

14. Лебедев, А. А., Швец, В. П. Оценка поврежденности конструкционных сталей по параметрам рассеяния характеристик твердости материалов в нагруженном и разгруженном состояниях // Проблемы прочности. – 2008. – № 3. – С. 29–37.

15. Лебедев, А.А., Ламашевский, В.П., Музыка, Н.Р., Швец, В.П., Ефименко, Е.В. Кинетика накопления рассеянных повреждений в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях // Проблемы прочности. – 2011. – № 5. – С. 32–44.

16. Сосновский, Л.А., Махутов, Н.А., Кебиков, А.А. Рассеяние механических свойств рельсовой стали // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 11. – С. 59–62.

17. Кузьбожев, А.С., Агинец, Р.В., Смирнов, О.В. Исследование вариации твердости трубной стали 17Г1С в ходе статического нагружения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 12. – С. 49–53.

18. Natrella, M.G. Experimental statistics. – New York: Courier Dover Publications, 2013. – 515 p.

19. Корн, Т., Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М: Наука. 1973. – 831с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ИЗ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА, АРМИРОВАННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ**

*Корзенюк И.Н.*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Фурса Т.В., д. ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников,*

Из года в год на строительном рынке появляются новейшие, инновационные продукты, во многом превосходящие по характеристикам существующие. К таким, недавно появившимся продуктам, относится стеклопластиковая арматура.

Стеклопластиковая арматура является уникальным материалом, вобравшим в себя все самые лучшие качества прочих арматур и исключая из себя их недостатки. Применение бетона, армированного стеклопластиковой арматурой в сельскохозяйственном, промышленном и энергетическом строительстве позволяет решить такую проблему, как

недолговечность конструкций, эксплуатируемых в различных агрессивных средах. XXI век является временем появления и активного использования энергосберегающих технологий и материалов. В условиях сурового климата северных регионов России и многих азиатских стран, на повестке дня стоит вопрос по поводу строительства энергосберегающих зданий. Самым эффективным способом борьбы с мостиком холода на сегодняшний день является использование в качестве армирования бетона арматур на основе стекловолокна, которые в сравнении со стальными арматурами не пропускают ни тепла, ни холода.

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 конструкций на основе стеклопластиковой арматуры необходимо осуществлять мониторинг технического состояния с целью обеспечения своевременного текущего ремонта и реконструкции, повышающих надежность и безопасность их эксплуатации.

На сегодняшний день нет достаточно простых методов определения происходящих в бетонах, армированных стеклопластиковой арматурой нарушений при эксплуатации данных бетонных конструкций в естественных условиях с механическими нагрузками и сезонными температурно-влажностными воздействиями окружающей среды. Для решения этой задачи может быть использован метод неразрушающего контроля, основанный на явлении механоэлектрических преобразований при импульсном механическом возбуждении гетерогенных неметаллических материалов [1,2]. Проведенные в данной области исследования по связи параметров электрического сигнала, возникающего при импульсном ударном возбуждении гетерогенного неметаллического материала (в частности бетона), с его структурными и механическими характеристиками [3] свидетельствуют о перспективе использования явления механоэлектрических преобразований для разработки метода неразрушающего контроля, позволяющего отслеживать дефектность гетерогенных неметаллических материалов.

В рамках данной работы проведены исследования по сравнению параметров электрического сигнала на упругое ударное возбуждение в тяжелых бетонах и бетонах армированных стеклопластиковой арматурой. Исследования проводились с целью выявить, как влияет наличие стеклопластиковой арматуры в бетоне на параметры электрического сигнала из образцов.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что электрический сигнал, регистрируемый из бетона является результатом пьезоэффекта, возникающего вследствие деформации пьезоэлементов (кварца, содержащегося в мелком и крупном заполнителе), а также из-за смещения зарядов в двойном электрическом слое, возникающем на границе раздела компонентов гетерогенной структуры, в данном случае на границе крупного, мелкого заполнителя и цементной матрицы. Пьезоэффект и смещение зарядов в двойном электрическом слое акустической волной порождают переменное электрическое поле, регистрируемое электрическим измерительным приемником сигнала, расположенным вблизи от изучаемого образца, и находящимся в зоне действия этого поля.

