится анализ изменения параметров волн, прошедших в зоне дефекта или отраженных от него. Точность методов, базирующихся на измерении скорости звука, обеспечивается точностью измерения скорости звука, так как скорость звука сильно зависит от состава бетона, шероховатости поверхности, наличия арматуры и влажности. Применение ультразвукового метода в строительных материалах ограничено из-за значительного затухания ультразвуковых волн на неоднородностях структуры.

Эхо-метод применим в том случае, когда доступ к изделию возможен только в одностороннем порядке. Суть метода заключается в послышке коротких импульсов ультразвуковых колебаний в изделие и регистрации времени прихода эхосигналов и их интенсивности, отражённых от неоднородностей. Как правило, при помощи эхо-метода невозможно определение даже достаточно больших дефектов из-за низкого отношения сигнал шум, а также из-за слишком широкой диаграммы направленности преобразователя.

В теновом методе признак обнаружения дефекта - уменьшение амплитуды ультразвуковой волны, прошедшей от излучающего пьезопреобразователя к приемному. Недостатками метода являются малая точность оценки координат дефектов и необходимость двустороннего доступа к конструкции, достоинством - высокая помехоустойчивость.

В зеркально-теновом методе признак обнаружения дефекта - уменьшение амплитуды ультразвуковой волны, отраженной от противоположной поверхности изделия. При применении данного метода нет необходимости в двустороннем доступе к проверяемой конструкции. Зеркально-теновой метод является более помехоустойчивым, достоверным при выявлении глубинных дефектов, применяется для изделий небольшой толщины с грубо обработанной поверхностью. Однако точность определения координат дефекта и при этом методе невысока.

Акустические методы имеют ряд недостатков, например, необходимость зоны контакта. Существенные искажения в регистрируемый сигнал при определении координат расположения дефекта будет вносить шероховатость

поверхности, а также качество контакта акустического датчика с объектом контроля, снижающие точность методов.

1.2.4 Тепловой контроль

Тепловой метод контроля основан на регистрировании из контролируемых объектов изменений температурных или тепловых полей. Тепловым методом можно обследовать объекты из любых материалов. На распределение температур в изделии влияют геометрические параметры, химический состав, наличие дефектов и др..Бетонные армированные конструкции, находящиеся в удовлетворительном состоянии, имеют характерное тепловое распределение, которое рассматривают в качестве эталона. Отклонение температуры от этого эталона может быть причиной наличия скрытых дефектов конструкций. Определение дефектов различного типа происходит при нагреве или охлаждении материалов, в виде зон повышенной или пониженной температуры.

Данный метод применяется в основном для проведения натуральных испытаний качества теплозащиты наружных ограждающих конструкций, оценка теплового режима зданий, установление теплопотерь, выявление эксплуатационных дефектов (аномальное увлажнение, протечка воды), обнаружение дефектов строительства.

Недостаток данного метода контроля заключается в необходимости использования контактных устройств, затрудняющих при непрерывных измерениях процессы автоматизации. При бесконтактном доступе к конструкции возникает зависимость корректности измерений от погодных условий и чистоты окружающей среды.

1.2.5 Радиоволновой метод

Суть данного метода состоит в регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона при взаимодействии с исследуемым объектом. В большинстве случаев используются волны сверхвысокочастотного диапазона (длина от 1 мм до 100 мм). Данный метод позволяет производить контроль материалов, в которых затухание радиоволн незначительно: магнетодиэлектрики (ферриты), диэлектрики (пластмассы, керамика, стекловолокно), тонкостенные металлические объекты, полупроводники. Наличие дефектов в исследуемых изделиях при проведении радиоволнового метода контроля приводит к появлению дополнительных отражений электромагнитного поля, изменяющих интерференционную картину и вызывающих дополнительные потери энергии. Недостаток метода – обязательное соблюдение расстояния между соседними объектами, а также сравнительно низкая разрешающая способность устройств, реализующих данный метод.

1.2.6 Разрабатываемые и совершенствуемые методы неразрушающего контроля

Недостатки стандартных методов контроля армированного бетона обусловили усовершенствование существующих развитие других неразрушающих методов контроля.

За рубежом на данный момент ведутся разработки, основанные на использовании акустической эмиссии для определения времени начала образования трещин и ее локализации внутри армированной конструкции путем определения координат источников акустического возбуждения [13]. Основным недостатком данного подхода, как и у всех эмиссионных методов, является использование только для непрерывного мониторинга изделий в

процессе разрушения. Разрабатываемый подход связан с большой зависимостью от скорости звука, являющейся непостоянной в таких материалах как бетон, а также наличие большой погрешности определения координат даже на лабораторных образцах.

Разработки методов, базирующихся на использовании электропроводящих слоев на модельных образцах, являются достаточно трудоемкими по своему осуществлению [14,15]. Авторы предлагают наносить электропроводящий слой образцы для определения наличия трещины и времени начала ее образования по электрическому сопротивлению. Сложность метода заключается в покрытии всей поверхности материала проводящим слоем перед проведением непосредственного контроля. Данный этап затрудняет применение разработки для реальных конструкций.

Степень дефектности армированных бетонных образцов возможно отследить при помощи временного сдвига акустических волн[16]. Сложность осуществления данного подхода в том, что из-за высокой скорости звука в бетоне и многократного отражения волн проблематично определить начало импульса на образцах с большим количеством крупного заполнителя.

Контроль бетона, армированного стекловолокном может быть также осуществлен с помощью терагерцовых волн[17]. Как показали исследования, при помощи данных волн можно более достоверно определять глубинные дефекты в конструкциях и их местоположение. Недостатком является то, что данный подход находится в стадии разработки, и применим на данный момент только как дополнение к стандартным ультразвуковым методам.

Авторы работы по усовершенствованию ультразвукового метода контроля армированного бетона предлагают при исследовании конструкций на предмет появления трещин после испытания на изгиб ввести новый параметр оценки дефектности [18]. Отмечено, что в качестве информативного параметра метода можно использовать нелинейный гистерезисный параметр, основанный на данных о частотах в точках изгиба, являющийся более чувствительным к деградации адгезионного контакта бетона с арматурой.

Применение ультразвуковых волн в режиме C-Scan, представленных в виде карт также может служить методикой контроля бетонных конструкций на основе стекловолокна, как в процессе изготовления, так и после воздействия механических нагрузок[19]. Методика основана на частотно-зависимом обнаружении дефектов. На сегодняшний день происходит поиск оптимальной частоты для построения достоверной цветной карты армированного бетона, выявляются возможные причины образования затененных зон. Метод находится в процессе усовершенствования, и на сегодняшний день дополняется проверкой достоверности выявленных повреждений при помощи электронной микроскопии.

Метод, с использованием фазированных антенных решеток и ультразвуковых волн, при определении дефектности строительных армированных конструкций имеет существенные недостатки [20]. К таким недостаткам можно отнести наличие большой мертвой зоны в приповерхностной и донной областях, что ограничивает применение данного метода к изделиям малой толщины, а также невозможность выявления дефектов, в частности трещин, которые в большинстве случаев являются основной причиной разрушения строительных материалов.

Метод инфракрасной термографии активно адаптируется для контроля бетонов, армированных стеклопластиковой арматурой[21]. Выявлено, что термография в сочетании с тепловой импедансной характеристикой материалов позволяет оценивать состояние адгезионного контакта бетона с арматурой. Разрабатываются алгоритмы соотнесения полученных термических характеристик с механическими свойствами армированных конструкций.

1.3 Неразрушающий метод контроля строительных материалов на основе явления механоэлектрических преобразований

Метод на основе механоэлектрических преобразований при упругом ударном возбуждении разрабатывается сравнительно недавно [22-24]. Суть его заключается в следующем. Композитные материалы являются гетерогенными структурами, то есть включают в себя множество компонентов. На границе раздела этих компонентов существует двойной электрический слой. При импульсном механическом возбуждении образца, в его объеме формируются акустические волны, порождающие переменное электрическое поле. Данное поле возникает в результате смещения зарядов двойного электрического слоя и пьезоэффекта, возникающего вследствие деформации пьезокварца (содержится в гравии и речном песке, используемых при производстве бетона) этими же акустическими волнами. Таким образом, под действием акустических волн происходит смещение зарядов двойных электрических слоев, а также зарядов, возникающих на гранях пьезокварца за счет прямого пьезоэффекта. В результате этого возникает переменное электромагнитное поле, которое регистрируется электрическим измерительным приемником сигнала, расположенным вблизи от изучаемого образца, и находящимся в зоне действия этого поля. Проведенными исследованиями установлено, что основной вклад в генерирование электромагнитного поля, возникающего при упругом ударном возбуждении бетона, вносят пьезоэлектрические включения [25].

При ударном воздействии импульс напряжения прикладывается в точке на поверхности образца и проходит в структуру. Волны проходят в структуру по полусферическим волновым фронтам и отражаются от внешних границ образца. Волны, отраженные от свободных поверхностей распространяются обратно в образец и вновь отражаются от внешних границ. В результате в образце формируется режим вибрации. Сферическая волна при отражении от боковых поверхностей приводит к формированию в образце волн,

распространяющихся под различными углами. В результате в образце формируется сложная волновая картина.

В изделии из бетона содержится большое количество кварцевых включений, имеющих различное направление пьезоэлектрических осей. Суммарное электрическое поле в зоне приема является результатом векторного сложения полей от всех источников. Поэтому электрический отклик позволяет надежно отражать характер трансформации параметров акустических волн при взаимодействии с дефектами, которые имеют различную ориентацию и конфигурацию. В отличие от этого в стандартных акустических методах пьезоэлектрический приемник регистрирует волны, распространяющиеся в направлении перпендикулярном к плоскости приемника. В результате этого акустический отклик не чувствителен к трещинам, направление которых перпендикулярно плоскости датчика. Следовательно, предлагаемый метод более чувствителен к трещинам, имеющим различное направление и сложную конфигурацию.

Приемник электрического датчика не контактирует с образцом. Пьезоисточники расположены в объеме образца и деформируются упругими волнами, распространяющимися внутри образца, поэтому на параметры электрического отклика не оказывают влияния поверхностные эффекты. В то время как на параметры сигнала, воспринимаемого стандартными ультразвуковыми приемниками, большое влияние оказывает состояние поверхности образца и качество акустического контакта ультразвукового приемника с образцом. Следовательно, данный метод является более чувствительным к внутренней структуре материала по сравнению с ультразвуковыми методами.

В настоящее время разработаны алгоритмы и методики неразрушающего контроля прочности, структурных характеристик, напряженно-деформированного состояния, глубины и концентрации трещин в образцах бетона по параметрам электрического сигнала на упругое ударное возбуждение [26-28].

2 Методики проведения исследований

2.1 Методики и аппаратура для регистрации и обработки электрических сигналов

Все экспериментальные исследования на основе явления механоэлектрических преобразований выполнялись с помощью лабораторного программно-аппаратного комплекса (рисунок 4), разработанного на базе лаборатории ПНИЛ ЭДиП Национального исследовательского Томского политехнического университета.



Рисунок 4 – Лабораторный комплекс для исследования механоэлектрических преобразований

Состав лабораторного комплекса:

- 1 – лабораторный образец;
- 2 – электромеханическое ударное устройство;
- 3 – измерительный приемник;
- 4 – компенсационный приемник;
- 5 – дифференциальный усилитель;
- 6 – терминальный блок платы ввода-вывода;
- 7 – источник питания.

Импульсное механическое возбуждение образца (1) осуществлялось с помощью электромеханического ударного устройства (2), позволяющего производить однократный нормированный удар по стальной подложке, закрепленной на основании ударного устройства. В качестве ударного устройства использован электромагнит. Необходимая сила удара обеспечивается путем подачи напряжения на обмотку электромагнита с импульсного источника питания. Металлический сердечник электромагнита со сферическим наконечником, расположенный внутри корпуса ударного устройства, позволяет создавать в материале упругую сферическую волну. Удар производится по металлической подложке, закрепленной на основании ударного устройства, в результате чего всегда расстояние от точки удара до электрического приемника одинаково. Наконечник ударного элемента и подложка для создания упругого удара изготовлены из закаленной стали одинаковой твердости. Величина ударной нагрузки составляет порядка 100 Н, а длительность импульса возбуждения 60 мкс. Через подпружиненный контакт с помощью груза или прижима рукой металлическая подложка плотно прижимается к образцу, что позволяет осуществлять хороший акустический контакт подложки с поверхностью образца.

Электрический измерительный приемник (3) через акустическую развязку закреплен на корпусе ударного устройства, поэтому всегда располагается на одинаковом расстоянии от поверхности, приблизительно 2 мм. Приемник представляет собой металлическую пластину из фольгированного текстолита размером 20x25 мм, соединенную с землей через входное сопротивление 20 МОм. В результате появления на поверхности приемного электрода свободных носителей заряда индуцированных электрическим полем, через входное сопротивление измерительной схемы начинает протекать ток. Для измерения использован дифференциальный электрический датчик, содержащий два приемных электрода измерительный и компенсационный.

Компенсационный приемник (4) по своим характеристикам идентичен измерительному и расположен на высоте 30 мм от него. Измерительный приемник воспринимает все типы поступающих сигналов – и полезный сигнал из образца, и сигнал внешней помехи. Компенсационный приемник конструктивно удален от источника полезного сигнала и практически воспринимает только помеховый сигнал.

Данные сигналы поступают на вход дифференциального усилителя на основе микросхемы AL8253 (5), вычитаются и усиливаются. Чувствительность по входу приемного электрического тракта не хуже 100 мкВ, рабочая полоса частот от 0.2 до 200 кГц. При помощи платы ввода-вывода «N1 PC1-6251» регистрируется сигнал с электрического датчика, происходит оцифровку временной реализации электрического сигнала с частотой дискретизации 1 МГц. Длительность электрического сигнала также устанавливается в программном окне. Выбор длительности осуществляется таким образом, чтобы весь полезный сигнал регистрировался программой. Экспериментально установлено, что 30 мс является достаточным временем для сигнала.

Для осуществления процедуры регистрации электрических сигналов на ударное возбуждение изделий разработана специальная программа в среде программирования LabView 9.0. Рабочее окно программы приведено на рисунке 5.

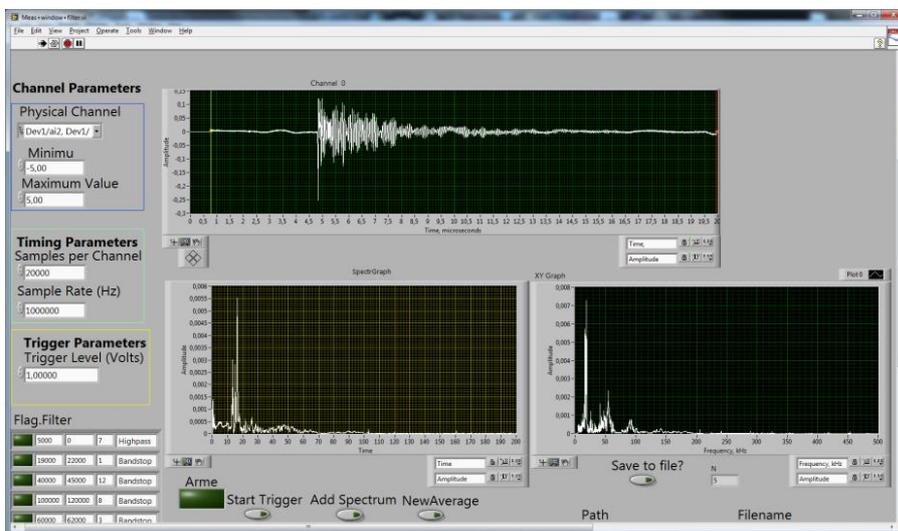


Рисунок 5 – Окно рабочей панели программы «Measurement»

В программе регистрации в поле «Timing Parameters» задается частота оцифровки и число точек временной реализации. Далее устанавливаются пределы измерения напряжения в вольтах и указываются рабочие каналы, с которых принимаются сигналы в поле «Channel Parameters». В поле «Trigger Parameters» вводятся параметры порога срабатывания, при превышении которого начинается запись сигнала. Перед началом работ измеряется уровень внешних помех. Для этого устанавливается порог срабатывания ниже помехового уровня, запускается программа с помощью кнопки «Start trigger», и программа переходит в режим записи. На основе полученной спектральной характеристики фонового электрического сигнала в поле «Flag Filter» задаются верхние и нижние границы частот фильтров и их порядок, с помощью которых удаляются высокоамплитудные помеховые составляющие, присутствующие в фоновом сигнале.

Когда все подготовительные операции выполнены, устанавливается порог срабатывания порядка 1В, запускается программа с помощью кнопки «Start trigger» и программа переходит в режим ожидания. Затем с помощью кнопки, расположенной на блоке питания осуществляется замыкание коммутационного реле и подается напряжение на ударное устройство. Переход программы в режим записи происходит от синхроимпульса амплитудой 5В и длительностью 6 мкс, который формируется в источнике питания в момент подачи напряжения на катушку индуктивности ударного устройства. При подаче напряжения происходит срабатывание ударного устройства и производится удар по исследуемому объекту. В результате этого на выходе дифференциального усилителя появляется электрический сигнал и происходит его запись в буферную память программы.

В рамках этой же программы производится расчет спектров сигналов с помощью стандартного быстрого Фурье-преобразования. В окнах отображается сигнал и спектр сигнала. После регистрации сигнал и спектр для дальнейшей обработки и анализа записываются в текстовые файлы формата *.txt, представленные в виде табличных данных.

2.1.1 Методика определения коэффициента корреляции

Корреляционный анализ осуществлялся в программе «Corr_Model», разработанной в среде программирования LabView 9.0. Программа позволяет последовательно смещать сравниваемые сигналы относительно друг друга. С помощью данной программы можно вычислять коэффициент функции взаимной корреляции двух временных реализаций сигналов или их спектров. Программа основана на стандартном методе оценки степени корреляции двух последовательностей. Корреляционный анализ позволяет оценить функцию регрессии и выявить связь между случайными переменными, которые имеют совместное нормальное распределение. В программе рассчитывается выборочный коэффициент корреляции по формуле 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.

На вход программы по выбору пользователя подаются 2 сигнала. Исследуемый и реальный сигналы, либо исследуемый сигнал и математический эталон электромагнитного сигнала из бездефектного образца. Математический эталон смоделирован в среде программирования LabView 9.0 и представляет собой свободно затухающие гармонические колебания. Далее устанавливается максимальное количество точек для сдвига.

Работа программы заключается в том, что она сдвигает сигналы относительно друг друга, и через каждую точку вычисляет коэффициент корреляции. В результате пользователю доступны следующие расчетные данные: максимальный коэффициент взаимной корреляции, сдвиг, при котором он получен и коэффициент корреляции при нулевом сдвиге.

Программа может работать как с временной реализацией, так и со спектрами сигналов. Рабочее окно программы представлено на рисунке 5.

