

## ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ УПРУГОМ УДАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ БЕТОНА

Фурса Т.В.<sup>1</sup>, Осипов К.Ю.<sup>2</sup>, Чеховских С.И.<sup>1</sup>, Уцын Г.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: [fursa@tpu.ru](mailto:fursa@tpu.ru)

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия (634021, г. Томск, пл. Ак. Зуева, 1), e-mail: [osipov@iao.ru](mailto:osipov@iao.ru)

<sup>3</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 40), e-mail: [uge23@rambler.ru](mailto:uge23@rambler.ru)

В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния геометрических размеров изделий из тяжелого бетона на параметры электрического отклика при упругом ударном возбуждении. Исследования проведены на лабораторных моделях тяжелого бетона размерами 100x100x100; 100x100x200; 100x100x300 и 100x100x400 мм. Установлено, что увеличение длины моделей при неизменном поперечном сечении приводит к уменьшению величины электрического отклика на 10-30%. Увеличение длины моделей приводит к смещению основного спектрального максимума электрических сигналов в область низких частот и изменению положения и соотношения значимых спектральных пиков. Показано, что изменение геометрических размеров изделий из тяжелого бетона не приводит к значимым изменениям максимального коэффициента взаимной корреляции спектра электрического отклика со спектром свободно затухающих гармонических колебаний.

Ключевые слова: бетон, неразрушающий контроль, электрический отклик, коэффициент корреляции, масштабный фактор.

## SCALE FACTOR INFLUENCE ON THE ELECTRIC SIGNAL PARAMETERS AT ELASTIC PULSE EXCITATION OF THE CONCRETE

Fursa T.V.<sup>1</sup>, Osipov K.Yu.<sup>2</sup>, Chekhovskikh S.I.<sup>1</sup>, Utsyn G.E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin av, 30), e-mail: [fursa@tpu.ru](mailto:fursa@tpu.ru)

<sup>2</sup>V.E. Zuev Institute of atmospheric optics SB RAS, Tomsk, Russia (634021, Tomsk, V.E. Zuev sq, 1), e-mail: [osipov@iao.ru](mailto:osipov@iao.ru)

<sup>3</sup>The Tomsk institute of radio electronics and electronic technics Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin av, 40), e-mail: [uge23@rambler.ru](mailto:uge23@rambler.ru)

The experimental research results of the samples geometric sizes influence on the electric signal parameters at elastic pulse excitation of the concrete is presented in the current work. The experiments were carried out on the heavy concrete models which were represented by the cube 10x10x10 cm and beams sized with a 10x10 cm root and 20, 30, 40 cm length. It was established that increasing the length of model with constant root leads to the decreasing on 10-30% of electric response amplitude. The models length increasing leads to the moving of electric response main spectral maxima to the low frequency region and changing of the locations and amplitude rates of other significant peaks. It is shown the geometry size changing of a heavy concrete samples doesn't lead to the significant changing in the maximum cross correlation coefficient between electric response spectra and damped harmonic vibrations spectra.

Keywords: Concrete, nondestructive testing, electric response, cross correlation coefficient, scale factor.

Бетоны широко используются при строительстве инженерных сооружений, которые эксплуатируются в условиях воздействия значительных механических напряжений, температуры и влажности, что приводит к образованию и развитию дефектов. Поэтому существует необходимость текущего контроля дефектности сооружений в процессе их эксплуатации, что позволит избежать аварийных ситуаций. Известные механические и ультразвуковые методы обладают невысокой точностью и чувствительностью к внутренним дефектам.