Исследования проводились с помощью лабораторного комплекса, позволяющего проводить упругое ударное возбуждение материалов и регистрировать возникающий электрический сигнал.

Импульсное механическое возбуждение образцов производится с помощью электромеханического ударного устройства с нормированной силой удара. Удар производится через металлическую пластину, закрепленную на корпусе ударного устройства. Металлическая пластина и сферический наконечник ударного элемента изготовлены из закаленной стали одинаковой твердости для создания упругого удара. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля, возникающего при импульсном механическом возбуждении образцов, используется дифференциальный электрический датчик. Сигналы с электрического датчика регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода «NIPCI-6251», совмещенной с ЭВМ, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала. Для обработки полученных данных используются специализированная программа Origin и программа, разработанная в среде программирования LabView.

Исследования проводились на образцах тяжелого бетона и бетона, армированного стеклопластиковой арматурой размером 100x100x100 мм<sup>3</sup>. Вначале было проведено исследования тяжелого бетона, затем армированного бетона. Полученные данные были обработаны и получены в виде графиков. На рис.1 представлен электрический сигнал, полученный из тяжелого бетона и спектр данного сигнала, на рис.2 – электрический сигнал из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой и также спектр данного сигнала.

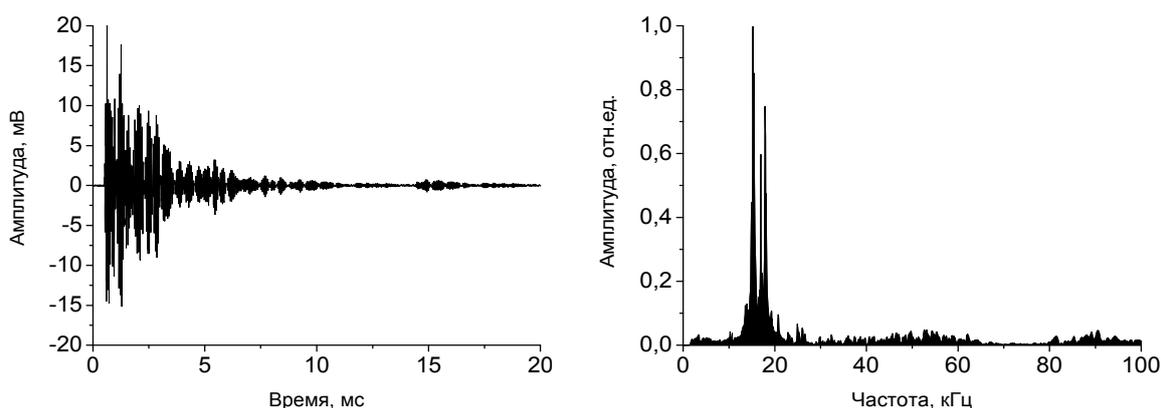


Рис. 1. Электрический сигнал из тяжелого бетона и спектр данного сигнала

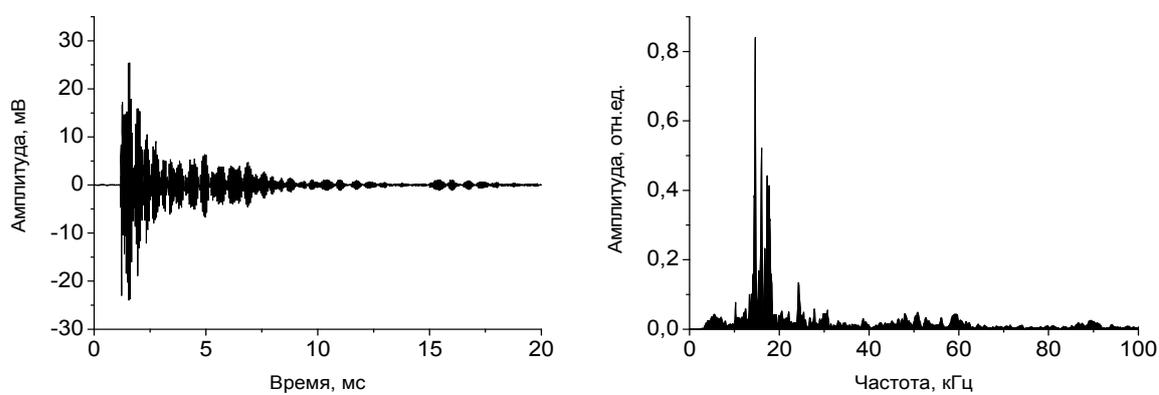


Рис. 2. Электрический сигнал из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой и спектр данного сигнала

Из сравнения рисунков 1 и 2 видно, что наличие в образцах стеклопластиковой арматуры приводит к уменьшению величины сигнала, изменению характера затухания и спектрального состава электрических сигналов.