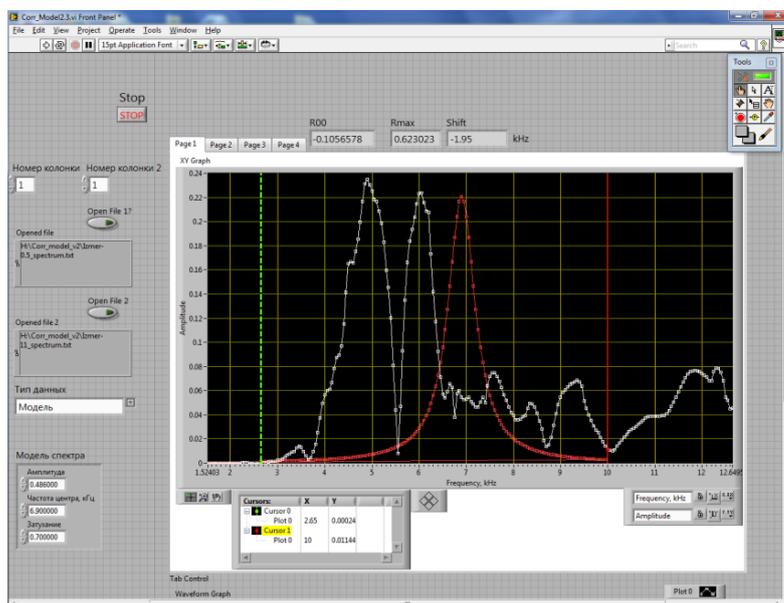


Рисунок 5 - Рабочее окно программы для вычисления коэффициента корреляции

2.1.2 Методика определения коэффициента затухания

Для определения коэффициента затухания электрического сигнала из образца использовался частотно-временной анализ, описанный в работе [29,30].

Нахождение коэффициента затухания сводится к отслеживанию характера изменения спектральной энергии упругих волн как функции времени. Обработка полученных экспериментальных данных производится в специальной программе среды программирования LabView (рисунок 6).

Изначально производится выбор размера скользящего окна и задается шаг для смещения этого окна по временной реализации сигнала.

Изначально с помощью курсоров в энергетическом спектре сигнала выбирается диапазон частот, необходимый для анализа. Расчет суммарной

спектральной энергии электрического сигнала производится для каждого окна в выбранном частотном диапазоне.

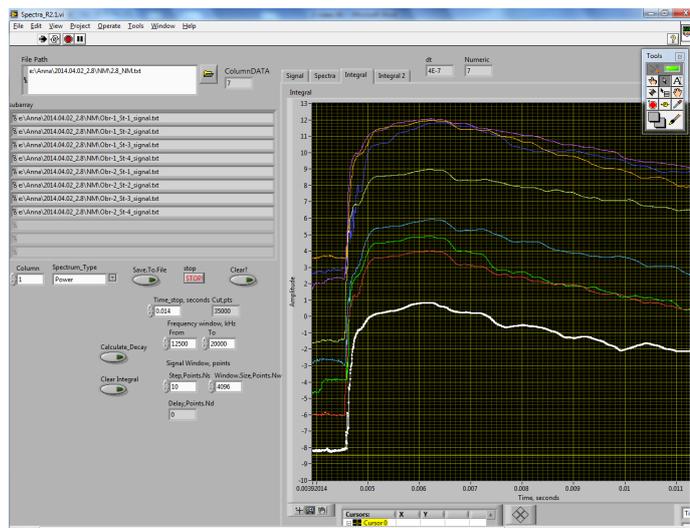


Рисунок 6 – Рабочее окно программы для определения коэффициента затухания

Рассмотрим пример анализа затухания спектральной энергии в образце бетона, армированного стеклопластиковой арматурой размером 100x100x100 мм. На рисунке 7 приведен энергетический спектр электрического сигнала из образца бетона, армированного стеклопластиковой арматурой.

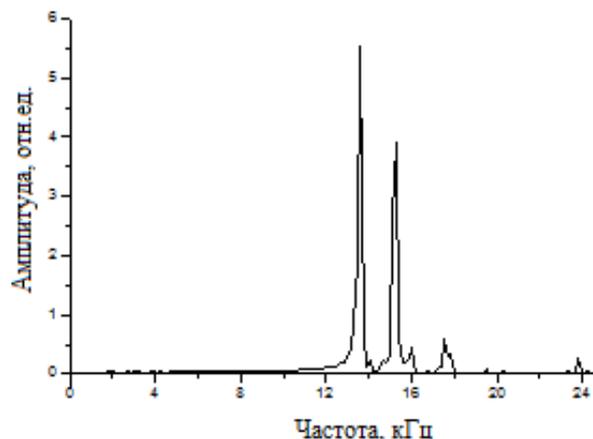


Рисунок 7 – Энергетический спектр электрического сигнала из образца бетона, армированного стеклопластиковой арматурой

Как видно из рисунка 7 диапазон частот, в котором расположена основная доля энергии электрического сигнала, лежит в области 13-18 кГц. В качестве задаваемого параметра диапазона частот необходимо выбрать

диапазон несколько больший, так как при замене измеряемого образца другим, могут происходить небольшие смещения спектральных пиков как в область низких, так и в область более высоких частот.

Для выбора оптимального размера скользящего окна, необходимо с одной стороны оценить при каком размере временной реализации энергетический спектр скользящего окна будет наиболее достоверно отражать спектр полного сигнала.

На рисунке 8 приведен электрический сигнал из рассматриваемого образца бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, спектр которого изображен на рисунке 7. Общая длина электрического сигнала при частоте оцифровки 1 МГц составляет 17429 точек.

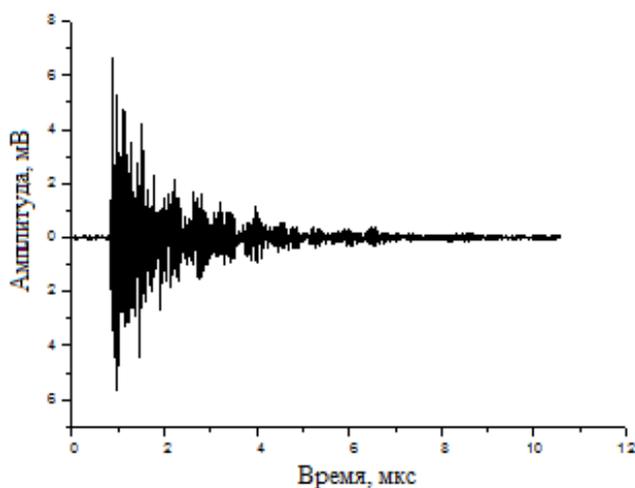
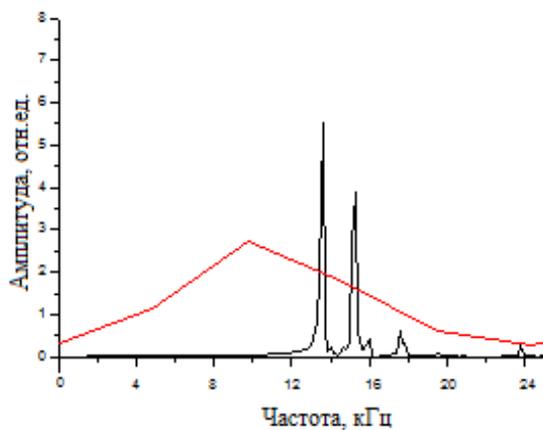
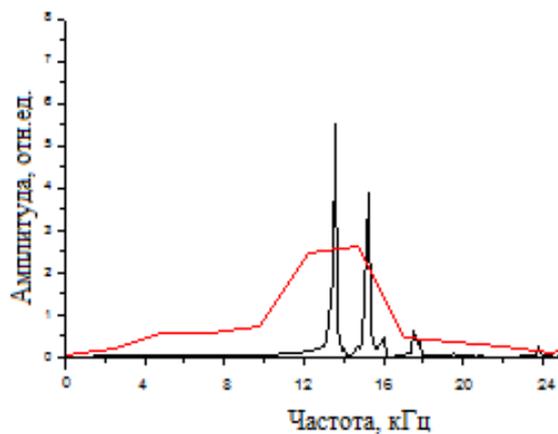


Рисунок 8 – Электрический сигнал из образца бетона, армированного стеклопластиковой арматурой

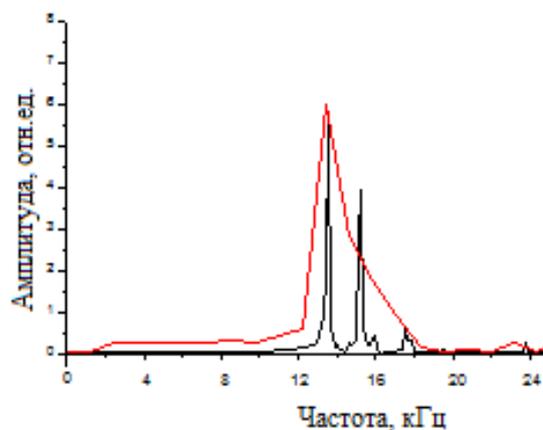
Размер скользящего окна оптимально выбирать после проведения сравнения энергетических спектров, полученных из исследуемого образца армированного бетона, для исключения искажения спектра сигнала. В программу заложена возможность выбора размера окна – 512, 1024, 2048, 4096 или 8192 точек. На рисунке 9 приведено сравнение энергетических спектров с разным размером скользящего окна.



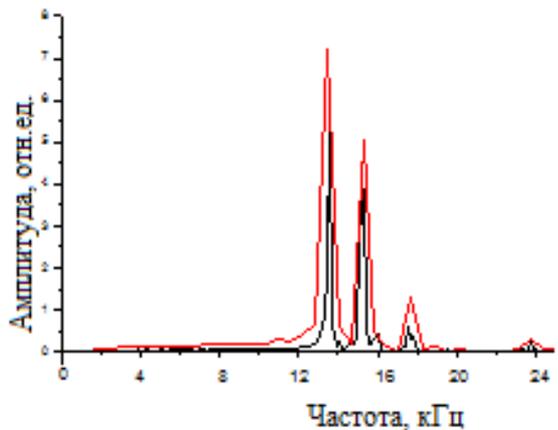
а)



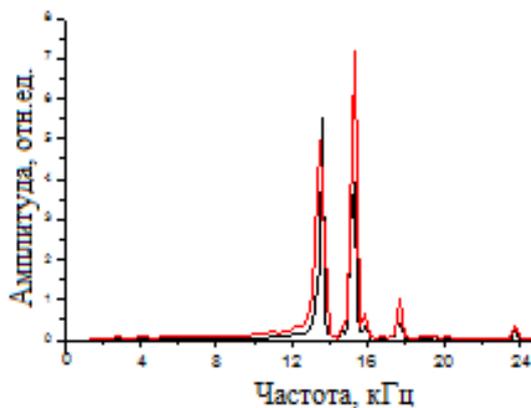
б)



в)



г)



д)

Рисунок 9 – Сравнение энергетических спектров полного сигнала: а) со спектром первых 512 точек; б) со спектром первых 1024 точек; в) со спектром первых 2048 точек; г) со спектром первых 4096 точек; д) со спектром первых 8192 точек временной реализации сигнала

Как видно из рисунка 9 при размере скользящего окна меньше 4096 точек спектры скользящего окна значительно отличаются от спектра полного сигнала. А при размере окна в 8192 точки спектр скользящего окна начинает искажать спектр полного сигнала. Поэтому для данного типа сигналов наиболее оптимальным является размер окна в 4096 точек. Такой размер окна составляет 23,5 % от полной реализации, следовательно, позволит достаточно подробно проследить характер затухания спектральной энергии на всем протяжении сигнала, включая и начальные этапы.

Так как затухание происходит по экспоненциальному закону, то в программе производится расчет, и построение зависимости натурального логарифма спектральной энергии скользящего окна от времени с дискретом, который соответствует выбранному шагу для смещения скользящего окна. Далее в программе производится линейная аппроксимация полученной зависимости и определение из нее коэффициента затухания.

Для более точного определения коэффициента затухания необходимо определить время, на котором нужно закончить аппроксимацию и выбрать шаг смещения скользящего окна по временной реализации. Время для аппроксимации необходимо подбирать таким образом, чтобы оно было достаточным для определения угла наклона аппроксимирующей зависимости логарифма спектральной энергии от времени и не было слишком большим, чтобы не создавать аппроксимацию с ошибкой. Оптимальный шаг последовательного смещения скользящего окна должен выбираться таким образом, чтобы при большом количестве анализируемых сигналов хватало времени на расчет и линейная аппроксимация строилась с наименьшей погрешностью.

При шаге в 5 точек погрешность составляет $3,191531 \text{ с}^{-1}$, при 10 точках – $4,525741 \text{ с}^{-1}$, при 50 точках – $10,087081 \text{ с}^{-1}$, при 100 точках – $14,606622 \text{ с}^{-1}$, при 500 точках – $36,042796 \text{ с}^{-1}$. В данном случае оптимальным шагом является шаг размером в 10 точек, так как при дальнейшем увеличении шага погрешность начинает возрастать в 2, 3 и более раз.

2.1.3 Методика расчета центра тяжести спектра электрического сигнала

В ряде случаев при испытании моделей бетона, подвергнутого различным видам напряженно-деформированного состояния, в том числе и при климатических воздействиях, наблюдается смещение спектров электрических откликов в сторону низких и высоких частот. Так как смещение происходит в различных видах, как смещение отдельных спектральных пиков, появление значимых спектральных максимумов в области низких и высоких частот, изменение соотношения спектральных пиков. В целом все эти изменения спектрального состава электрических сигналов можно количественно оценить, используя такую характеристику, как смещение центра тяжести спектра. То есть оценить в сторону каких частот и насколько происходит перераспределение амплитуды или энергии спектральных пиков. Данный параметр может быть использован для оценки степени дефектности образцов, возникающей в процессе деградации структуры материала и процессов трещинообразования.

Для расчета центра тяжести спектров использовалась специальная программа написанная в среде программирования LabView (рисунок 10).

Для расчета центра тяжести спектра необходимо загрузить необходимый файл спектра в окно «Файл спектра» с помощью кнопки «Открыть файл». Затем в рабочем окне в спектре сигнала для анализа с помощью курсоров выбирается необходимый диапазон частот. После нажатия кнопки «Расчет» в программе последовательно вычисляется интеграл двух частей указанной области спектра и определяется частота, при которой они равны, что и является центром тяжести заданного спектра, полученный результат показывается в окне «Центр тяжести, МГц».

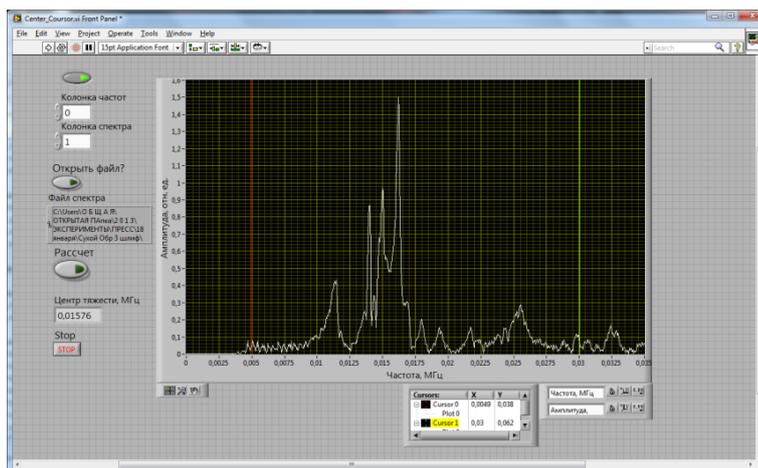


Рисунок 10 – Рабочее окно программы для расчета центра тяжести спектра

2.1.4 Обработка данных в программе Origin

Пакет программ Origin предназначен для численного анализа данных и научной графики. В программу включена функция поддержки и оптимизации векторных и матричных вычислений.

Origin служит для создания двумерной, трехмерной научной графики, которая создается с помощью готовых шаблонов, доступных для редактирования пользователем. Включена возможность экспортирования полученных графиков и таблиц в ряд форматов, таких как PDF, TIFF, JPEG, GIF и др. Изображение рабочего окна программы представлено на рисунке 11.

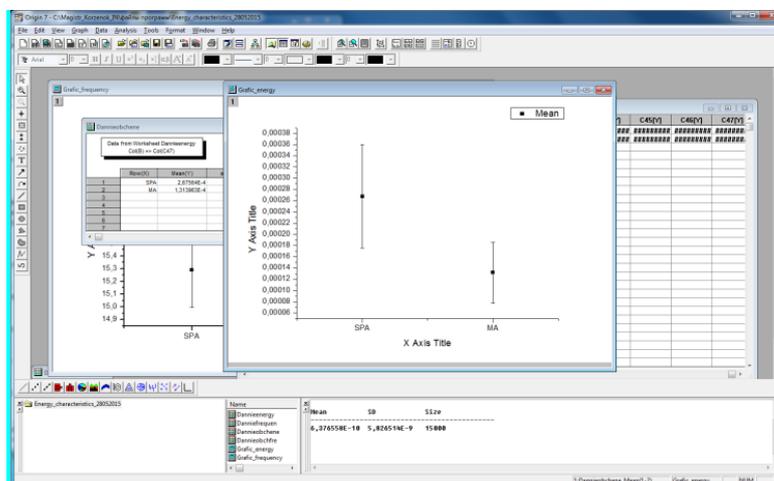


Рисунок 11 – Рабочее окно программы Origin

2.2 Методика регистрации скорости прохождения акустической волны через образец

Проводимые в данной работе исследования напрямую связаны с распространением акустических волн в материалах, оказывающих непосредственное влияние на параметры электрического сигнала при механическом возбуждении. Возникающие в образцах при импульсном ударном возбуждении акустические волны, вызывают колебание электрических зарядов, расположенных на структурных неоднородностях и пьезоэлектрических включениях внутри гетерогенных неметаллических материалов, что приводит к появлению переменных электромагнитных полей, и как следствие электрического сигнала. Измерение скорости прохождения акустической волны через исследуемые образцы было выполнено для понимания основных закономерностей акустоэлектрических преобразований и физической сущности и наряду с электрическим сигналом.

Формирование электрического импульса производится при помощи генератора импульсов, который возбуждает излучающий пьезопреобразователь, преобразующий данный импульс в упругую волну и через акустический контакт распространяющий по исследуемому образцу. С противоположной стороны исследуемого образца через акустический контакт закрепляется приемный пьезопреобразователь, преобразовывающий прошедшую через образец упругую волну в электрический сигнал.

Таким образом, суть измерения скорости распространения звуковых колебаний состоит в регистрации времени прохождения акустической волны через исследуемый образец. На один вход платы ввода-вывода подается через делитель импульс с генератора, на второй вход поступает сигнал с пьезопреобразователя - приемника, закрепленного с противоположной стороны исследуемого образца. Многофункциональная плата ввода-вывода данных сопряжена с персональным компьютером.

Измерения проводятся с помощью специальной программы в среде программирования LabView 9.0 (рисунок 12).



Рисунок 12 – Рабочее окно программы для измерения скорости продольных акустических колебаний

Для измерения скорости звука использовался ультразвуковой генератор импульсов/приемник OLYMPUS PANAMETRICS 5058PR и пьезодатчики фирмы OLYMPUS PANAMETRICS модель V1011 VIDEOSCAN.

Расчет скорости звука производится перемещением курсоров в начало каждого сигнала и указанием расстояния между датчиками, соответствующим толщине образца, в окне «Velocity» выводится значение скорости звука.

2.3 Методика проведения климатических испытаний

Конструкции из композиционных строительных материалов, таких как бетоны и бетоны, армированные стеклопластиковой арматурой, часто эксплуатируются в условиях значительных сезонных колебаний температуры. Длительная эксплуатация данных конструкций в различных климатических условиях приводит образованию трещин. Для исследования влияния естественно образующихся трещин на параметры электрического сигнала,

создавалась различная дефектность образцов бетона, армированного стеклопластиковой арматурой. Для этого при проведении исследований было использовано циклическое замораживание – оттаивание.

При циклическом замораживании – оттаивании пористых материалов, содержащих воду, изменяется их фазовый состав в связи с появлением льда в структуре или его таянием. При переходе в твердое состояние вода аномально расширяется, создавая в бетоне избыточное внутреннее давление. Такое давление способно создавать в стенках пор бетона предельные растягивающие напряжения и существенно изменять структуру, как бетона, так и арматуры, снижая прочностные свойства конструкции в целом.