Для решения задачи дефектоскопии может быть использовано явление механоэлектрических преобразований [1; 2]. Суть явления механоэлектрических преобразований состоит в том, что при воздействии акустических волн на источники механоэлектрических преобразований возникает переменное электрическое поле. Акустические волны формируются в образце конечных размеров при его ударном возбуждении. Электрическое поле возникает за счет появления зарядов на гранях пьезокварца, содержащегося в мелком и крупном заполнителе (речном песке и гравии), при его деформации и за счет смещения этих зарядов и зарядов двойных электрических слоев, расположенных на границах компонентов в гетерогенном материале, относительно электрического приемника. Электрический измерительный приемник располагается в непосредственной близости от образца и находится в зоне действия этого поля. Поэтому, с одной стороны, параметры электрического сигнала определяются упругими характеристиками объекта исследования, а с другой - количеством и эффективностью источников механоэлектрических преобразований.

Перспективность использования параметров электрического отклика на упругое ударное возбуждение материалов для контроля дефектности бетона подтверждена результатами проведенных ранее исследований [3-8].

Целью данной работы являются исследования, направленные на адаптацию предложенных ранее алгоритмов и методик для контроля дефектности изделий из бетона любого геометрического размера.

Исследования выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение материалов и регистрацию электрического сигнала. Импульсное механическое возбуждение образцов производится с помощью электромеханического ударного устройства с нормированной силой удара. Удар производился 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. Измерительный приемник располагается на расстоянии 2 мм от поверхности образца, а компенсационный параллельно измерительному на высоте 30 мм от него. Сигналы с электрического датчика регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода «NI PCI-6251», совмещенной с ЭВМ, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

На данном этапе были проведены исследования на моделях, у которых было одинаковое поперечное сечение и изменялась только длина. Для этого были изготовлены четыре партии образцов тяжелого бетона размерами: 100x100x100; 100x100x200; 100x100x300 и 100x100x400 мм. Каждая партия содержала по 3 образца одинакового размера.

На рисунке 1 приведены типичные электрические отклики из описанных выше образцов. Измерение электрических откликов производилось при ударе по центру наибольшей плоскости образцов.