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.

Для расчета центра тяжести на вход программы подается исследуемый спектр сигнала. В спектре сигнала с помощью курсоров выбирается необходимый для анализа диапазон частот. В программе последовательно вычисляется интеграл двух частей указанной области спектра и определяется частота, при которой они равны, что и является центром тяжести заданного спектра.

Для определения коэффициента затухания энергии электрических сигналов использован частотно-временной анализ, описанный в работе [4]. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью специальной программы в среде программирования LabView, в которой проводился выбор размера скользящего окна и задавался шаг для смещения этого окна по временной реализации сигнала. В энергетическом спектре сигнала с помощью курсоров выбирался необходимый для анализа диапазон частот и проводился расчет суммарной спектральной плотности энергии электрического сигнала каждого окна в выбранном частотном диапазоне. С помощью данной методики можно отслеживать затухание энергии электрического сигнала как функцию времени в области любого выбранного диапазона частот. На данном этапе для анализа был выбран частотный диапазон от 13 до 20кГц исходя из соображений, что в этой частотной области находится основная доля энергии электрических сигналов.

В таблице 1 приведены значения центра тяжести спектров и коэффициента затухания энергии электрических сигналов для образцов тяжелого бетона без арматуры и с арматурой.

Таблица 1.

	Тяжелый бетон	Бетон, армированный стеклопластиковой арматурой
Центр тяжести спектра, кГц	27±2	32±2
Коэффициент затухания, с <sup>-1</sup>	600±10	700±10

Как видно из таблицы наличие в бетоне стеклопластиковой арматуры приводит к смещению спектра сигнала в более высокочастотную область и возрастанию коэффициента затухания энергии электрических сигналов по сравнению с бетоном, не содержащим арматуру. Это объясняется тем, что при прохождении акустической волны через образец, она значительно отражается от арматуры, тем самым меняя спектральный состав электрического сигнала и рассеиваясь при взаимодействии с арматурой.

Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию и усовершенствование предложенных ранее алгоритмов и методик неразрушающего контроля дефектности композиционных неметаллических материалов для испытания бетонов, армированных стеклопластиковой арматурой.

## Список информационных источников

1 Суржиков А.П., Фурса Т.В., Хорсов Н.Н. К вопросу о механизме механоэлектрических преобразований в бетонах. – ЖТФ, 2001, т. 71, вып. 1, с. 57-61.

2 Фурса Т.В., Данн Д.Д. Механоэлектрические преобразования в гетерогенных материалах, содержащих пьезоэлектрические включения.– ЖТФ, 2001, т.91, вып.8,с.53-58.

3 Фурса Т.В., Суржиков А.П., Данн Д.Д. Разработка метода дефектоскопии гетерогенных диэлектрических материалов, основанного на использовании явления механоэлектрических преобразований.– Дефектоскопия,2010,№1,с.8-13.

4 Becker J., Jacobs L.J., Qu J. Characterization of cement-based materials using diffuse ultrasound. – J.Eng.Mech,2003,v.129,№12,p.1478-1484.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ

*Мордус Р.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества*

В данной статье рассматриваются физические особенности формирования сигналов, излучаемых прямыми линейными (одномерными) преобразователями с фазированными решетками в контролируемую среду.

Пусть линейная решетка длиной  $l_p$  образована  $N_s = 2^m$  ( $m = 2,3, \dots$ ) излучающими элементами, расположенными на оси  $Ox$  симметрично относительно начала координат  $O$  системы  $S$  так, как показано на схеме (рис. 1), тогда базовое расстояние между их центрами  $r_0 = \frac{l_p}{N_s}$ .