Перед проведением первого цикла замораживания – оттаивания образцы армированного бетона были погружены в емкость с водой на время, не менее 4 часов. Увлажнение образцов производилось для усиления процесса появления избыточного внутреннего давления. Замораживание образцов осуществлялось при помощи климатической камеры «FEUTRON» при температуре минус 40 °С в течение 2 часов.

Оттаивание производилось в универсальной пропарочной камере КПУ-1М также в течение 3 часов с поддержанием температуры плюс 20±2 °С и влажности 95%.

В некоторых случаях с целью ускорения процесса трещинообразования температуру замораживания снижали до минус 45 °С и сокращали длительность нахождения образцов в камере до 2 часов.

2.4 Методика определения прочности связи бетона со стеклопластиковой арматурой

Определение прочности связи бетона с арматурой осуществлялось с помощью гидравлического испытательного пресса ИП-500, модернизированного выходом на персональный компьютер (рисунок 13).



Рисунок 13 – Гидравлический испытательный пресс ИП-500

Методика определения прочности связи осуществлялась следующим образом. Лабораторный образец бетона, армированного стеклопластиковой арматурой устанавливается на металлическую подставку высотой 1,5 см с отверстием в центре размером 4 см таким образом, чтобы выступающая часть арматуры находилась сверху. Образец с подставкой помещается на нижнюю плиту пресса, располагаясь непосредственно по центру. Далее при помощи компьютеризированного пресса происходит нагружение образца с постоянной скоростью, равной 0,2 кН/с. В процессе нагружения верхняя плита пресса давит на выступающий конец стеклопластикового стержня и производится выдавливание арматуры из бетонного образца в отверстие в подставке, находящейся под образцом (рисунок 14). Весь процесс нагружения образца отслеживается специальной компьютерной программой, регистрирующей нагрузку и деформацию с дискретом по времени равным 1 секунде.

Прочность адгезионного контакта (R) была рассчитана по формуле:

$$R = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

где P – максимальная нагрузка;

S - площадь контакта арматурного стержня с бетоном.

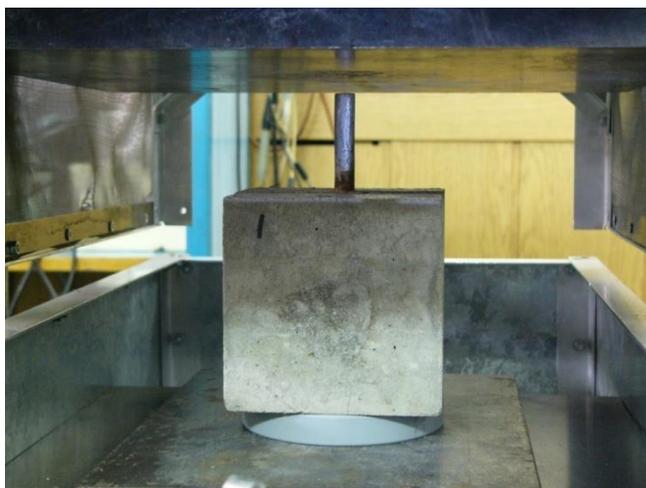


Рисунок 14 – Механические испытания

На основании полученных после проведения испытаний данных строятся нагрузочные кривые, отражающие характер зависимости внешней нагрузки от смещения арматуры относительно бетона в процессе разрушения адгезионного контакта.

2.5 Методика изготовления образцов

При изготовлении образцов должна соблюдаться структурная и составная идентичность. Поэтому все экспериментальные образцы изготавливались по приведенной ниже методике.

Для изготовления бетонных образцов, армированных стеклопластиковой арматурой необходимо: песок, вода, цемент, щебень и непосредственно арматура. Песок при наличии в нем инородных включений (глины, различной органики) в обязательном порядке просеивается при помощи набора лабораторных сит (рисунок 15), так как использование грязного непросеянного песка приводит к расходному повышению доли цемента в бетонном составе от 10 до 20%.



Рисунок 15–Лабораторные сита

Вода также берется чистая, без инородных включений (с добавлением 10% от массы песка для его увлажнения). Цемент, при наличии в нем крупных каменистых образований также просеивается во избежание наличия цементных комков в бетонном составе. Щебень при помощи лабораторных сит просеивается до размера от 5 мм до 20 мм. Стеклопластиковую арматуру предварительно напиливают при помощи алмазного диска и болгарки нужного размера.

При изготовлении образцов используется соотношение цемента, песка, щебня и воды аналогичное соотношению этих же компонентов в бетонной смеси, используемой в промышленности. Количество цемента принимается за единицу, т.е. соотношение составляющих бетонной смеси 1:2:4 (цемент: песок: щебень), соотношение воды к цементу - 0,36.

В первую очередь в емкости смешиваются сухие компоненты смеси (цемент, песок, щебень). Перемешивание производится при помощи лабораторной мешалки МЛА-30 (рисунок 16), постепенно при перемешивании вливается вода, до тех пор, пока бетонная смесь не приобретет однородную консистенцию.



Рисунок 16- Лабораторная мешалка МЛЖ-30

В металлические формы (рисунок 17) нужного размера, предварительно смазанные маслом во избежание прилипания бетонного раствора к стенкам, устанавливаются арматуры, закрепленные в деревянные рейки. Затем в формы накладывается бетонная смесь.



Рисунок 17 - Металлическая форма для изготовления бетонных образцов
(размером 100x100x100мм)

После того, как бетонная смесь расформована, ее необходимо уплотнить для исключения воздушных пустот в образцах. Уплотнение осуществляется при помощи лабораторной виброплощадки СМЖ-539 (рисунок 18).



Рисунок 18 – Лабораторная виброплощадка СМЖ-539

Уплотнение бетонной массы осуществляется благодаря механизму частных колебаний, вызывающих колебательные движения частиц бетонной смеси при вибрировании. Это приводит к компактному укладыванию заполнителя и вытеснению воздуха. Формы с бетоном помещаются на виброплощадку, где в течение 30 секунд подвергаются вибрации.

Образцы в формах сушатся при комнатной температуре около суток при комнатной температуре от 20 до 22 °С, после чего извлекаются из форм и до полного затвердения выдерживаются в тех же условиях в течение 28 суток. По истечении времени выдержки готовые образцы (рисунок 19) могут быть использованы для проведения экспериментальных исследований.



Рисунок 19 – Готовые образцы бетона, армированного стеклопластиковой арматурой

3 Экспериментальные исследования

Как и любой другой строительный материал, бетон, армированный стеклопластиковой арматурой в процессе эксплуатации подвержен разрушающему влиянию механических нагрузок и температурно-влажностных воздействий окружающей среды. Для снижения риска и уменьшения последствий непредвиденного разрушения данных конструкций необходимо осуществлять мониторинг технического состояния с целью обеспечения своевременного текущего ремонта и реконструкции, повышающих надежность и безопасность их эксплуатации.

3.1 Сравнение параметров электрического сигнала из моделей неармированного и армированного стеклопластиковой арматурой бетона

По методике описанной выше для проведения экспериментов были изготовлены лабораторные модели тяжелого бетона и армированного бетона.

На рисунке 20 приведены типичные электрические сигналы, зарегистрированные при механическом возбуждении моделей тяжелого и армированного бетона

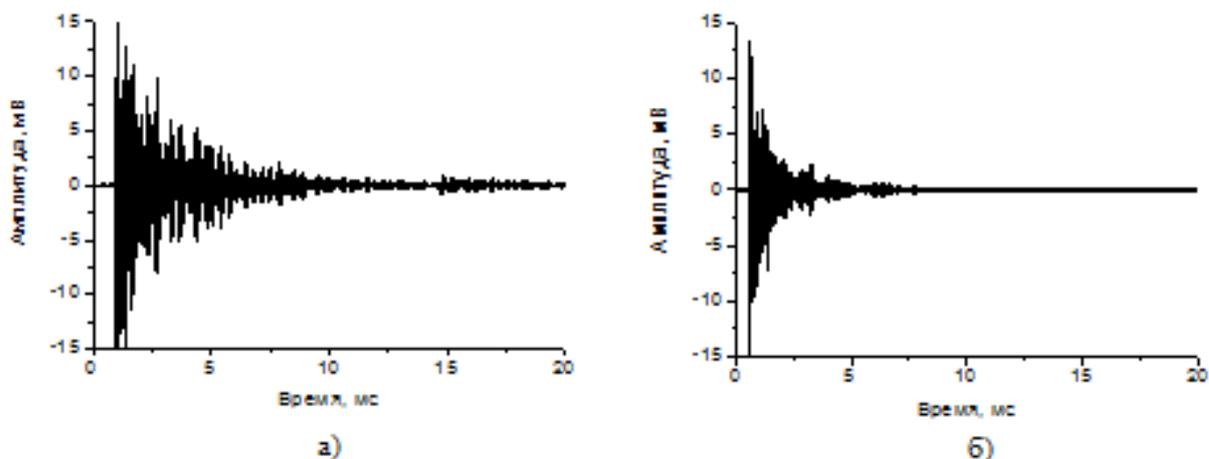


Рисунок 20 – Электрические сигналы из моделей: а – тяжелого бетона и б–армированного стеклопластиковой арматурой бетона

Из рисунка 20 видно, что электрические сигналы из образцов, отличающихся наличием арматуры, имеют небольшие различия в максимальной величине самого сигнала. Более существенные различия наблюдаются в форме электрических сигналов и характере затухания. В образцах армированного бетона затухание электрического сигнала происходит не так продолжительно по времени, по сравнению с образцами тяжелого бетона, и имеет достаточно резкий затухающий характер.

Изменение структурных характеристик образцов и специфики прохождения и отражения акустических волн возбуждения от стенок образца и арматуры приводит к изменению волновой картины, формирующейся при механическом возбуждении, как в образце тяжелого бетона, так и армированного, следовательно, происходит трансформация спектральных характеристик электрического сигнала.

На рисунке 21 приведены, рассчитанные с помощью быстрого Фурье – преобразования спектральные характеристики электрических сигналов из образцов тяжелого бетона и бетона, армированного стеклопластиковой арматурой.

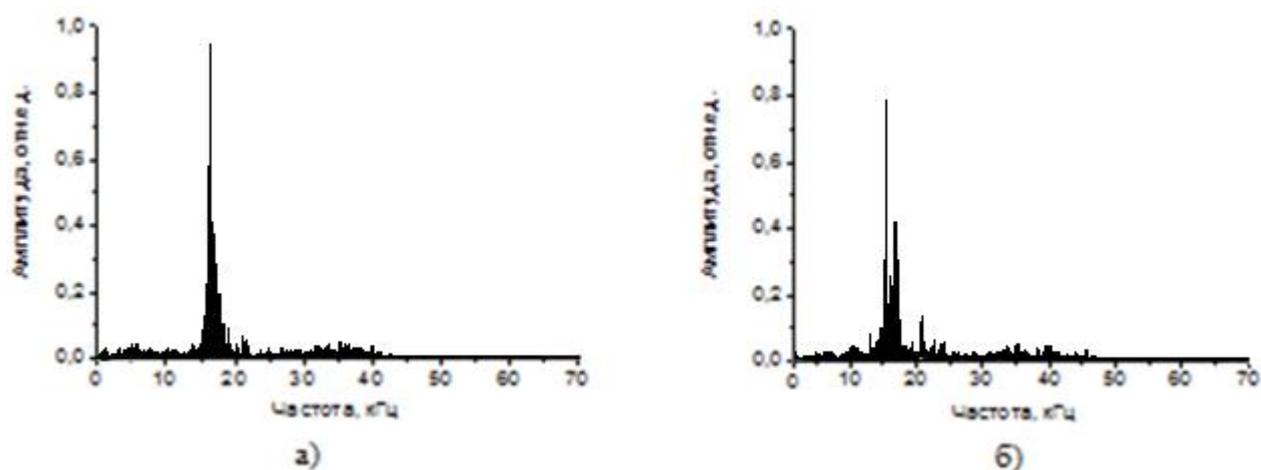


Рисунок 21—Спектры электрических сигналов из моделей: а – тяжелого бетона и б – армированного стеклопластиковой арматурой бетона

Как можно заметить из рисунка 21, в спектрах сигналов из образцов тяжелого бетона и бетона, армированного стеклопластиковой арматурой существенных различий не наблюдается. Наличие боковых спектральных пиков относительно доминирующего в армированном бетоне обеспечивается рассеянием акустических волн от стеклопластиковой арматуры, акустическое волновое сопротивление которой имеет некоторое отличие в сравнении с бетоном (таблица 2).

Таблица 2 – Упругие характеристики бетона и стеклопластиковой арматуры

| Свойства | Тяжелый бетон | Стеклопластиковая арматура |
|---|---------------------|----------------------------|
| Скорость звука, м/с | $4 \cdot 10^3$ | $4.9 \cdot 10^3$ |
| Плотность, кг/м ³ | $2.35 \cdot 10^3$ | $2 \cdot 10^3$ |
| Коэффициент Пуассона | 0.2 | 0.25 |
| Модуль упругости, Па | $3.4 \cdot 10^{10}$ | $3.2 \cdot 10^{10}$ |
| Волновое акустическое сопротивление, Па·с/м | $9.4 \cdot 10^6$ | $9.8 \cdot 10^6$ |

Для количественной оценки происходящих изменений была выполнена обработка полученных результатов с помощью специальных программ в среде программирования LabView. Был проведен расчет центра тяжести спектра и коэффициента затухания энергии электрических сигналов. В программе последовательно вычисляется интеграл двух частей указанной области спектра и определяется частота, при которой они равны, что и является центром тяжести заданного спектра.

На данном этапе для анализа был выбран частотный диапазон от 0 до 40 кГц исходя из соображений, что в этой частотной области находится основная доля спектра электрических сигналов.

В таблице 3 приведены значения центра тяжести спектров и коэффициента затухания энергии электрических сигналов для образцов тяжелого бетона и бетона, армированного стеклопластиковой арматурой.

Таблица 3 – Центр тяжести спектра и коэффициент затухания энергии сигналов для выбранных моделей бетона

| | Тяжелый бетон | Бетон, армированный стеклопластиковой арматурой |
|--|---------------|---|
| Центр тяжести спектра, кГц | 16.6±0.5 | 16.8±0.5 |
| Коэффициент затухания, с ⁻¹ | 600±10 | 700±10 |

Как видно из таблицы, центры тяжести спектров бетонов достаточно близки по значениям, наличие арматуры в бетоне приводит к возрастанию коэффициента затухания энергии электрических сигналов по сравнению с бетоном, не содержащим арматуру.

Таким образом, проведенное сравнение параметров электрического сигнала из выбранных моделей бетона показывает, что бетон, армированный стеклопластиковой арматурой, имеет аналогичные тяжелому бетону сигнал и спектр, существует различия в величинах коэффициента затухания энергии электрического сигнала.

Данное сравнение механоэлектрических преобразований проводилось с целью выявления влияния наличия арматуры на электрический сигнал, регистрируемый из образцов. Отсутствие значительных различий в сигналах из описанных выше моделей бетона свидетельствует о том, что основные подходы к оцениванию состояния, развитые для тяжелого бетона могут быть также применены и для бетона, армированного стеклопластиковой арматурой.

3.2 Влияние циклического замораживания - оттаивания на параметры электрического сигнала из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой

В пористых материалах, содержащих воду, при замораживании - оттаивании изменяется фазовый состав в связи с появлением льда или его таянием. Аномальное расширение воды при переходе в лед и, а также в большей степени из – за невозможности ее отжатия в свободные объемы пор, оказывает влияние на появление избыточного внутреннего давления в бетоне. Такое давление способно создавать предельные растягивающие напряжения в стенках пор и приводить к существенным изменениям структуры бетона, снижающим его прочностные свойства.

Стеклопластиковая арматура применяется при армировании бетонных конструкций, работающих в условиях статических и динамических нагрузок, значительных сезонных колебаний температуры и влажности. Разница в поперечных коэффициентах теплового расширения стекловолокна и бетона во многом предопределяет поведение конструкции в целом при увеличении температуры, так как возникающие радиальные давления на границе бетон – арматура способны образовывать растягивающие напряжения и снижать прочность сцепления бетона с арматурой.

Качество контакта бетона с арматурой является важнейшим параметром армированных конструкций, так как от него зависит устойчивость всей конструкции в целом от разрушения при воздействии внешних негативных условий окружающей среды и приложения механических нагрузок.

Моделирование условий влияния сезонных колебаний температуры и влажности на деградацию структуры бетона, армированного стеклопластиковой арматурой в процессе эксплуатации проводилось с использованием циклического замораживания – оттаивания. Такого же характера нарушения в структуре бетона происходят в реальных наружных конструкциях, эксплуатирующихся в широких пределах.

Исследования состояния контактной зоны бетона с арматурой при воздействии циклических климатических испытаний были проведены на партии лабораторных моделей бетона, состоящей из 16 образцов. Перед проведением климатических испытаний лабораторные модели были подвергнуты насыщению влагой путем замачивания в воде. Модели бетона были подвергнуты 8, 14 и 18 циклам замораживания-оттаивания. 18 климатических циклов, как максимальное количество испытаний, были выбраны по причине отсутствия на данном этапе растрескивания поверхности исследуемых образцов, что позволяет оценить непосредственно внутреннюю структуру. Для сравнительного анализа 4 модели не подвергались климатическим испытаниям и хранились при комнатных условиях. Затем бетонные модели были высушены и проведена регистрация из них электрического сигнала при механическом воздействии.

На рисунке 22 приведены электрические сигналы из моделей армированного стеклопластиковой арматурой бетона, прошедших различное количество циклов замораживания-оттаивания.

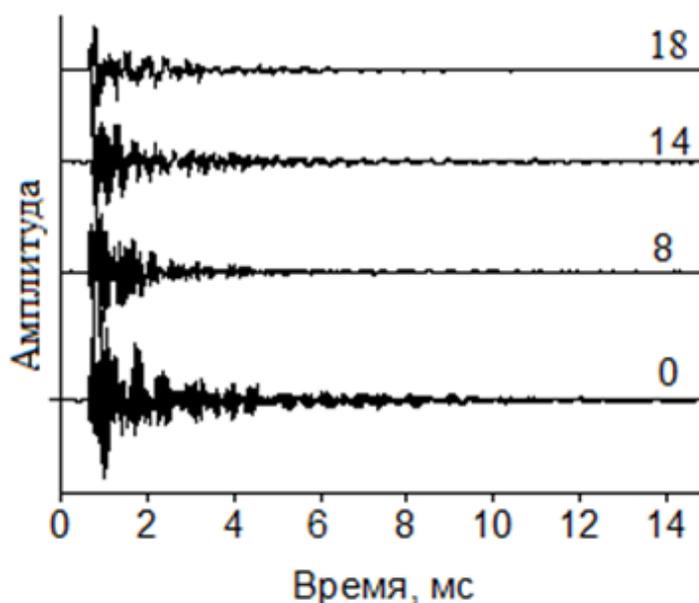


Рисунок 22 – Электрические сигналы из моделей армированного бетона, прошедших различное количество циклов замораживания – оттаивания (цифрами обозначено количество циклов)

Как видно из рисунка 22, уже после 8 циклов замораживания – оттаивания происходит изменение формы и общей длины электрического сигнала. Изменение в характере затухания электрического сигнала свидетельствует об изменениях в структуре армированного бетона вследствие процессов отражения акустических волн от дефектов.

Увеличение циклов замораживания-оттаивания также приводит к трансформации спектральных характеристик полученных электрических сигналов

На рисунке 23 приведены спектры электрических сигналов, зарегистрированные из образцов армированного стеклопластиковой арматурой бетона, прошедших различное количество циклов замораживания – оттаивания.