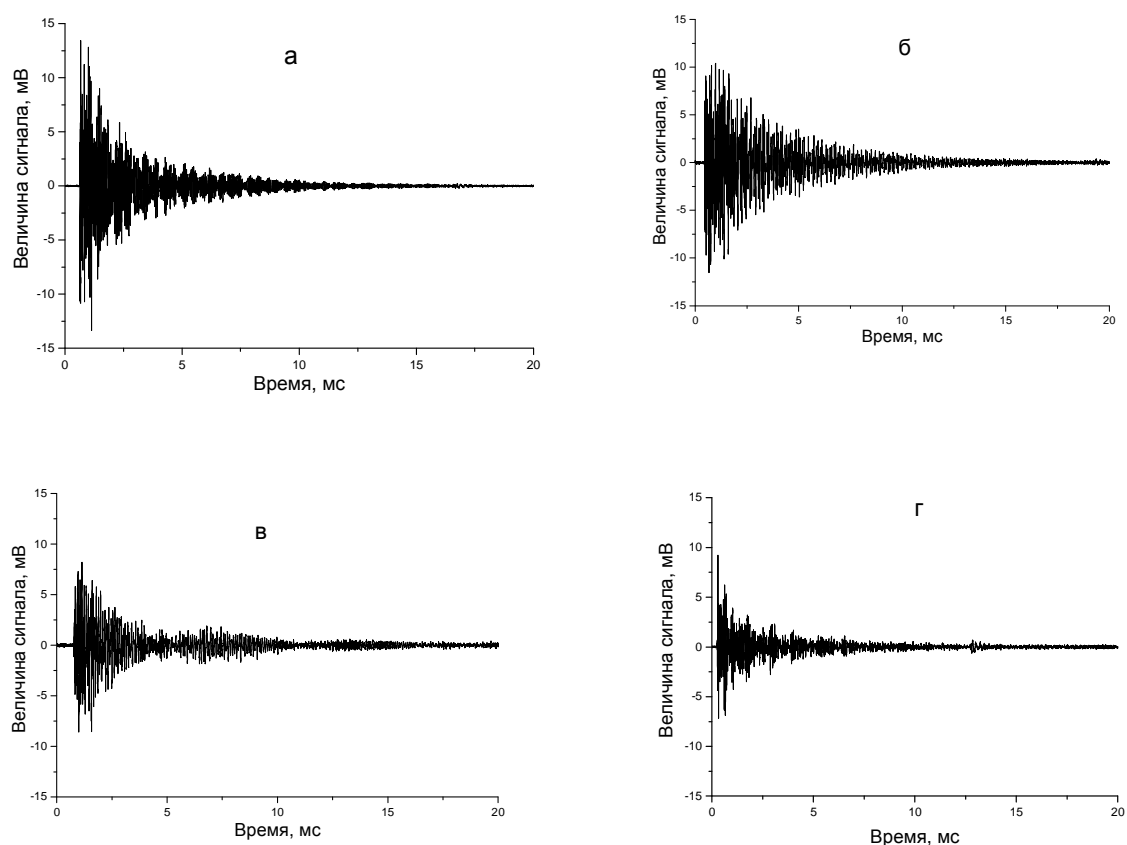


Рисунок 1. Электрические отклики из образцов тяжелого бетона размером: а – 100x100x100 мм; б – 100x100x200 мм; в – 100x100x300 мм и г – 100x100x400 мм.

Как видно из рисунка, увеличение длины образца приводит к небольшому (10-30%) уменьшению величины сигнала и изменению характера затухания. Изменение величины и характера затухания электрических сигналов с изменением длины образцов связано с

условиями отражения акустических волн от границ образца и формированием в соответствии с этим разной волновой картины при ударном возбуждении образцов различной геометрии.

Соотношение сигнал/помеха для всех исследованных моделей составляет величину порядка 65-45. То есть используемое нами ударное устройство позволяет возбуждать надежные электрические отклики из образцов достаточно больших размеров.

Изменение формы сигналов приводит к трансформации амплитудно-частотных характеристик электрических откликов из образцов разной геометрии.

На рисунке 2 приведены спектры электрических откликов из этих же образцов.

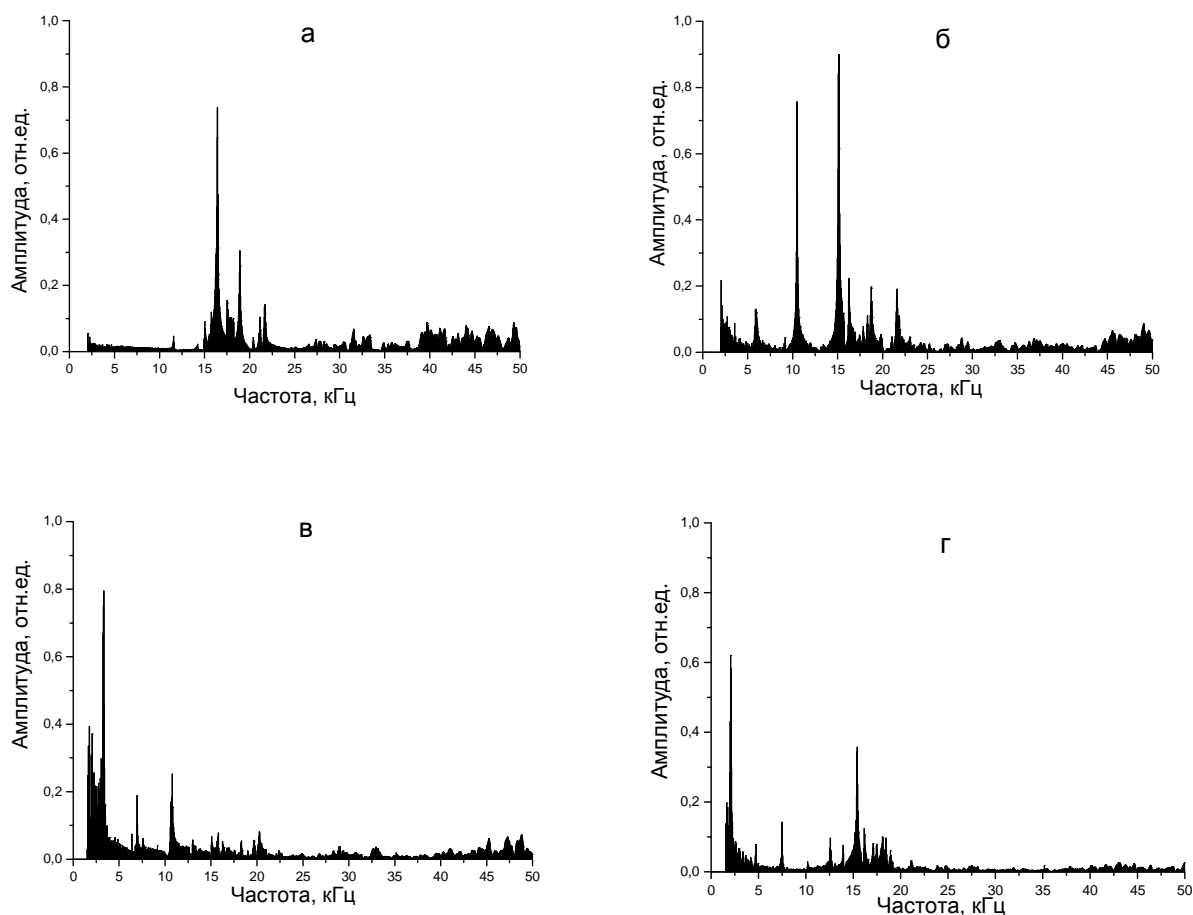


Рисунок 2. Амплитудно-частотные характеристики электрических откликов из моделей тяжелого бетона размерами: а – 100x100x100 мм; б – 100x100x200 мм; в – 100x100x300 мм; г – 100x100x400 мм.

Как видно из рисунка, спектр электрических сигналов при изменении длины модели претерпевает изменения в анализируемом диапазоне частот (от 1,5 до 50 кГц). Однако при любой длине моделей в спектре практически всегда присутствует один, значительно

превышающий все остальные максимум. Основной максимум с увеличением длины модели смещается в низкочастотную область. Частота основного максимума для модели 100x100x100 мм – 16,4 кГц; для модели 100x100x200 мм – 15,14 кГц; для модели 100x100x300 мм – 3,3 кГц; для модели 100x100x400 мм – 2,06 кГц.

В рамках предыдущих исследований на образцах бетона размером 50x50x100 мм был разработан критерий оценки дефектности [13]. В качестве критерия было предложено использовать максимальный коэффициент взаимной корреляции спектра зарегистрированного электрического сигнала с эталонным спектром. В качестве эталонного спектра хорошо моделирующего спектр сигнала из бездефектного образца было предложено использовать спектр сигнала свободно затухающих гармонических колебаний. Для того чтобы оценить возможность использования этого же подхода для испытания изделий из бетона других геометрических размеров, были рассчитаны максимальные коэффициенты корреляции для нашей партии образцов.