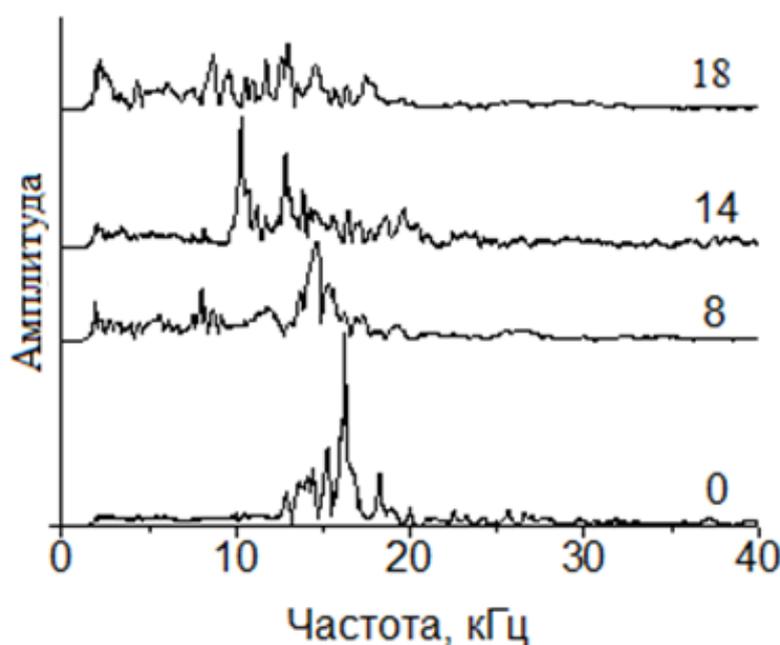


Рисунок 23 - Спектры электрических сигналов из моделей армированного бетона, прошедших различное количество циклов замораживания-оттаивания (цифрами обозначено количество циклов)

Как видно из рисунка 23 при увеличении количества циклов замораживания-оттаивания происходит изменение спектрального состава электрических сигналов и смещение спектра в область низких частот.

После 18 циклов замораживания – оттаивания спектр электрического сигнала существенно видоизменяется, в нем отсутствует выраженный главный спектральный максимум, соответствующий первой гармонике продольных акустических колебаний. Волновая картина заметно усложняется, боковые максимумы, как в низкочастотной, так и высокочастотной областях, одинаковы по всему спектру.

Так как поверхностные трещины на выбранных образцах отсутствуют, то изменение характеристик электрического сигнала при проведении циклических климатических испытаний свидетельствует о формировании внутренних трещин на границе бетон – арматура, увеличении их размеров и концентрации.

Помимо этого, в контактной зоне бетона с арматурой могут происходить усадочные деформации твердеющего бетона, изначально создающие микродефекты и микротрещины структуры до проведения климатических знакопеременных циклов, агрессивная среда, в частности солевой раствор при насыщении бетонных образцов влагой, также способна оказывать влияние на более быструю потерю прочности бетонных армированных образцов.

Для количественного оценивания выявленных различий был произведен расчет коэффициента затухания энергии электрических сигналов из моделей, прошедших различное количество циклов замораживания-оттаивания, а также расчет центра тяжести спектров сигналов.

На рисунке 24 приведен график, демонстрирующий характер изменения коэффициента затухания энергии электрических сигналов в процессе циклических климатических испытаний.

На рисунке 25 приведен график, демонстрирующий характер смещения спектров сигналов из армированного бетона, прошедшего различное количество циклов замораживания-оттаивания.

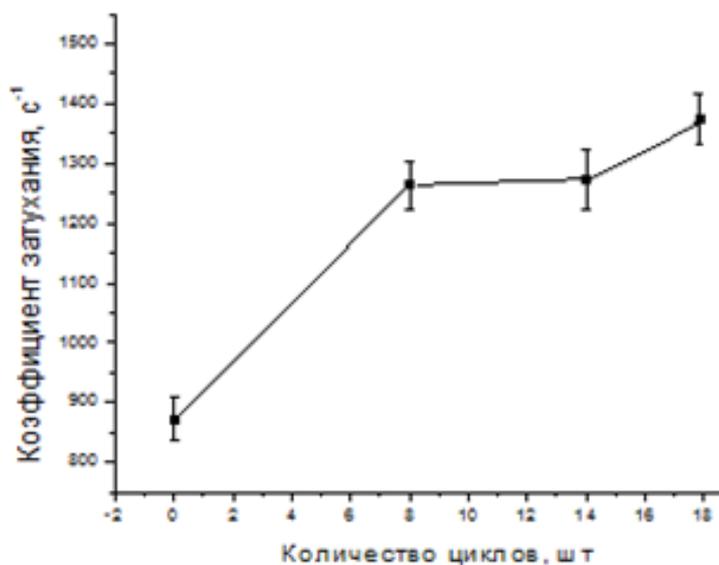


Рисунок 24 -Зависимость коэффициента затухания энергии электрических сигналов от количества циклов замораживания-оттаивания

Как видно из рисунка 24 при увеличении количества циклов замораживания-оттаивания наблюдается последовательное увеличение коэффициента затухания энергии электрических сигналов.

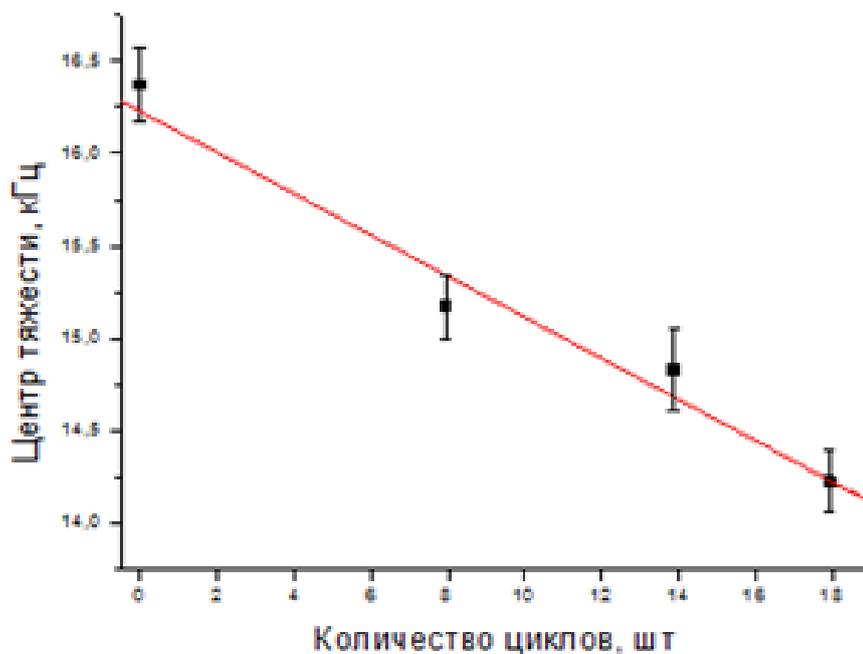


Рисунок 25- Зависимость центра тяжести спектров электрических сигналов в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания

Как видно из рисунка 25, увеличение количества циклов замораживания-оттаивания создает тенденцию к смещению центра тяжести спектра электрических сигналов в низкочастотную область.

Установлено, что по параметру затухания спектральной энергии электрического сигнала на механическое возбуждение, можно судить о качестве контактной зоны арматуры с бетоном. Возрастание степени затухания электрического сигнала свидетельствует о повышении дефектности материала за счет процессов рассеяния акустических волн возбуждения на дефектах.

Для оценки изменения формы спектров электрических сигналов из моделей армированного бетона, был использован корреляционный анализ. Были проанализированы спектры электрических сигналов из всех моделей армированного бетона, включая исходные. Расчет максимального коэффициента взаимной корреляции производился путем сравнения для каждого образца спектра электрического сигнала после процедуры замораживания – оттаивания со спектром сигнала из этого же образца до проведения климатических знакопеременных циклов.

График зависимости коэффициента корреляции от количества циклов замораживания – оттаивания представлен на рисунке 26

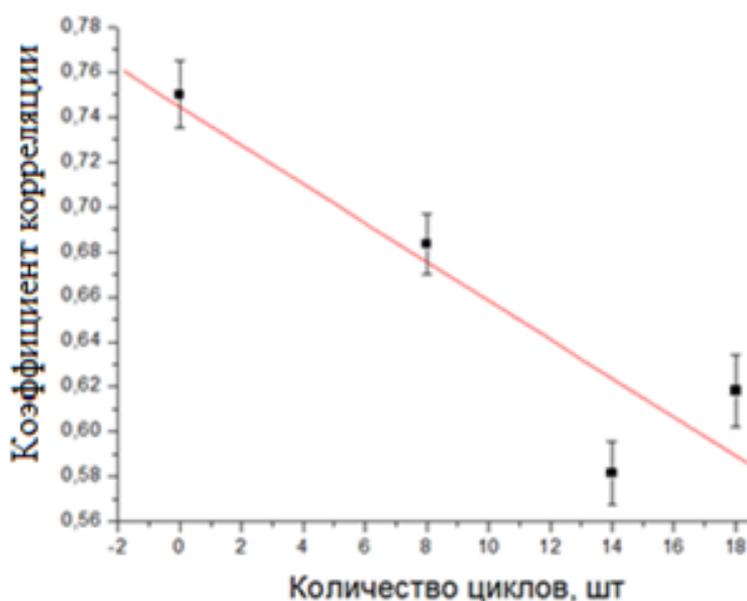


Рисунок 26 – Изменение максимального коэффициента взаимной корреляции от количества циклов замораживания - оттаивания

Рисунок 26 показывает, что с увеличением количества циклов замораживания-оттаивания наблюдается уменьшение максимального коэффициента взаимной корреляции исследуемых спектров по сравнению со спектрами из этих же образцов до процедуры циклического замораживания-оттаивания. То есть ухудшение качества контакта стеклопластикового арматурного стрежня с бетоном под действием циклического замораживания-оттаивания непосредственно влияет на величину коэффициента корреляции спектров.

Также в исследуемых моделях армированного бетона была измерена скорость звука. На рисунке 27 представлен график изменения скорости звука от количества циклов замораживания – оттаивания.

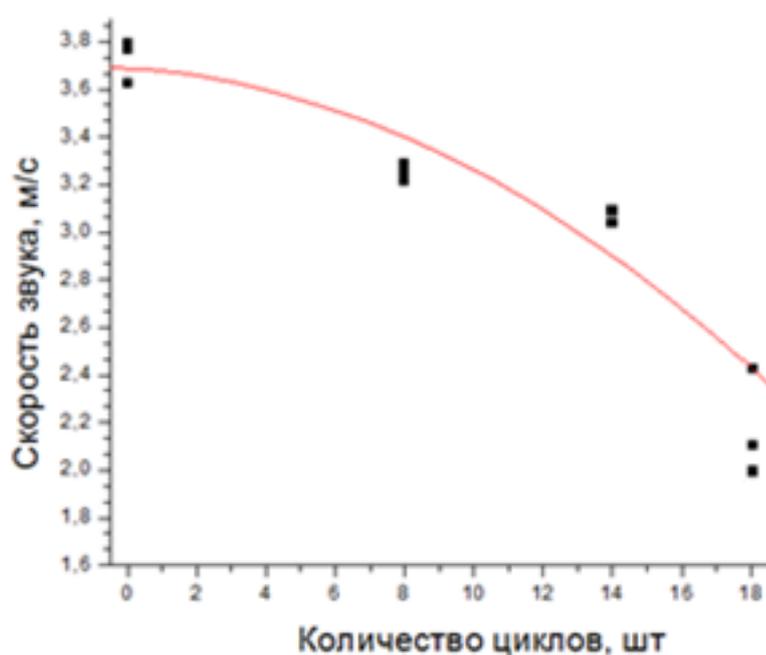


Рисунок 27 – Скорость звука в моделях армированного бетона после прохождения разного количества климатических циклов

По рисунку 27 заметно, что в бетоне, армированном стеклопластиковой арматурой, скорость звука с увеличением количества климатических знакопеременных циклов уменьшается практически в два раза по сравнению с первоначальным значением. Учитывая тот факт, что стеклопластиковая

арматура способна при скачках температуры создавать радиальные напряжения на границе бетон – арматура, после проведения циклов замораживания-оттаивания дефекты значительно быстрее могли образоваться непосредственно на границе контакта бетона с арматурой, ускорив тем самым разрушения образцов, отразившиеся на скорости звука, проходящей через лабораторную модель бетона.

На основе проведенных исследований можно сделать заключение о том, что увеличении циклов замораживания – оттаивания существенно сказывается на внутренней структуре армированных бетонов, так как при моделировании было исключено образование поверхностных дефектов. При анализе электрических сигналов и их спектров замечена тенденция более быстрого затухания сигналов, смещения спектров в область низких частот. Количественная оценка выявленных признаков подтверждает тот факт, что существует возможность по параметрам электрического сигнала отслеживать изменения, происходящие в контактной зоне бетона и армирующего компонента внутри армированных конструкций. Таким образом, коэффициент затухания энергии сигналов, центр тяжести спектров, коэффициент корреляции могут служить в качестве диагностических признаков для оценки изменения прочности сцепления арматуры с бетоном.

3.3 Исследование параметров электрического сигнала из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой в процессе механического нарушения адгезионного контакта

Разрушение бетонных армированных конструкций от переменного замораживания – оттаивания является серьезной проблемой в холодных климатических условиях.

В последнее время разрабатывается множество вариантов по увеличению долговечности данных конструкций. Одним из наиболее

популярных вариантов является армирование бетонных конструкций стеклопластиковой арматурой, являющейся альтернативой стандартной стальной арматуры. Растущая популярность стеклопластиковой арматуры в первую очередь обеспечивается ее устойчивостью к коррозии, а также выгодным соотношением прочности к весу, по сравнению со стальной арматурой.

Тем не менее, как и любой строительный материал, стеклопластиковая арматура наделена определенными недостатками, а именно отсутствием тепловой совместимости с бетоном. Растягивающие напряжения, возникающие из – за разных поперечных коэффициентов теплового расширения, способны нарушать прочность сцепления арматуры с бетоном, вплоть до полного разрушения конструкции в целом.

Так как поведение армированных бетонных конструкций в значительной степени зависит от качества связи бетона и армирующего материала, то существует необходимость в исследовании влияния температуры и влажности на прочность сцепления арматуры с бетоном.

Данные исследования являются необходимыми для разработки метода контроля армированных бетонных конструкций, позволяющего своевременно обнаруживать различного рода дефекты, и обеспечивать этим безопасную эксплуатацию данных конструкций.

Наряду с исследованиями изменения механических и упругих характеристик были проведены измерения и анализ электрических сигналов из моделей армированного бетона в процессе нарушения прочности связи бетона со стеклопластиковой арматурой.

В процессе воздействия знакопеременных климатических циклов на бетонные конструкции, армированные стеклопластиковой арматурой, разрушение последних способно происходить из – за снижения прочности связи арматуры с бетоном, повреждения зоны контакта цементного раствора с наполнителем, а также из – за разрушения непосредственно самого цементного раствора.

Для верной оценки роли контактной зоны между арматурой и бетоном при воздействии на конструкцию циклическим замораживанием – оттаиванием, количество циклов должно быть подобрано таким образом, чтобы на поверхности лабораторных образцов не растрескивалась. Опытным путем было вычислено, что необходимое число циклов для данного исследования, обеспечивающее только внутреннюю дефектность образцов, составляет 18 циклов.

Исследования проводились на партии бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, состоящей из 16 образцов. Вся экспериментальная партия, как и в предыдущих исследованиях, изначально была поделена на 4 группы: 4 образца, не подвергавшиеся климатическим испытаниям и хранившиеся при комнатных условиях (для сравнительного анализа), 4 образца – 8 климатических циклов, 4 – 14 циклов, 4 – 18 циклов.

Измерения проводились по методике, описанной выше в параграфе. Во время проведения процедуры выдавливания стержня стеклопластиковой арматуры из модели бетона проводилось измерение электрических сигналов. За время разрушения адгезионного контакта удавалось произвести порядка 10-20 измерений, отслеживая тем самым динамику разрушения контакта. В результате были получены нагрузочные кривые при выдавливании арматурных стержней из образцов армированного бетона и график изменения параметров электрического сигнала от напряженно-деформированного состояния.

На рисунке 27 показаны результаты механических испытаний образцов бетона, армированного стеклопластиковой арматурой после различного количества циклов замораживания-оттаивания.

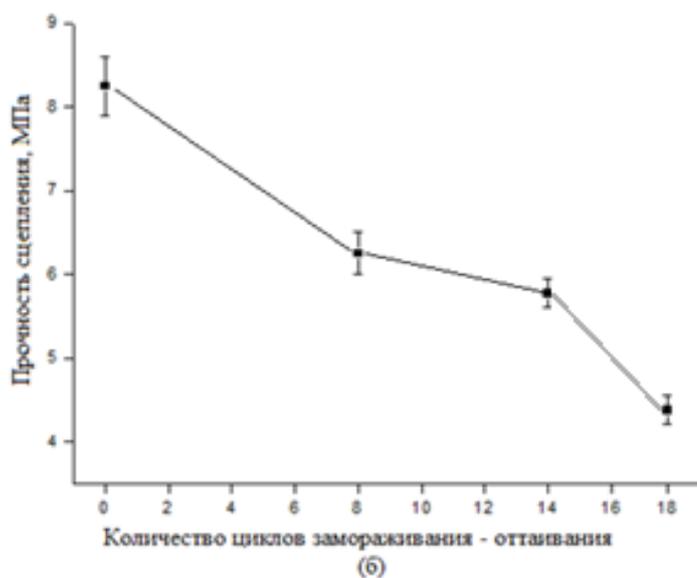
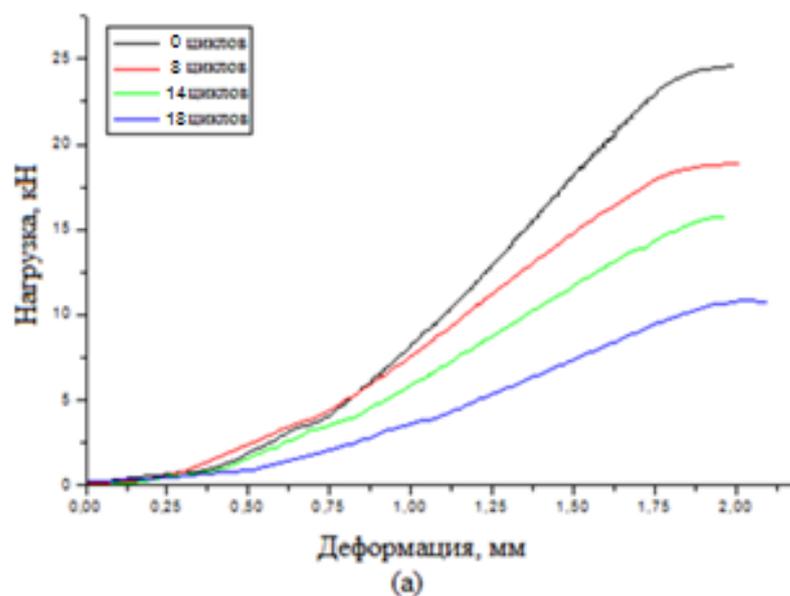


Рисунок 27 - Изменение зависимости абсолютной деформации от нагрузки - (а) и изменение прочности сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном - (б) во время циклического замораживания - оттаивания.

Как видно из рисунка 27, увеличение числа циклов замораживания - оттаивания, приводит к уменьшению угла наклона нагрузочных кривых, что указывает на изменение модуля упругости бетонных образцов и изменение прочности контакта бетона с арматурой .

Всю нагрузочную кривую, вне зависимости от количества проведенных циклов, условно можно поделить на три явно выраженных участка. Первый

участок при плавном подъеме кривой (ориентировочно при деформации от 0 до 1мм) можно охарактеризовать как закономерность уплотнения, затем идет участок упругой деформации (основной подъем нагрузочной кривой) и участок пластической деформации (пик нагрузочной кривой). У образцов армированного бетона, прошедших 18 циклов замораживания – оттаивания область упругой деформации менее протяженная как по нагрузке, так и по деформации по сравнению с образцами армированного бетона, не подвергавшихся климатическим испытаниям.

Знакопеременное климатическое воздействие на образцы бетона, армированного стеклопластиковой арматурой приводит к уменьшению прочности связи арматуры с бетоном практически в 2 раза, по сравнению с первоначальным значением.

Зависимость коэффициента затухания спектральной энергии электрических сигналов от прочности связи бетона с арматурой показана на рисунке 28. Цифрами обозначено количество пройденных бетонными образцами циклов замораживания – оттаивания.

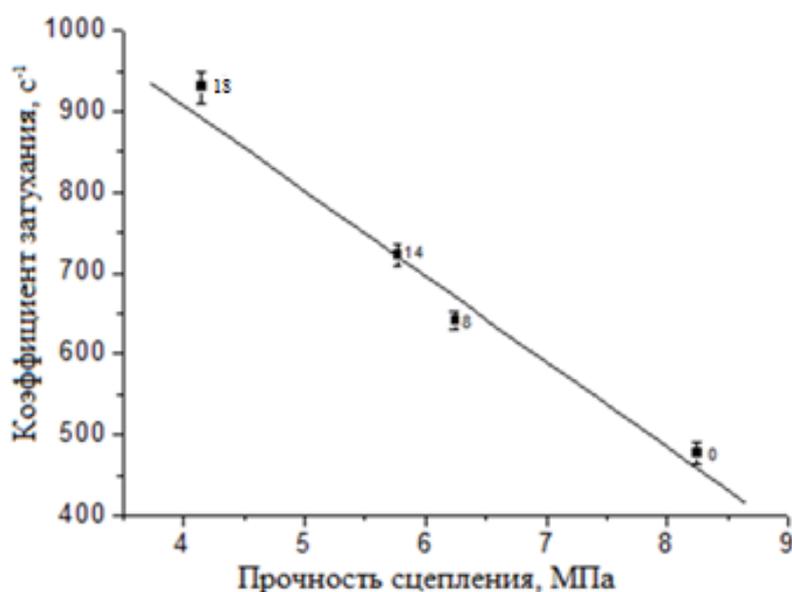


Рисунок 28 - Зависимость коэффициента затухания спектральной энергии электрических сигналов от прочности связи бетона с арматурой.

Рисунок 28 наглядно отражает влияние прочности связи бетона с арматурой на спектральный состав электрических сигналов, происходит смещение спектрального диапазона электрических сигналов в области низких частот. С увеличением количества климатических циклов, более интенсивно происходит образование внутренних дефектов в армированных бетонных образцах, и более длительно затухает электрический сигнал.

Совокупность измеренных электрических сигналов может полностью охарактеризовать процесс разрушения адгезионного контакта арматуры с бетоном. Коэффициент затухания энергии электрического сигнала наглядно отражает изменения в прочности связи бетона с арматурой и может быть использован в качестве информативного диагностического критерия при проведении неразрушающего контроля армированных конструкций.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Обоснование необходимости и актуальности разработки

В последнее время всё чаще при возведении конструкций используется бетон, армированный стеклопластиковой арматурой благодаря тому, что стеклопластиковая арматура минимизирует коррозию и другие силовые и средовые воздействия.

Однако, бетонные конструкции на основе стеклопластиковой арматуры, как и другие строительные конструкции, в процессе эксплуатации подвержены разрушающему влиянию механических нагрузок и температурно-влажностных воздействий окружающей среды. Для снижения риска и уменьшения последствий непредвиденного разрушения данных конструкций необходимо осуществлять мониторинг технического состояния с целью обеспечения своевременного текущего ремонта и реконструкции, повышающих надежность и безопасность их эксплуатации.

Существующие методы неразрушающего контроля не обладают достаточной надежностью и точностью, т.к. стеклопластиковая арматура является новым продуктом, по многим характеристикам отличающаяся от металлической.

Перспективным методом является использование явления механоэлектрических преобразований в гетерогенных неметаллических материалах, т.к. по параметрам электрического сигнала появилась возможность отслеживать прочность, структурные характеристики, динамику изменения качества адгезионного контакта в системе бетон-арматура. В связи с этим тема диссертации является актуальной на сегодняшний день.

4.1.2 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 4).

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта (таблица 5).

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT – анализа. Результаты данного этапа представлены в таблице 6.

Таблица 4 – Комплексный анализ научно-исследовательского проекта

| Характеристика | Описание |
|-----------------|---|
| Сильные стороны | С1. Исследование прочности и дефектности бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, которые невозможно изучать с использованием других методов. С2. Отсутствие подобных разработок. С3. Наличие бюджетного финансирования. |
| Слабые стороны | Сл1. Метод еще далек от завершения. Сл2. Неудобность применения лабораторной установки на реальных объектах. |
| Возможности | В1. Метод позволит производить разбраковку изделий по их качеству. 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 прибор. |

Таблица 5 – 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 | - | + | + | + |

Знак «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, знак «-» - слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Данная матрица помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT-анализа, выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 6 – SWOT – анализ

| | Сильные стороны | Слабые стороны |
|---------------------|---|--|
| Возможности проекта | Разработка нового метода контроля армированного бетона позволит более быстро обнаруживать дефекты в конструкциях, тем самым повышая их надежность | Разрабатываемый метод является достаточно новым, требуется разработка критериев контроля материалов. Требуется усовершенствование лабораторной установки для применения к различным реальным объектам исследования. |
| Угрозы проекта | Несвоевременное финансовое обеспечение научного проекта ведет к приостановке исследования | Несвоевременное финансирование проекта ведет к приостановке модернизации лабораторной установки, и как следствие приостановке разработки метода. |

4.2 Инициация проекта

Цель проекта заключается в исследовании закономерностей механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой, для выявления диагностических критериев определения степени деградации структуры данного строительного материала в условиях циклического замораживания - оттаивания.

Заинтересованной стороной является проблемная научно-исследовательская лаборатория электроники, диэлектриков и полупроводников (ПНИЛ ЭДиП), расположенная в корпусе №8 НИТПУ.

Организационная структура проекта включает в себя рабочую группу данного проекта, роль каждого участника, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Рабочая группа проекта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Организационная структура проекта

| № | Ф.И.О., должность | Роль в проекте | Функции | Трудо- затраты, час |
|-------|--|-------------------|--|---------------------------|
| 1 | Корзенюк И.Н., магистрант | Исполнитель | Выполнение запланированных по проекту работ | 720 |
| 2 | Фурса Т.В., д.т.н., в.н.с. ПНИЛ ЭДиП | Руководитель | Консультирование по экспериментальной деятельности исполнителя | 180 |
| Итого | | | | 900 |

4.3 Планирование управления научно – техническим проектом

Планирование проекта включает в себя построение линейного календарного графика проекта, а также диаграммы Ганта.

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.

Линейный календарный график по данному проекту с указанием перечня и продолжительности работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Линейный календарный план проекта

| № | Наименование работ | Срок выполнения | Длит., дни | Участники |
|----|--|---------------------|------------|-----------------------------|
| 1 | Определение темы проекта. Постановка задач | 10.2014 | 2 | Руководитель Исполнитель |
| 2 | Патентный обзор | 10.2014 | 6 | Исполнитель |
| 3 | Ознакомление с литературой по вопросу армированного бетона | 11.2014- 12.2014 | 16 | Исполнитель |
| 4 | Составление структуры диссертации | 01.2015 | 2 | Руководитель Исполнитель |
| 5 | Анализ современных методов неразрушающего контроля армированного бетона | 02.2015- 03.2015 | 16 | Исполнитель |
| 6 | Анализ метода неразрушающего контроля, основанного на явления механоэлектрических преобразований | 04.2015 | 8 | Руководитель Исполнитель |
| 7 | Освоение методики эксперимента | 04.2015 | 4 | Руководитель Исполнитель |
| 8 | Изготовление лабораторных образцов | 05.2015- 06.2015 | 16 | Исполнитель |
| 9 | Исследование механоэлектрических преобразований из образцов армированного бетона | 07.2015, 09.2015 | 16 | Исполнитель |
| 10 | Освоение методики климатических испытаний | 09.2015 | 4 | Руководитель Исполнитель |

Продолжение таблицы 8

| | | | | |
|----|---|-----------------|----|-----------------------------|
| 11 | Исследование механоэлектрических преобразований из образцов армированного бетона в процессе климатических испытаний | 10.2015-12.2015 | 16 | Исполнитель |
| 12 | Освоение методики определения прочности контакта арматуры с бетоном | 12.2015 | 4 | Руководитель Исполнитель |
| 13 | Разработка критериев оценки качества контакта арматуры с бетоном по параметрам электрического сигнала | 01.2016-02.2016 | 16 | Руководитель Исполнитель |
| 14 | Составление диссертации | 03.2016-05.2016 | 24 | Исполнитель |

Трудоемкость разработки у исполнителя составила 150 дней, у руководителя – 40 дней.

Диаграмма Ганта, используемая для наглядной иллюстрации линейного календарного плана проекта, на котором проектные работы представлены протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ по данному проекту представлена в таблице 9.

Таблица 9 - Диаграмма Ганта по проекту

| № | Вид работ | Исп. ¹ | Т _к , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------|------|--------|-------|------|------|-----|------|------|-------|------|-------|--------|------|-------|------|------|-----|--|
| | | | | 2014г. | | | 2015г. | | | | | | | | | | 2016г. | | | | | | |
| | | | | Окт. | Нояб. | Дек. | Янв. | Февр. | Март | Апр. | Май | Июнь | Июль | Сент. | Окт. | Нояб. | Дек. | Янв. | Февр. | Март | Апр. | Май | |
| 1 | Определение темы проекта. Постановка задач | Рук. Исп. | 2 | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Патентный обзор | Исп. | 6 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Ознакомление с литературой по вопросу армированного бетона | Исп. | 16 | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Составление структуры диссертации | Рук. Исп. | 2 | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Анализ современных методов неразрушающего контроля армированного бетона | Исп. | 16 | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Анализ неразрушающего метода контроля, основанного на явления механоэлектрических преобразований | Рук. Исп. | 8 | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Освоение методики эксперимента | Рук. Исп. | 4 | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Изготовление лабораторных образцов | Исп. | 16 | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 9 | Исследование механоэлектрических преобразований из образцов армированного бетона | Исп. | 16 | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 10 | Освоение методики климатических испытаний | Рук. Исп. | 4 | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | |

4.4 Бюджет научного исследования

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

В таблице 10 представлена информация о затратах на приобретение всех видов материалов, комплектующих и полуфабрикатов, необходимых для проведения исследований с указанием потребного количества, цены за единицу и общей суммы.

Таблица 10 – Материалы необходимые для проведения исследований

| Наименование | Размерность | Кол-во | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
|--|---------------|--------|-----------------------|-------------|
| Цемент | кг | 20 | 24 | 480 |
| Гравий | мешок | 1 | 155 | 155 |
| Песок | мешок | 1 | 95 | 95 |
| Стеклопластиковая арматура | погонный метр | 4 | 14 | 56 |
| Резиновые перчатки | шт | 5 | 56 | 280 |
| Смазка Литол-24 | литр | 0,35 | 150 | 52,5 |
| Ацетон | литр | 0,45 | 145 | 65,25 |
| Респиратор | шт | 1 | 85 | 85 |
| Бумага формата А4 | уп | 1 | 320 | 320 |
| Чернила | шт | 1 | 540 | 540 |
| Всего за материалы | | | | 2128,75 |
| Транспортно-заготовительные расходы (3-5%) | | | | 106,44 |
| Итого по статье C_M | | | | 2235,19 |

4.4.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ

В таблице 11 представлена информация о всех затратах, связанных с приобретением, изготовлением, арендой специального оборудования,

необходимого для проведения экспериментальных работ, а также об амортизационных отчислениях специальных приборов и устройств, имеющих в научно-технической организации, занимающейся проектом.

Таблица 11 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

| № | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, тыс. руб. | Общая стоимость оборудования, тыс.руб. |
|-------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|
| 1 | Источник питания ТЕС 1300 к | 1 | 4 000 | 4 000 |
| 2 | Осциллограф PCSCOPE | 1 | 8 000 | 8 000 |
| 3 | Усилитель сигнала | 1 | 4 000 | 4 000 |
| 4 | Весы ВЛТЭ–2200 | 1 | 20370 | 20370 |
| 5 | Прибор ультразвуковой УК-14П | 1 | 20000 | 20000 |
| 6 | Компьютер | 1 | 40000 | 40000 |
| Итого | | | | 96 370 |

При выполнении экспериментальных работ по данному проекту использовалось имеющееся в научно-технической организации оборудование. Начисление амортизации выполняется только на оборудование стоимостью более 100 000 рублей.

Формула для расчета амортизационных отчислений:

$$C_a = \sum_i^n \frac{C_{бал} \cdot H_a \cdot g_i \cdot t}{\Phi_{эф}}, \quad (3)$$

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).

В таблице 12 приведен расчет затрат по статье «Спецоборудование» с учетом амортизации.

Таблица 12 – Расчет затрат на спецоборудование с учетом амортизации

| № | Наименование оборудования | Балансовая стоимость, руб. | Норма амортизации, % | Время работы, час | Сумма амортизации, руб. |
|-------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | Климатическая камера VEB FeutronGreiz | 295000 | 15 | 480 | 3540 |
| Итого | | | | | 3540 |

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

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Основная заработная плата включает в себя премию, выплачиваемую ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы сведен в таблицу 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

| № п/п | Исполнители по категориям | Должность | Трудоемкость, чел.-дн. | Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб. | Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб. |
|-------|---------------------------|----------------|------------------------|---|--|
| 1 | Руководитель | в.н.с., д.т.н. | 40 | 1535,27 | 33 775,83 |
| 2 | Исполнитель | м.н.с | 150 | 449,71 | 9893,56 |

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением проекта рассчитывается по формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (6)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{м} = Z_{б} \cdot (k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р}, \quad (7)$$

где $Z_{б}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок;

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

В ТПУ премии, доплаты и надбавки включены в базовый оклад. Расчет основной заработной платы с учетом коэффициентов за весь проектный период сведен в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы с учетом коэффициентов за весь проектный период

| Исполнители | $Z_{б,}$ руб. | k_p | $Z_{м,}$ руб | $Z_{дн,}$ руб. | $T_p,$ раб.дн. | $Z_{осн,}$ руб. |
|--------------|------------------|-------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Руководитель | 33 775,83 | 1,3 | 43 908,58 | 1535,27 | 40 | 61410 |
| Исполнитель | 9893,56 | 1,3 | 12861,63 | 449,71 | 150 | 67457 |
| Итого | | | | | | 128867 |

Дополнительная заработная плата составляет 10 – 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Коэффициент дополнительной заработной платы $k_{доп} = 0,15$.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (8)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитывается по формуле:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (составляет 30%).

В таблице 15 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы за весь проектный период.

Таблица 15 – Заработная плата исполнителей за весь проектный период

| Заработная плата за проектный период | Руководитель | Исполнитель |
|--------------------------------------|--------------|-------------|
| Основная зарплата, руб. | 61410 | 67457 |
| Дополнительная зарплата, руб. | 9211 | 10118 |
| Зарплата, руб. | 70622 | 77575 |
| Итого по статье $C_{зп}$ | 148197 | |

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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

Накладные расходы включают в себя затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему (80 – 100 % от общей суммы заработной платы, работников). По статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости научно-технического исследования (таблица 16).

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

| № | Наименование статьи | Сумма, руб. |
|---|--|----------------|
| 1 | Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты | 2235 |
| 2 | Специальное оборудование для экспериментальных работ | 96 370 + 3 740 |
| 3 | Основная заработная плата | 128867 |
| 4 | Дополнительная заработная плата | 19330 |
| 5 | Отчисления на социальные нужды | 44459 |
| 6 | Накладные расходы | 133378 |
| 7 | Итого плановая себестоимость | 428379 |

4.5 Реестр рисков проекта. Эффективность проекта

Риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

При рассмотрении рисков проекта уровень риска зависит от вероятного его наступления и степени влияния на проект.

Реестр рисков по данному проекту представлен в таблице 17.

В результате выполнения работы на основе амплитудно-частотного, частотно–временного и корреляционного анализа установлены основные закономерности механоэлектрических преобразований в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой при циклическом замораживании – оттаивании и предложены критерии определения степени дефектности данных бетонов.

На основе проведенных исследований будет разработан метод входного контроля армированного бетона, который позволит производить разбраковку изделий по их качеству и повысить надежность возводимых сооружений. Это даст возможность увеличить срок службы конструкций из армированного бетона и избежать негативных последствий (в том числе человеческих жертв) в результате их непредвиденного разрушения. Так же метод способен дать высокий экономический эффект, так как аналогов на сегодняшний день не имеет.

Таблица 17 – Реестр рисков по проекту

| № | Риск | Потенциальное воздействие | Вероятность наступления (1-5) | Влияние риска (1-5) | Уровень риска | Способы смягчения | Условия наступления |
|---|---|---|-------------------------------|---------------------|---------------|--|--|
| 1 | Некачественность материалов для изготовления образцов | Недостоверность полученных данных при исследованиях | 3 | 5 | Высокий | Более тщательный входной контроль материалов | Некачественный отбор материалов |
| 2 | Некачественное изготовление образцов | Недостоверность полученных данных при исследованиях | 1 | 5 | Высокий | Контроль изготовления образцов | Нарушение технологии изготовления |
| 3 | Внеплановое отключение электроэнергии | Несохранение экспериментальных данных | 1 | 3 | Средний | Автосохранение получаемых данных | Чрезвычайная ситуация |
| 4 | Неисправность оборудования | Невозможность проведения исследований | 4 | 5 | Высокий | Наличие запасных деталей для незамедлительного ремонта | Несвоевременный мониторинг оборудования |
| 5 | Отсутствие финансирования | Срыв графика исследований | 1 | 4 | высокий | Наличия запаса необходимых материалов | Подвижность рыночной конъюнктуры |
| 6 | Заболевание исполнителя | Срыв графика исследований | 3 | 4 | Высокий | Планирование работ с запасом времени по графику | Своевременная профилактика заболеваний |
| 7 | Отсутствие информативности в полученных данных | Срыв графика исследований | 2 | 5 | высокий | Возможность использования полученных данных в других разработках | Некорректно поставленные задачи исследования |

5 Социальная ответственность

Исследования при написании магистерской диссертации проводились на физических моделях бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, с целью определения зависимости влияния прочности адгезионного контакта системы бетон-арматура на параметры электромагнитного сигнала.

Экспериментальные исследования проводились на установке для определения электромагнитных сигналов, которая представляет собой ячейку с емкостными датчиками, электромеханическим ударным устройством и измерительными приборами: осциллографической приставкой «PCS 500», источником постоянного тока Б5-43 и ЭВМ.

На основе проведенных исследований будет разработан метод неразрушающего контроля бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, который позволит повысить надежность возводимых

Полученные в процессе исследования результаты будут в дальнейшем использованы для разработки метода неразрушающего контроля бетона, армированного стеклопластиковой арматурой, который позволит снизить риск и уменьшить последствия непредвиденного разрушения строительных конструкций, избежать негативных последствий в результате их непредвиденного разрушения благодаря осуществлению своевременного текущего ремонта и реконструкции.