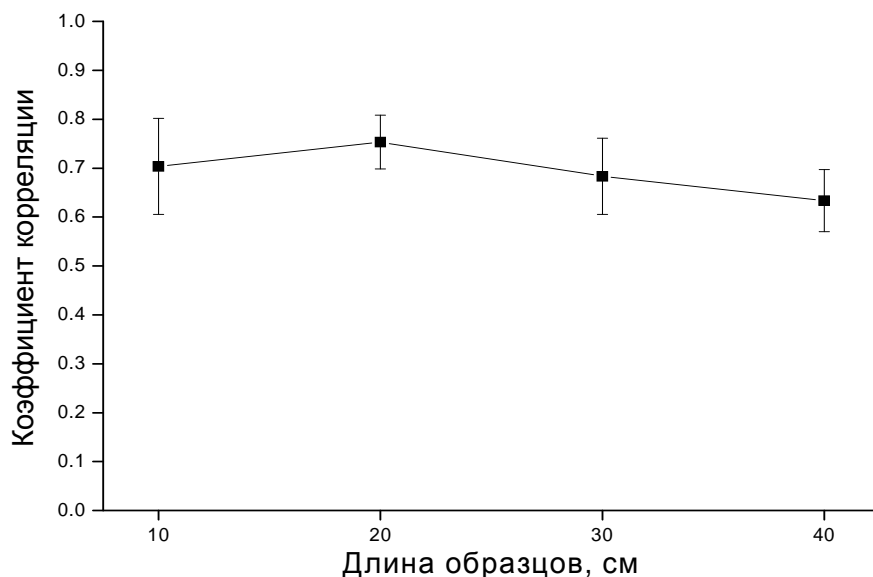


Рисунок 3. Изменение коэффициента корреляции спектра сигналов с эталонным спектром в зависимости от длины лабораторных моделей.

Из рисунка 3 видно, что коэффициент корреляции из исследованных бездефектных образцов при изменении их длины от 100 до 400 мм при неизменном поперечном сечении имеет близкие значения (от 0,65 до 0,76). То есть изменение геометрических размеров изделий из тяжелого бетона не приводит к значимым изменениям максимального коэффициента взаимной корреляции спектра электрического отклика со спектром свободно затухающих гармонических колебаний.

Следовательно, разработанный ранее на образцах бетона размером 50x50x100 мм критерий оценки дефектности, представляющий собой максимальный коэффициент взаимной корреляции спектра зарегистрированного электрического сигнала с эталонным спектром, может быть использован и при испытании изделий из бетона больших геометрических размеров. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование влияния дефектности на характер изменения максимального коэффициента корреляции с изменением дефектности в этих моделях.

Работа выполнена в рамках Государственного задания «Наука» (№ 7.1826.2011) и гранта РФФИ (№ 11-08-01102а).

### Список литературы

1. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов // ЖТФ. – 2008. – Т. 78, № 4. - С. 71-76.
2. Фурса Т.В. О механизме механоэлектрических преобразований при ударном возбуждении композиционных материалов на основе цементного вяжущего // ЖТФ. - 2001. - Т. 71. - Вып. 7. - С. 53-56.
3. Фурса Т.В., Осипов К.Ю. Исследование механоэлектрических преобразований в цементно-песчаных образцах в процессе циклического знакопеременного температурного воздействия // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. - Вып. 19. – С. 61-68.
4. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Романов Д.Б. Взаимосвязь качества контакта элементов композиционных материалов с параметрами электромагнитного отклика на ударное возбуждение // Дефектоскопия. – 2001. – № 9. – С. 23-26.
5. Фурса Т.В., Найден Е.П., Осипов К.Ю., Усманов Р.У. Особенности механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах в области структурных фазовых превращений // ЖТФ. – 2004. – Т. 74, № 12. – С. 52-55.
6. Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю. Разработка акустоэлектрического метода определения пористости диэлектрических материалов // Дефектоскопия. – 2007. – № 2. – С. 27-34.
7. Фурса Т.В., Осипов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка неразрушающего метода контроля прочности бетона с дефектной структурой на основе явления механоэлектрических преобразований // Дефектоскопия. – 2011. – № 5. – С. 39–47.
8. Фурса Т.В., Осипов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка метода контроля динамики изменения дефектности бетона под действием циклического замораживания-оттаивания на

основе явления механоэлектрических преобразований // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. -  
Вып. 7. – С. 1-7.

Рецензенты:

Люкшин Борис Александрович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой механики и графики  
Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

Суржиков Анатолий Петрович, д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по научной  
работе Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского  
политехнического университета, г. Томск.