Данный метод неразрушающего контроля в дальнейшем может быть использован инженерами – дефектоскопистами для осуществления контроля строительных конструкций на всех стадиях изготовления, эксплуатации и ремонта.

5.1 Производственная безопасность

Все опасные и вредные производственные факторы по своей природе принято разделять на физические, химические, биологические и психофизиологические [33].

При проведении исследований по данной теме на лаборанта могут оказывать воздействие физические и психофизиологические опасные и вредные производственные факторы. Перечень факторов, характерных для проектируемой производственной среды сведен в таблицу 18.

Таблица 18 – Опасные и вредные факторы при проведении проектных исследований

| Источник фактора | Факторы | | Нормативные документы |
|--|------------|---|---|
| | Опасные | Вредные | |
| 1.Персональный компьютер 2.Лабораторная установка для проведения исследований | Электр.ток | 1.Повышенный уровень электромагнитных излучений 2.Недостаточная освещенность рабочей зоны 3. Отклонение показателей микроклимата от нормальных 4.Монотонность труда 5.Умственное перенапряжение | ГОСТ Р 12.1.019-2009 [34] ГОСТ 12.1.030-81 [35] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [36] СП 52.13330.2011 [37] СанПиН 2.2.4.548–96 [38] Р 2.2.2006–05[39] |

5.1.1 Электрический ток

Помещение лаборатории, в котором проводятся исследования, относится к классу помещений без повышенной опасности поражения электрическим током, так как в помещении отсутствуют особая влажность, токопроводящая пыль, возможность одновременного прикосновения человека к корпусам лабораторной установки и к заземлённым металлическим конструкциям здания.

Средняя температура в помещении не должна превышать $+35^{\circ}\text{C}$, относительная влажность не более 75%, необходимо исключение возможности одновременного прикосновения к заземленным металлическим конструкциям здания (батареи отопления) и корпусам электрооборудования.

В соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 12.1.030.-81 при работе с установками напряжением питания до 1000 В и глухозаземленной нейтралью необходимо применять зануление для защиты от поражения электрическим током. Для зануления необходимо соединить все металлические корпуса оборудования, которые случайно могут оказаться под напряжением, с неоднократно заземленным нулевым проводом сети. Сечение соединительного проводника должно быть не меньше половины сечения фазного проводника. Зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание в результате чего срабатывает автоматическая защита. Повторное заземление нулевого провода необходимо для уменьшения опасности поражения людей током, возникающей при обрыве нулевого провода и замыкании фазы на корпус за местом обрыва. Сопротивление повторного заземления нулевого провода должно быть не больше 10 Ом.

Контроль изоляции в отделе проводится один раз в год на участке “фаза-фаза”, “фаза-ноль”, “фаза – нулевой защитный проводник” (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм). В помещении должно быть установлено устройство защитного отключения, стандартно

располагаемое на вводе электросети в производственное помещение, с целью защиты персонала от поражения электрическим током. Время отключения не должно превышать 0,1-0,2 с.

Для проведения экспериментальных исследований инженеру – лаборанту необходимо иметь квалификационную группу допуска по электробезопасности не ниже 3 (до 1000 В).

Для защиты от поражения электрическим током при работе с лабораторной установкой необходимо проведение следующих организационно-технических мероприятий:

- инструктаж по технике безопасности;
- подключение устройства защитного заземления сопротивлением не более 10 Ом для исключения опасности поражения лаборанта электрическим током;
- обеспечение недоступности к токоведущим частям путем применения защитных кожухов и изоляции;
- ограждение измерительной ячейки защитной сеткой;
- присоединение лабораторной установки к питающей сети через общий рубильник, которым в случае необходимости можно обесточить всю установку;
- обеспечение нетоковедущих частей электрооборудования защитным занулением;
- расположение всех металлических частей установки, находящихся под напряжением, в порядке, исключающем случайное прикосновение;
- проверка перед началом работы исправности оборудования и надежности изоляционных материалов;
- обеспечение инженера – лаборанта во время работы с установкой индивидуальными средствами защиты (диэлектрическим ковриком перед установкой, слесарно-монтажным инструментом с изолированными рукоятками при ремонтных работах, диэлектрическими перчатками);

– проверка инженером – лаборантом при уходе из помещения отключения установки от источника питания, выключения общего питающего рубильника.

5.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником излучения в рабочем помещении является монитор персонального компьютера. Длительное воздействие данного излучения на инженера – лаборанта способно привести к ухудшению зрения. Доза облучения данным излучением при работе с компьютером в несколько раз ниже установленных норм (предельно допустимая энергетическая нагрузка за рабочий день - $2 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), но, тем не менее, необходимо выполнение следующих рекомендаций:

- исключение мерцания экрана (использование монитора с частотой кадров не менее 70 Гц);
- расположение верхнего края монитора на уровне глаз;
- избегание освещения экрана яркими источниками света;
- использование монитора с низким разрешением;
- регулярные перерывы в работе.

5.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточный уровень освещения при проведении исследований оказывает негативное воздействие на инженера – лаборанта, способствует снижению производительности труда, обеспечения его безопасности, снижению высокой работоспособности исследователя на протяжении длительного времени, т.к. свет является важным стимулятором не только зрительного анализатора, но и организма в целом.

Помещение с ЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение в соответствии с СП 52.13330.2011. Для данного типа работ минимальная освещенность в лаборатории должна составлять 300-500 лк. Естественный свет должен проникать через боковые светопроемы, сориентированные, как правило, на север или северо-восток, и обеспечивать коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,5%. При производственной необходимости разрешается эксплуатировать ЭВМ в помещениях без естественного освещения по согласованию с органами государственного надзора за охраной труда и органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы.

Общее освещение лаборатории должно быть выполнено в виде сплошных или прерывистых линий светильников, которые располагаются в стороне от рабочих мест (преимущественно слева) параллельно линии зрения работников. Допускается размещение линии светильников искусственного освещения локально над рабочими местами.

Для общего освещения необходимо применять светильники с рассеивателями и зеркальными экранами сетками или отражателями, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Как источник при искусственном освещении должны применяться, как правило, люминесцентные лампы типа ЛБ.

Для обеспечения нормированных значений освещения в помещениях с ЭВМ необходимо очищать оконное стекло и светильники не реже чем 2 раза в год и своевременно проводить замену перегоревших ламп.

5.1.4 Отклонение показателей микроклимата от нормальных значений

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны полностью соответствовать требованиям СанПиН 2.2.4.548–96.

Показатели микроклимата включают в себя температуру воздуха, ее относительную влажность, скорость движения воздуха и интенсивность теплового излучения.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для помещения лаборатории, в котором проводятся исследования, приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Нормативные значения показателей микроклимата

| Период года | Категория работ | Температура, °С | | Относительная влажность, % | | Скорость движения, м/с | |
|-------------|-----------------|-----------------|------------|----------------------------|------------|------------------------|------------|
| | | Оптимальная | Допустимая | Оптимальная | Допустимая | Оптимальная | Допустимая |
| Холодный | Легкая | 22 – 24 | 21 – 25 | 40 – 60 | 75 | 0,1 | ≤ 0,1 |
| Теплый | Легкая | 23 – 25 | 22 – 28 | 40 – 60 | 55 | 0,1 | 0,1–0,2 |

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха в холодный период года необходимо обеспечивать отопление помещения, в теплый период – кондиционирование воздуха, чтобы нормализовать повышенную температуру в отделе.

5.1.5 Монотонность труда. Умственное перенапряжение

Работа инженера – лаборанта связана с умственным трудом. Для уменьшения влияния данных психофизиологических факторов необходимо правильно организовывать отдых работника.

Выполняемые при исследовании работы относятся к III категории работ – продолжительность работ группы В превышает 4 часов [36]. Работа пользователей компьютеров характеризуется значительным напряжением зрительных анализаторов. Для уменьшения умственного перенапряжения, монотонности труда и эмоциональных перегрузок следует установить перерывы по 20 мин каждый через 2 часа после начала работ, через 1,5 и 2,5 часа после обеденного перерыва или же по 5-15 минут через каждый час работы. Общая продолжительность дополнительных перерывов составляет 60 минут.

5.2 Экологическая безопасность

В последние годы во всем мире все с большей силой поднимается вопрос об охране окружающей среды. Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере, истощение озонового слоя и прочие загрязнения природы приводят к тому, что в природе изменяется привычный для данного периода ход вещей. Для примера – увеличивается средняя годовая температура окружающей среды, что приводит к глобальным изменениям климата, а впоследствии и ландшафта поверхности Земли. Не нужно писать.

При использовании в лабораторных помещениях люминесцентных ламп, содержащих ртуть, необходимо заключение между лабораторией и специальными предприятиями договора о переработке использованных ламп.

При проведении экспериментальных исследований по данной теме проекта не происходит вредных выбросов в воздух.

Твердые бытовые отходы, образующиеся после проведения исследований, в частности образцы бетона, армированного стеклопластиковой арматурой не подлежат дальнейшему использованию в качестве вторичных ресурсов, т.к. их переработка экономически невыгодна.

Образцы армированного бетона должны быть утилизированы в специальные контейнеры. В дальнейшем данные отходы подвержены прессовке и захоронению на полигонах, располагающихся вдали от водоохраных зон и имеющих гидроизоляцию для исключения загрязнения грунтовых вод.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под чрезвычайной ситуацией понимается обстановка, сложившаяся в результате опасной ситуации техногенного характера, катастрофы, также это может быть природное явление, стихийное или иное бедствие. Чрезвычайные ситуации приводят или могут привести к человеческим жертвам, причинению вреда здоровью людей или окружающей среде, значительному материальному ущербу.

Вероятными чрезвычайными ситуациями, которые могут возникнуть при разработке данного научного исследования, являются:

- разрушение зданий, сооружений;
- взрывы;
- пожары.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях нормируется ГОСТ Р 22.0.01-94 и ГОСТ Р 22.0.07-95 [40,41].

5.3.1 Разрушение зданий, сооружений

Разрушение зданий и сооружений может явиться следствием взрыва лабораторного оборудования из-за возникновения неисправности, а также по причине отсутствия своевременного мониторинга технического состояния возведенной конструкции.

Первыми признаками разрушения строений являются – внезапно возникновение трещин, вибраций, признаков взрыва или механического удара.

Выход из многоэтажного здания займет время, поэтому при малейших признаках обрушения нужно укрыться в таких местах, где маловероятно поражение обломками. К таким местам относятся оконные и дверные проемы, углы. Движение в полуразрушенном здании очень опасно, так как разрушение его может продолжиться в любой момент. Поэтому лучше привлекать к себе внимание спасателей криками и ждать помощи. Возвращаться в разрушенное строение за своим имуществом и документами не нужно, это не безопасно. Безопасное расстояние от рушащегося здания – расстояние, равное его высоте.

5.3.2 Взрывы

Взрывы являются быстротекущими процессами и сопровождаются выделением значительной энергии в небольшом объеме, приводящей к ударным, вибрационным и тепловым воздействиям на окружающую среду.

При возникновении взрыва в первую очередь необходимо не паниковать и по возможности быстро определить свое местонахождение и состояние здоровья. Оказав себе первую медицинскую помощь, постараться быстрее покинуть зону взрыва. При отсутствии возможности самостоятельно эвакуироваться из разрушенного здания необходимо оценить окружающую обстановку, защитить органы дыхания с помощью любой ткани, по возможности подавать голосовые сигналы спасателям.

5.3.3 Пожары

По классу пожаробезопасности лаборатория, в которой проводятся исследования относится к классу П–2А.

Причины возможного возникновения пожара:

- несоблюдение правил эксплуатации электроустановок и электросети;
- нарушение режимов работы нагревающего оборудования;
- перегрев мест соединений токоведущих частей в результате образования высокого переходного сопротивления;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Источниками воспламенения могут послужить элементы электропроводки, которые могут перегреваться в результате неисправности оборудования или нарушения правил эксплуатации оборудования; оборудование, установленное в помещении.

Для предупреждения пожара необходимо проводить ряд технических и организационных мероприятий в соответствии с ГОСТ 12.1.004 – 91 и ГОСТ 12.4.009 – 83 [42,43].

Для предотвращения пожаров необходимо проведение следующих мероприятий:

- организационных: проведение инструктажей, бесед, лекций по пожарной безопасности;
- эксплуатационных: постоянный контроль правильности эксплуатации лабораторного оборудования, дополнительной аппаратуры, содержание зданий и близлежащих территорий в состоянии пожарной безопасности;
- технических: соблюдение противопожарных правил при устройстве отопления, вентиляции, установке аппаратуры, применение в конструкциях приборов и устройств быстродействующих средств отключения возможных источников зажигания, устройств молниезащиты зданий и сооружений;
- режимных: запрещение курения в не установленных местах.

При проведении исследований в лаборатории рекомендуется наличие следующих первичных противопожарных средств:

- углекислотные огнетушители ОУ-5 (1 огнетушитель на $40 - 50\text{ м}^2$, но не менее двух в помещении);
- ящик с песком объемом $0,5\text{ м}^3$;
- система автоматической пожарной сигнализации с датчиками, реагирующими на появление дыма ФНП – 1 из расчета 1 на 10 м^2 ;
- телефон, установленный в легкодоступном месте.

В системе вентиляции должны быть предусмотрены устройства для перекрытия воздуха в случае пожара. Следует держать свободными подступы к орудиям пожаротушения и проходы для эвакуации людей. Эвакуационные пути (коридоры и лестничные клетки) должны иметь эвакуационное освещение, питаемое от независимого источника питания и выполняемое электролампами накаливания мощностью 40 Вт .

При аварийных ситуациях, когда необходима эвакуация людей и оборудования, необходимо действовать согласно плану эвакуации на случай чрезвычайных ситуаций, размещенному на видимом участке в помещении лаборатории. Эвакуация людей из рабочего помещения должна производиться по кратчайшему пути к выходу из здания, при соблюдении правил поведения при чрезвычайных ситуациях.

5.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для уменьшения влияния психофизиологических факторов необходима правильная организация отдыха работников и рабочего места. Исследования по данному проекту выполняются сидя. Данный тип работ нормируется ГОСТ 12.2.032-78 [44].

При размещении рабочего места необходимо придерживаться следующих требований:

- рабочее место должно быть размещено таким образом, чтобы естественный свет падал сбоку (оптимально – слева);
- рабочее место с ЭВМ размещается на расстоянии не менее 1м от стен со световым окном;
- расстояние между экранами ЭВМ должно быть не менее 2,5м;
- расстояние между боковыми поверхностями ЭВМ должно быть не менее 1,2м;
- проход между рабочими рядами должен быть не менее 1м.

Рабочее место инженера – лаборанта при проведении исследований должно соответствовать следующим требованиям:

- высота рабочей поверхности стола для ЭВМ должна быть в пределах 680-800 мм, ширина стола - 600-1400 мм, глубина стола - 800-1000 мм;
- стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600мм и шириной не менее 500 мм;
- сидения, используемые в лаборатории, должны быть снабжены подъемно-поворотным механизмом, позволяют регулировать угол наклона, как самого сидения, так и спинки. Сидения также снабжены подлокотниками и позволяют регулировать расстояние спинки от переднего края сидения;
- экран монитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Обеспечение выполнения данных требований к компоновке рабочей зоны позволит улучшить качество и производительность труда инженера – лаборанта, снизить влияние действия психофизиологических факторов, обеспечить рациональный и безопасный труд.

Заключение

Основным результатом диссертационных исследований служит установление закономерностей трансформации параметров электрического сигнала при ударном возбуждении армированного стеклопластиковой арматурой бетона в процессе циклического замораживания - оттаивания.

Наличие стеклопластиковой арматуры в образцах бетона приводит к увеличению коэффициента затухания энергии электрических сигналов и не оказывает существенного влияния на их спектральный состав.

С увеличением количества циклов замораживания – оттаивания наблюдается возрастание коэффициента затухания энергии электрического сигнала, смещение спектра сигнала в низкочастотную область и снижение величины коэффициента взаимной корреляции исследуемых спектров по сравнению с исходными спектрами из этих же образцов.

Циклическое замораживание-оттаивание приводит к изменению упругих характеристик и прочности адгезионного контакта арматуры с бетоном. После 18 цикла прочность контакта арматуры с бетоном уменьшается в 2 раза.

Коэффициент затухания энергии электрического сигнала хорошо коррелирует с изменением прочности связи арматуры с бетоном и может быть использован в качестве диагностического критерия для неразрушающего контроля.

Предложенный метод имеет потенциал для мониторинга изменений прочности связи бетона со стеклопластиковой арматурой в условиях циклического климатического воздействия.

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для разработки неразрушающего контроля армированного бетона, который позволит своевременно отслеживать техническое состояние возводимых конструкций, повышая надежность и безопасность их эксплуатации.

Список публикаций

1. Корзенюк И.Н. «Исследование параметров электрического сигнала из образцов бетона, армированного стеклопластиковой арматурой», VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2015», г. Томск, 15 февраля – 31 марта 2015г.

2. Корзенюк И.Н. «Влияние циклического замораживания – оттаивания на параметры электрического сигнала из армированного бетона», XII Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 21–24 апреля 2015 г.

3. Korzenok I.N.«The influence of climatic tests on the parameters of the electric signal glass fiber reinforced concrete», V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», г. Томск, 25-29 мая 2015г.

4. Корзенюк И.Н. «Неразрушающие методы контроля бетона, армированного стеклопластиковой арматурой», Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее, г. Томск, 5-10 октября 2015г.

5. Fursa T.V., Utsyn G.E., Korzenok I.N., Petrov M.V., Reutov Yu.A. «Using electric response to mechanical impact for evaluating the durability of the GFRP-concrete bond during the freeze-thaw process», Composites Part B: Engineering, November 2015.

6. Fursa T.V., Petrov M.V., Korzenok I.N.«Influence of cyclic freeze-thaw on the parameters of the electric response to the pulse mechanical excitation of concrete reinforced by glass fiber reinforced polymer bars»// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110 (2016) 012088.

Список использованных источников

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетонов – М.: Инфра - Инженерия, 2016. – 386 с.
2. Зоткин А.Б. Бетон и бетонные конструкции. – М.: Феникс, 2012. – 336 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин и др. – М.: АСВ, 2016. – 172 с.
4. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
5. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стеклые волокна. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2011. -53с.
6. Fiberglass and Glass Technology/Wallenberger F.T., Bingham P.A. // Energy – Friendly Compositions and Applications. -2009. –Vol.35. –P.474 – 351.
7. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. -М.: Стройиздат, 1980.-104с.
8. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. – М.: Стандартинформ, 2013. –14 с.
9. МГСН 2.08-01С. Защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций жилых и общественных зданий. – М.: Стандартинформ, 2003. – 21с.
10. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная версия СНиП 52-01-2003. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
11. Мурашов В.В., Румянцев А.Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. Часть 1. «Контроль и диагностика». – М.: АСВ, 2012. – 470 с.

12. Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ/Алёшин Н.П., Григорьев М.В., Щипаков Н.А.// Инженерный вестник. -2015. -№1. – с.533-538.

13. Reliable onset time determination and source location of acoustic emissions in concrete structures /A. Carpinteri, J. Xu, G. Lacidogna, A. // Cement and Concrete Composites. -2012. –Vol.35. - P. 529–537.

14. Detecting the time and location of cracks using electrically conductive surfaces/ Mohammad Pour-Ghaz, Jason Weiss// Cement and Concrete Composites. -2011. –Vol.33. – P.116-123.

15. Study on the Cracking Process of Cement-Based Materials by AC Impedance Method and Ultrasonic Method/ Yue Li, Chun-e Sui, Qing-jun Ding// Journal of Nondestructive Evaluation. -2012. –Vol.15. – P.83-90.

16. Evaluation of Concrete Distributed Cracks by Ultrasonic Travel Time Shift Under an External Mechanical Perturbation: Study of Indirect and Semi-direct Transmission Configurations/ D. Bui, S. A. Kodjo, P. Rivard, B. Fournier// Journal of Nondestructive Evaluation. -2012. –Vol.37. – P. 100-107.

17. Nondestructive evaluation of forced delamination in glass fiber-reinforced composites by terahertz and ultrasonic waves/ Junliang Dong, Byungchil Kim, Alexandre Locquet, Peter McKeon, NicoDeclercq, D.S.// Composites Part B: Engineering.- 2015. –Vol.24. – P. 667-675.

18. Multimodal analysis of GRC ageing process using nonlinear impact resonance acoustic spectroscopy/ Genove V., Riestra C., Borrachero M.V., Eiras J., Kundu T., Paya J.// Composites Part B: Engineering. -2015. –Vol.21. – P. 105-111.

19. Mechanical damage characterization of glass fiber -reinforced polymer laminates by ultrasonic maps/ Walid Harizi,, Salim Chaki, Gerard Bourse, Mohamed Ourak// Composites Part B: Engineering. -2014. –Vol.34. – P. 131-137.

20. Ультразвуковая томография бетонных конструкций методом цифровой фокусировки антенной решётки/ Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.// Дефектоскопия. -2011. -№1. – с.21-38.

21. Evaluation of gluing of GFRP onto concrete structures by infrared thermography coupled with thermal impedance/Chauchois Alexis, Brachelet Franck, Defer Didier, Antczak Emmanuel, Choi Hangseok// Composites Part B: Engineering. -2014. –Vol.33. – P. 350-358.

22. Фурса Т.В. О механизме механоэлектрических преобразований при ударном возбуждении композиционных материалов на основе цементного вяжущего // ЖТФ. – 2011. – Т. 71. – Вып. 7. – 53 – 56 с.

23. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов // ЖТФ. – 2013. – Т. 78. – Вып. 4. – 71 – 76 с.

24. Фурса Т.В., Данн Д.Д. Механоэлектрические преобразования в гетерогенных материалах, содержащих пьезоэлектрические включения // ЖТФ. – 2011. – Т. 91. – Вып. 8. – 53 – 58 с.

25. Фурса Т. В. Разработка метода контроля динамики изменения дефектности бетона под действием циклического замораживания-оттаивания на основе явления механоэлектрических преобразований /Осипов К. Ю., Данн Д. Д. // Письма в журнал технической физики. - 2011 - Т. 37, Вып. 7 - С. 1-7.

26. Фурса Т.В. Исследование взаимосвязи степени напряженно–деформированного состояния композиционных материалов с параметрами электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение /Суржиков А.П., Хорсов Н.Н., Осипов К.Ю. // ЖТФ. – 2012. – Т.76, вып.4,— С. 129–132.

27. Фурса Т.В. Исследование параметров электрического отклика на упругое ударное возбуждение бетона при его одноосном сжатии / Данн Д.Д., Демихова А.А., Федотов П.И. // Контроль. Диагностика. – 2013. – №. 9. – С. 33-37.

28. Способ контроля прочности изделий из твердых материалов / Т.В. Фурса, К.Ю. Осипов, Д.Д. Данн: патент Рос.Федерация № 2453824; заявл. 22.02.11; опубл. 20.06.12.

29. Effect of the presence and size of a real macro-crack on diffuse ultrasound in concrete / A. Quiviger, C. Payan, J.F. Chaix, V. Garnier, J. Salin // NDT&E International. – 2012. – Vol. 45. – P. 128 – 132.
30. Characterization of cement-based materials using diffuse ultrasound/ Becker J., Jacobs L.J., Qu J. // J.Eng.Mech.- 2003.- Vol.129.- P.1478-1484.
31. Кравченко И.Т. Теория волновых процессов. – Екатеринбург: Едиториал УРСС, 2011. – 240 с.
32. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
33. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М: Издательство стандартов, 1976.
34. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М: Издательство стандартов, 2011.
35. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М: Издательство стандартов, 1982.
36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.
37. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Центр санитарно – эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2011.
38. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
39. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Центр санитарно – эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2005.

40. ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в ЧС. Основные положения.– М: Издательство стандартов, 1994.

41. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.– М: Издательство стандартов, 1995.

42. ГОСТ 12.1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Издательство стандартов, 1991.

43. ГОСТ 12.4.009 – 83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.– М: Издательство стандартов, 1983.

44. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М: Издательство стандартов, 1978.

Приложение А

Раздел 2 Методики проведения исследований Methodology of research

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ4А | Корзенюк Ирина Николаевна | | |

Консультант кафедры ФМПК:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой ФМПК | Суржиков А.П. | д.ф-м.н. профессор | | |

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков ФТИ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Устюжанина А.К. | – | | |

2 Methodology of research

2.1 Methodology and equipment for recording and processing of electric signals

All the experimental researches based on the phenomenon of mechano-electrical transformations were performed using a laboratory hardware-software complex (Fig.4), developed on the basis of the laboratory of National Research Tomsk Polytechnic University.



Figure 4 – Laboratory complex for researches of mechano-electrical transformations

The structure of the laboratory complex:

- 1 –concrete sample;
- 2 – electromechanical impact device;
- 3 – measuring receiver;
- 4 – compensating receiver;
- 5 - differential amplifier;
- 6 - multifunction input/output board ;
- 7 –power supply.

Mechanical impulse excitation of the concrete sample (1) was carried out using an electromechanical impact device (2). This device allows producing a single normalized impact on a steel substrate, which is fixed on the base of the impact device. The impact device is an electromagnet. The required impact force is provided by applying a voltage to the coil of the electromagnet from the pulse power supply. The metal core of the electromagnet with a spherical tip is located inside the impact device case and allows creating the elastic spherical wave in the material. An impact is performed on a steel substrate, which is attached to the base of impact device. Therefore, the distance from the point of impact is equal to the distance to the electrical receiver. The substrate and the impact device spherical tip are made of hardened steel of the same hardness to create elastic impact. The magnitude of impact loads is about 100 N, the duration of the excitation pulse is 60 μ s. A steel substrate is pressed tightly to the sample using pressing hand or weight. It allows implementing a good acoustic contact of the substrate with the concrete surface.

The electric measuring receiver (3) is fixed at the impact device case through acoustical uncoupling, so it is always located at the same distance from the surface (approximately 2 mm). The measuring receiver is a metal plate, which is made of metal-clad glass textolite of size 20x25 mm. It is connected to ground through the input impedance of 20 megaohms. Current begins to flow through the input resistance of the measuring circuit after appearing of free charge carriers induced by an electric field on the receiving electrode surface. The differential electric sensor was used for measuring current. The sensor consists of two measuring and compensating electrodes.

The compensating receiver (4) is identical to the measuring receiver and located at a height of 30 mm above it. The measuring receiver records the useful signal from the sample and the external interference signal. The compensating receiver is removed from the source of the desired signal and it perceives practically only interfering signal.

These signals arrive at the differential amplifier input, which is based on the circuit AL8253 (5), where they are subtracted and amplified. The sensitivity of the differential amplifier on the receiver electric tract input is not lower than 100 mV, the working frequency band is from 0.2 to 200 kHz. The electrical sensor signal is registered using the input/output board "N1 PC1-6251", which allows digitization of the interim implementation of an electric signal with a sampling rate of 1 MHz.

The procedure of electric signals registration is performed with a special program developed in the environment LabView 9.0. The working window of this program is shown in Fig.5.

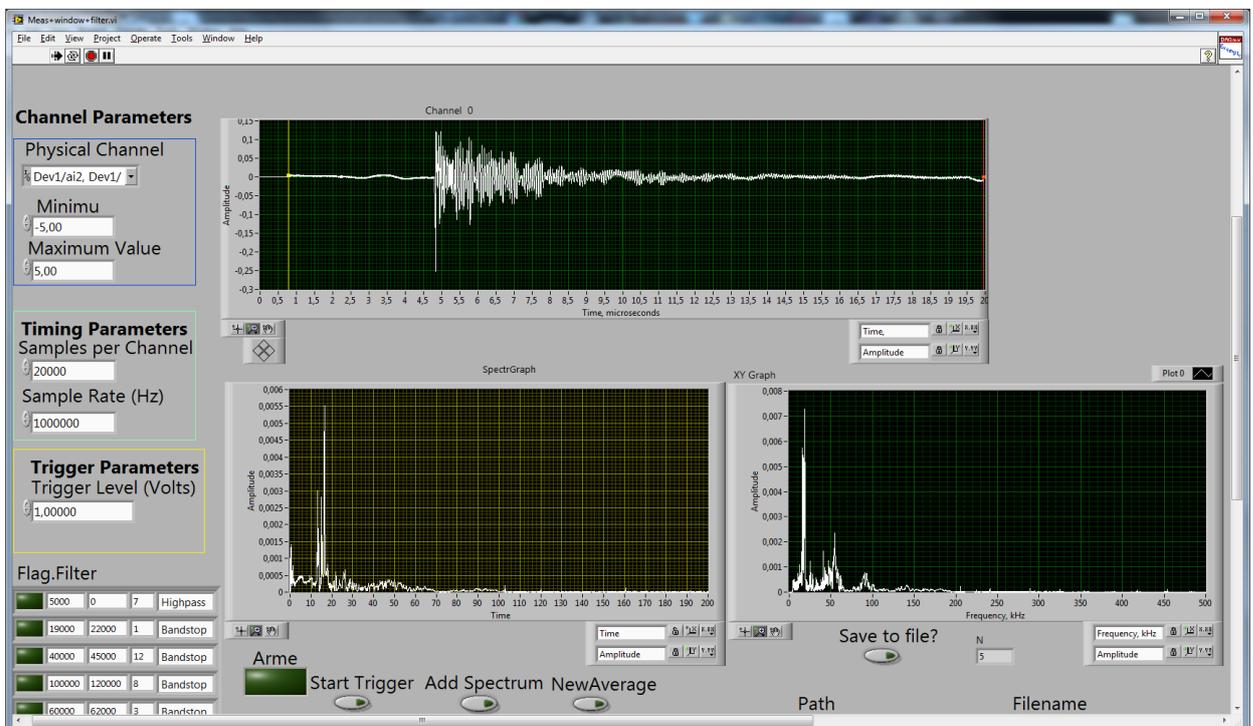


Figure 5 – Window of working panel of the program "Measurement"

The sampling rate and the points of time realization number is set in the registration program box "Timing Parameters". Next, we set the limits of voltage measurement in volts and indicate the operating channels from which signals are received in the box "Channel Parameters". The threshold parameters are entered in the box "Trigger Parameters" after exceeding which the recording signal starts.

The external noise level is measured before starting work. The threshold is set below the interfering level, the program is launched using the button "Start trigger", and it goes into the recording mode. The upper and lower limits of the frequency filters and their order are set in the box "Flag Filter" after obtaining spectral characteristic of the background electrical signal. These filters remove high-amplitude interfering components, which are present in the background signal.

The threshold 1V is set when all the preparatory operations are performed; the program starts with the button "Start Trigger" and goes into standby mode. The circuit of switching relay is started with the button located on the power supply block and voltage is applied to the impact device. In recording mode the transition program is derived from pulse amplitude of 5 V and duration of 6 μ s. The pulse is formed in the power supply when a voltage is applied to the impact device coil. The operation of the impact device is triggered when the voltage is applied, after that the impact is made on the object. As a result, an electric signal appears on the differential amplifier output, the signal is recorded in the buffer memory of the program.

This program calculates the signals spectra by using standard fast Fourier transformations. The signal and the spectrum of the signal is shown in the windows. After registering the signal and spectrum are written in text files of format *.txt for further processing and analysis and are presented in the form of tabular data.

2.1.1 Methodology of determining the coefficient of correlation

Correlation analysis was carried out in the program "Corr_Model", developed in the environment LabView 9.0. The program allows moving the compared signals relative to each other sequentially. The coefficient of function cross-correlation of two time signals or their spectra can be calculated using this

program. The program is based on the standard method of evaluating the degree of correlation of two sequences. Correlation analysis allows to estimate the regression function and to identify the relationship between random variables, which have joint normal distribution. In the program the sample correlation coefficient is calculated by the formula 1:

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

where X_i , and Y_i are two compared sequences;

\bar{X} , \bar{Y} – their average values.

Two user selectable signals are given to the program input (tested and real signals or the tested signal and the standard mathematical electromagnetic signal from a defect-free sample). The mathematical benchmark is free damped harmonic oscillation modeled in the environment LabView 9.0. Next we set the maximum number of points to shift.

The work of program is shifting the signals to each other, and the correlation coefficient is calculated through each point. As a result the user has access to the following rated data: maximum coefficient of cross-correlation, the shift at which the maximum coefficient of cross-correlation was obtained and the coefficient of correlation at zero shift.

The program can work with a time implementation and spectra of signals. The working window of this program is shown in Fig.5.

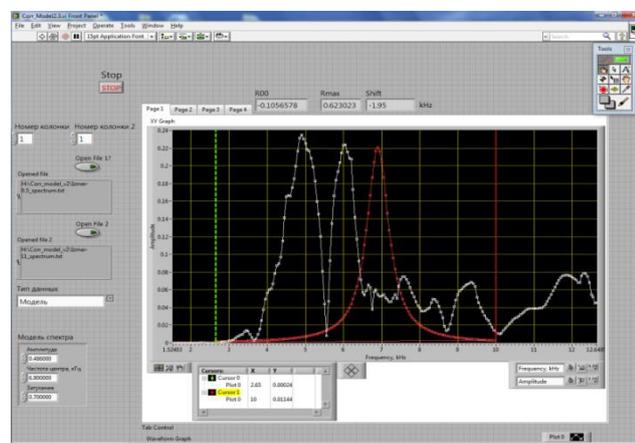


Figure 5 – Working window of the program to calculate the correlation coefficient

2.1.2 Methodology of determining the coefficient of attenuation

Time-frequency analysis was used to determine the attenuation coefficient of an electrical signal from the sample [29, 30].

The essence of this approach is tracing the character of changes of elastic waves spectral energy as a function of time. The processing of obtained experimental data was carried out using a special program in the environment LabView (Fig.6).

Initially the user determines the size of the sliding window and sets the step for shifting this window along the time realization of the signal.

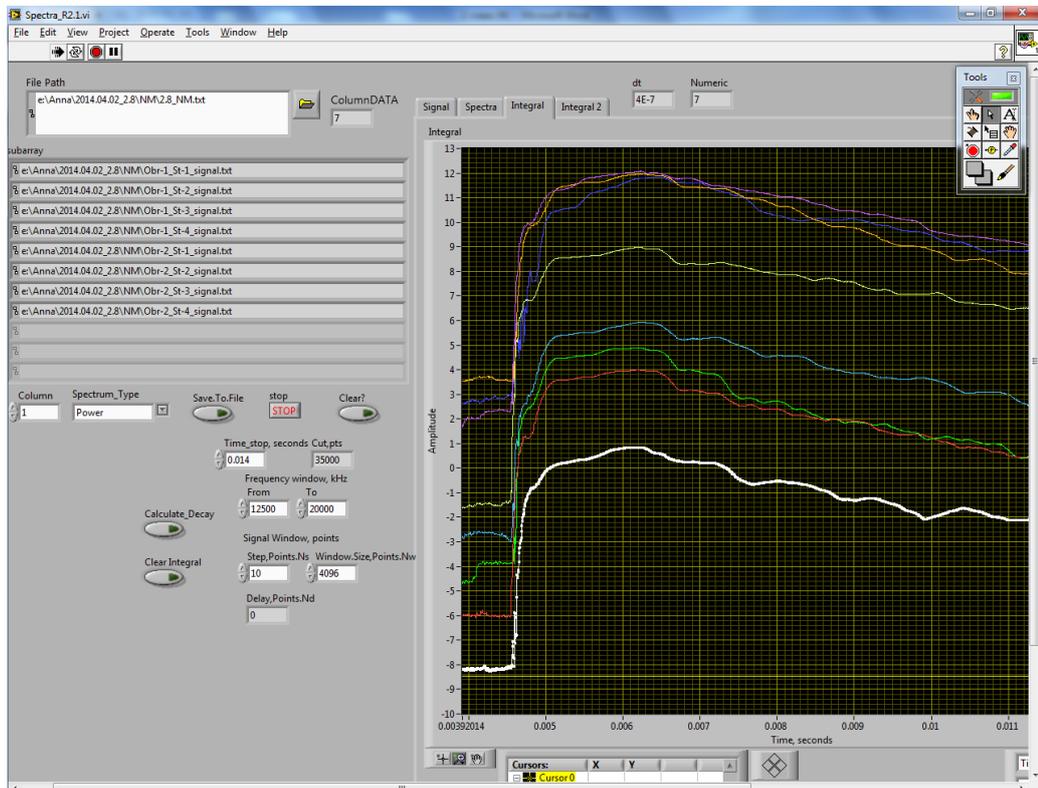


Figure 6 – Working window of the program of determining the coefficient of attenuation

For analysis the required frequency range is selected in the energy spectrum using the cursors. The total spectral energy of an electric signal is calculated for every window in the chosen frequency range.

The program allows analyzing a large number of signals simultaneously, it reduces the calculation time. For example, program allows analyzing and recording data file on changing attenuation coefficients depending on the size, depth and concentration of defects, etc. For this purpose, a single file of analyzed electric signals is formed from the measured data bank. The number of signals in the file can vary.

The analyzed frequency range of the spectrum is chosen at the initial stage of using this program.

For the example, the attenuation of spectral energy is analyzed in the sample of concrete reinforced by glass fiber reinforced polymer bars (GFRP bars) of size 100x100x100 mm.

The energy spectrum of an electric signal from the sample of concrete reinforced by GFRP bars is shown in Figure 7.

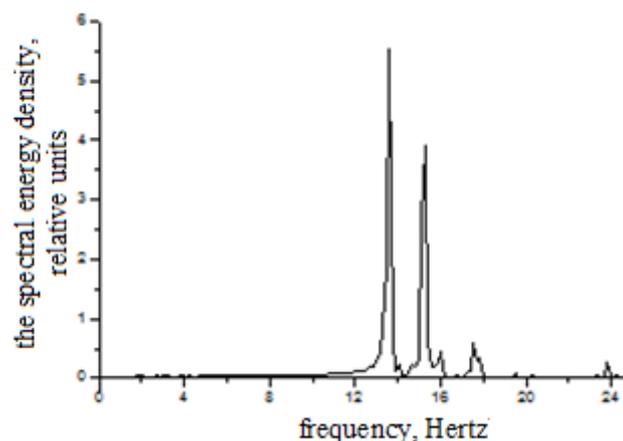


Figure 7– the electric signal energy spectrum from the sample of concrete reinforced by GFRP bars

The frequency range which is the main part of the electric signal energy lies in the region of 13-18 kHz. The specified frequency range should be larger (12-20 kHz), because replacing the sample can move the spectral peaks in the area of low and higher frequencies.

In the program settings the other specified parameters necessary for obtaining the most reliable results on the basis of the specific of the analyzed signals should be chosen.

The user must estimate the size of the time realization of the sliding window energy spectrum when choosing an optimal size of the sliding window. It should most accurately reflect the full range signal.

The size of this window should not be too large. The user must have reliable information about the change of the spectral energy in the process of signal attenuation. For this purpose, the artificial shortening of signals in some reasonable limits is made in a standard program Origin.

In Figure 8 the electric signal from the reinforced sample of concrete is shown, its spectrum is shown in figure 7. The total length of the electric signal is 17429 points at the sampling rate of 1 MHz.

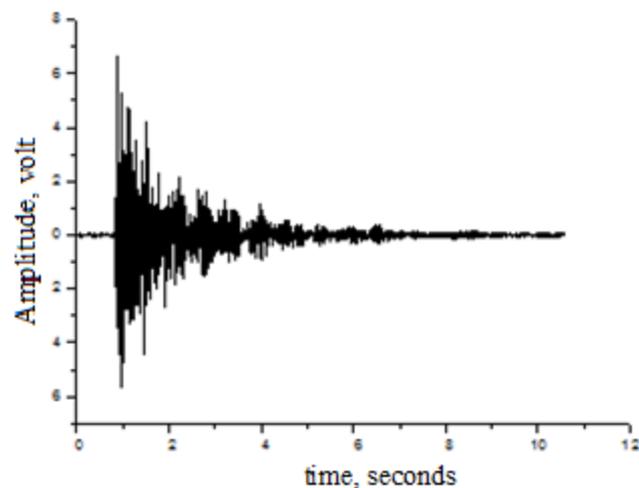
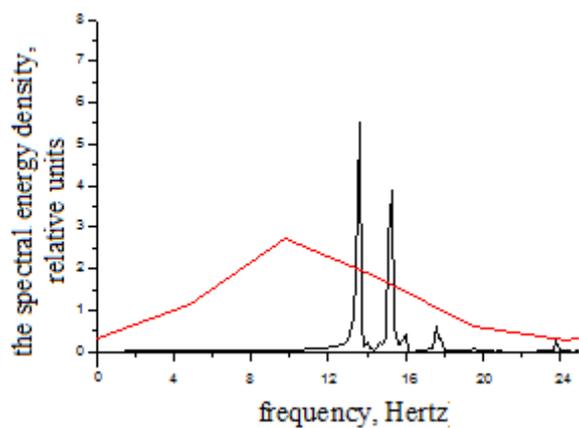
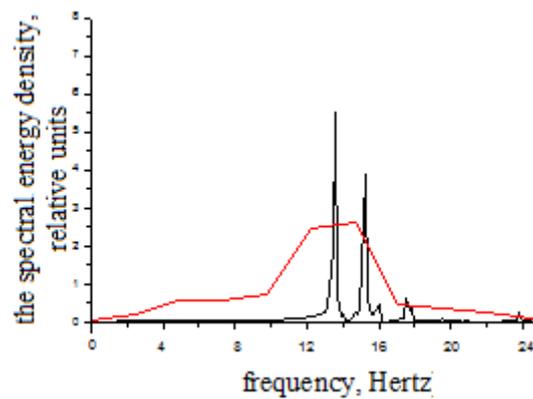


Figure 6– the electric signals from the sample of concrete reinforced by GFRP bars

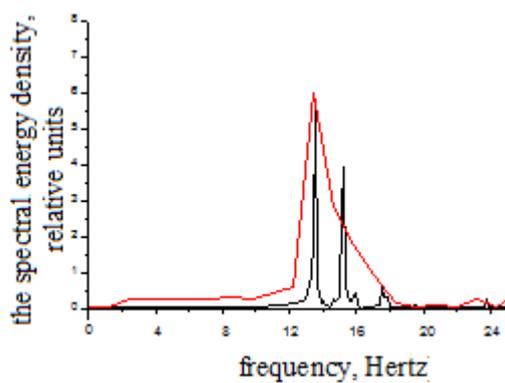
The sliding window size should be selected after the comparison of energy spectra obtained from the test sample of reinforced concrete for reliability of the signal spectrum. The program has the choice of window size (512, 1024, 2048, 4096 or 8192 points).The comparison of energy spectra with different sliding window size is shown in Figure 9.



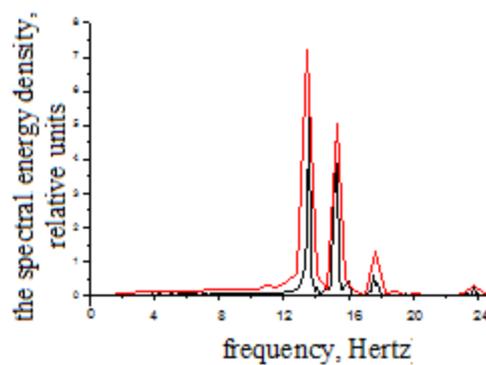
a)



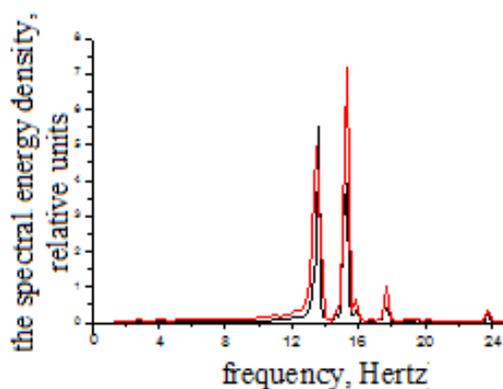
б)



B)



Г)



Д)

Figure 9 – Comparison of the energy spectra of the total signal: a) with the spectrum of the first 512 points; b) with the spectrum of the first 1024 points; c) with the spectrum of the first 2048 points; d) with the spectrum of the first 4096 points; e) with the spectrum of first 8192 time realization of signals

The spectrum of sliding window is different from the total signal spectrum when the size of sliding window is less than 4096 points. The spectrum of sliding window distorts the total signal spectrum when the window size is 8192 points. For this type of signals the optimal window size is of 4096 points. This window size is 23.5 % from total realization and allows detailed tracing of the character of the spectral energy attenuation for the duration of the signal, including the initial stages.

Attenuation occurs exponentially. The program performs the calculation and construction of the dependence of the natural logarithm of the sliding window spectral energy on time with discrete, which corresponds to the selected step for the sliding window displacement. Next, the program performs linear approximation of the obtained dependence and determines the coefficient of attenuation.

For the precise definition of the attenuation coefficient we should determine the final time of the approximation and the step of the sliding window in the time realization. The time approximation must be sufficient to determine the angle of inclination of the approximating dependence of the spectral energy logarithm on time. It should not be too big and not to create an approximation with an error. The optimal step of the sliding window sequential displacement is the time linear approximation with the least error at a large number of analyzed signals.

The measurement error is $3,191531 \text{ s}^{-1}$ when the step displacement of the window is 5 points, at 10 points – $4,525741 \text{ s}^{-1}$, 50 points – $10,087081 \text{ s}^{-1}$, 100 points – $14,606622 \text{ s}^{-1}$, 500 points – $36,042796 \text{ s}^{-1}$. The optimal step is 10 points, because further increasing of the step increases the error to grow in 2, 3 or more times.

2.1.3 Methodology of calculating the center of gravity of the spectrum of the electric signal

In some cases, when concrete models is exposed to various types of stress-strain state, including under climatic influences, there is a shift of the spectra of electrical responses at low and high frequencies. all changes in the spectral composition of electrical signals can be quantitatively assessed using this characteristic as the offset of the center of gravity of the spectrum. That is, to assess the direction in which frequencies and how the redistribution of the amplitude or energy of the spectral peaks. This parameter can be used to assess the degree of imperfection of samples that occur in the degradation process of the material and processes of cracking.

To calculate the center of gravity of the spectra, we used a special program written in the LabView (figure 10).

To calculate the center of gravity of the spectrum, you need to download the required file of the spectrum in the spectrum File" with the button "Open file". Then in the working window in the spectrum of the signal to analyze with cursors select the desired range of frequencies. After pressing the button "Calculate" the program sequentially calculates the integral of the two parts of the specified region of the spectrum determines the frequency at which they are equal, which is the center of gravity of a given spectrum, the obtained result is shown in the window "Center of gravity, MHz".

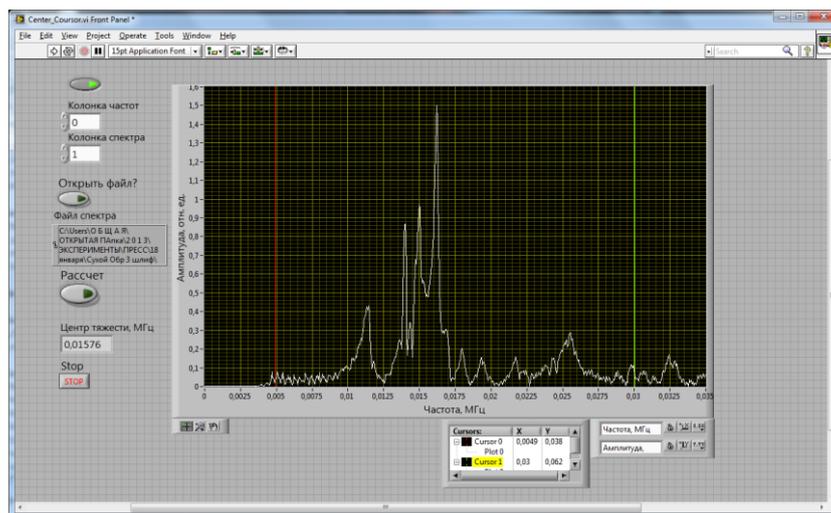


Figure 10 – Window of the program is to calculate the center of gravity of the spectrum

2.1.4 Data processing in the program Origin

The Origin software package is designed for numerical data analysis and scientific graphics. The program includes the function of support, and optimization of vector and matrix calculations.

Origin is used to create two-dimensional, three-dimensional scientific graphics, which is created by using templates available for editing by the user. There is also the option of creating your own templates. After the image has been created it can be edited using menus and dialogs called by double-clicking on the elements. You can export the graphs and tables in a number of formats such as PDF, TIFF, JPEG, GIF etc.

By Origin it is possible to conduct numerical analysis of data, including various statistical operations, signal processing, etc. the image of the working window of the program is presented in figure 11.

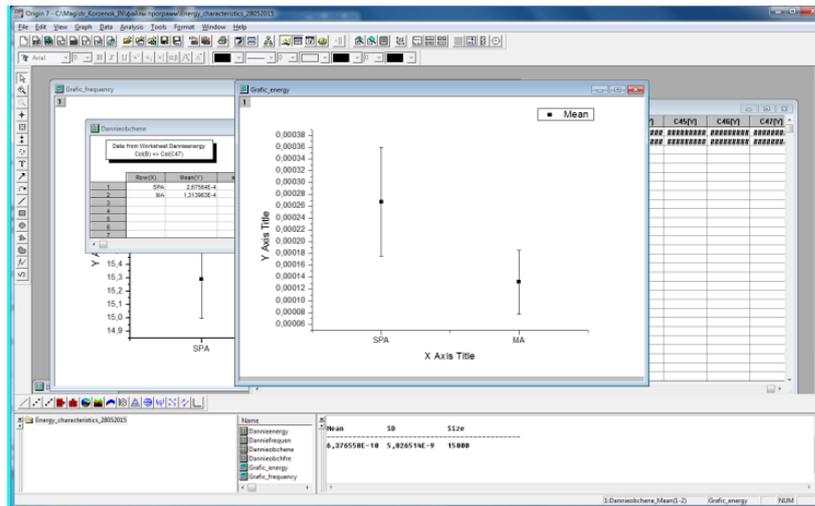


Figure 11 – Working window of the program Origin

2.2 Methodology of registering the speed of acoustic wave's passage through the sample

The conducted research is related directly to the propagation of acoustic waves in the materials. The acoustic waves affect the parameters of the electric signal under pulsed impact excitation. Acoustic vibrations cause the oscillation of electric charges, which are located on the structural inhomogeneity and defects within composite dielectric materials. It leads to the appearance of electromagnetic fields and thus, electrical signal. The speed of acoustic wave propagation through the sample was measured to understand the physical nature and fundamental laws of the acoustoelectric transformations.

The pulse generator generates the electrical pulse which excites the radiating piezoelectric transducer. The pulse is converted into an elastic wave and extended through the test sample. The piezoelectric receiver is mounted on the opposite side of the sample through the acoustic coupling, and converts the elastic wave into an electrical signal.

Measuring of the propagation speed of sound vibrations in the investigated materials is based on registration of the time of acoustic wave's passage through the sample. The pulse is supplied through the generator to one input of the input/output board, the signal is supplied to the second input from the piezoelectric

transducer - receiver. The multifunction input/output board is associated with a personal computer.

The measurements are made using a special program in the environment LabView 9.0 (Fig.12).

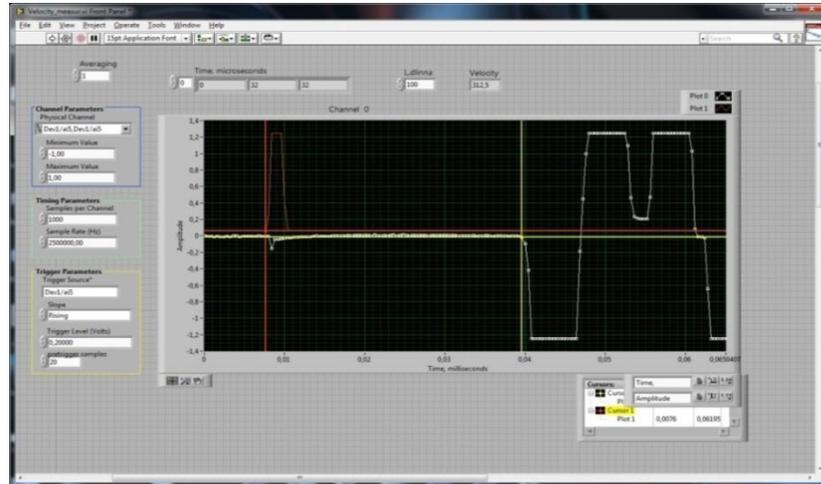


Figure 12 – Working window of the program for measuring the velocities of longitudinal acoustic oscillations

The ultrasonic pulse generator/receiver 5058PR PANAMETRICS OLYMPUS and the piezo sensor model OLYMPUS PANAMETRICS VIDEOSCAN V1011 were used to measure the speed of sound.

The sound speed calculation was made by moving the cursor to the beginning of each signal and indicating the distance between sensors corresponding to the thickness of the sample, where the "Velocity" indicated a value of the sound speed.

2.3 Methodology of climatic research

Design of composite construction materials such as concrete and concrete reinforced by GFRP bars often operate under conditions of considerable seasonal temperature fluctuations. In different climatic conditions long-term operation of these structures leads to the formation of cracks. Various fracture samples of GFRC was created to study the effects of naturally-forming cracks on the

parameters of an electric signal. A cyclic freezing – thawing was used for this research.

Phase composition of porous materials containing water changes under cyclic freezing – thawing with the appearance of ice in the structure or melting. Water expands abnormally during the transition to solid state, creating excess internal pressure in the concrete. Such pressure can build ultimate tensile stress in the walls of the pores of the concrete and significantly change the structure of concrete and rebar, reducing the strength properties of the structure.

Samples of concrete reinforced by GFRP bars were immersed in a container of water at a time at least 4 hours before conducting the first cycle of freezing and thawing. Hydration of samples was carried out to enhance the process of the emergence of excess internal pressure. Freezing of samples was carried out using a climate chamber "FEUTRON" at a temperature of minus 30 °C for 3 hours, and thawing was performed in a universal the steam chamber is also within 3 hours of maintaining temperature of 30 ± 5 °C and a humidity of 95%.

In some cases the freezing temperature is reduced to minus 45°C to speed up the process of cracking, the duration of samples in the chamber to 2 hours.

After a certain number of cycles of freezing – thawing the process of cracking begins in samples of concrete reinforced by GFRP bars. It leads to loss of concrete strength and the destruction of the adhesive contact at the concrete – rebar.

2.4 Methodology of the strength determining of the adhesive contact of rebar with concrete

Determination of the strength of adhesive contact at the concrete – rebar was carried out using a hydraulic test press III-500 with upgraded access to a personal computer (Fig.13).



Figure 13 – The hydraulic test press III-500

The methodology of the strength determining of the contact was conducted as follows. The laboratory sample of concrete reinforced by GFRP bars is set on metal stand with a height of 1.5 cm with a hole in the center 4 cm so that the protruding portion of the rebar was top. The sample with stand is placed on the bottom platen of the press, being located directly in the center. Next, the sample is loading using a computerized press with a constant speed equal to 0.2 kN/s. In the process of loading the upper press plate presses on protruding end of the fiberglass rebar and the extrusion the rebar from the concrete sample in the hole in the stand under the sample (figure 14). The whole process of loading of the sample is monitored by special computer program, which registers the load and deformation with discrete time equal is to 1 second.

Load curves are based on the obtained post-test data and reflected the dependence of the external load from the displacement of the rebar relative to the concrete in the process of destruction of adhesive contact.



Figure 14 – Mechanical tests

2.5 Methodology of manufacturing the samples

Structural and composite identity should be respected In process of manufacturing the samples. Therefore, all experimental samples were made by following the guidelines given below.

Samples of concrete reinforced by GFRP bars consist of sand, water, cement, gravel and reinforcement. The sand with presence of contaminants (clay, various organics) mandatory sifted a laboratory sieves (Fig.15). The use of dirty sand leads to expenditure a higher proportion of cement in the concrete composition from 10 to 20%.



Figure 15 – The laboratory sieves

Water is also taken pure, without contaminants (with the addition of 10% by weight of the sand for its moisture). Cement with large rocky formations also sieved to avoid the presence of lumps of cement in the concrete composition. Crushed is sieved using the laboratory sieves to a size of 5 mm to 20 mm. Fiberglass rebar pre-cut the right size using a diamond disk and angle grinder.

In the manufacture of the samples the ratio of cement, sand, crushed and water is used similar to the ratio of the same components in the concrete mix, which is used in the industry. The amount of cement is taken as one, the ratio of the components of concrete mix is 1:2:4 (cement: sand: gravel), the ratio of water to cement is 0,36.

Dry components of a mixture (cement, sand, gravel) are mixed first in. Stirring was carried out using a laboratory stirrer MJIA-30 (Fig.16), water is injected gradually with stirring until the concrete mixture will not acquire a uniform consistency.



Figure 16 – The laboratory stirrer MJIA-30

The rebar fixed in a wooden rack are installed in a metal mold (Fig.17) the right size, pre-lubricated with oil to avoid sticking of concrete to the walls. Then concrete mix is superimposed in the form.



Figure 17 - Metal form for manufacturing concrete samples (size 100x100x100mm)

After the concrete mixture is placed in forms, it must be sealed to avoid air voids in the samples. The sealing is carried out using laboratory vibrating platform CMЖ-539 (Fig.18).



Figure 18 – Laboratory vibrating platform CMЖ-539

Seal the concrete mass is carried out through the mechanism of private hesitation, causing vibrational motion of the particles of the concrete mix during

vibration. Forces of internal friction and adhesion between the particles decrease. This leads to the compact stacking of the filler and the displacement of air.

Forms with concrete placed on the vibrating platform, where they are subjected to vibration within 30 seconds. After vibration the forms are removed from the table. Samples in the forms dried at room temperature for approximately one day at room temperature from 20 to 22 °C, then they are retrieved from the form and dried under the same conditions for 28 days to harden. After this time experimental samples (Fig.19) can be used for experimental research.



Figure 19 – Samples of concrete reinforced by GFRP bars

References

29. Effect of the presence and size of a real macro-crack on diffuse ultrasound in concrete / A. Quiviger, C. Payan, J.F. Chaix, V. Garnier, J. Salin // NDT&E International. – 2012. – Vol. 45. – P. 128 – 132.

30. Characterization of cement-based materials using diffuse ultrasound/ Becker J., Jacobs L.J., Qu J. // J.Eng.Mech.- 2003.- Vol.129.- P.1478-1484.