

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АРМИРОВАННЫХ  
КОМПОЗИТАХ**

Г.Е. Уцын, Т.В. Фурса

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.В. Фурса

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [uge23@rambler.ru](mailto:uge23@rambler.ru)

**MATHEMATICAL MODELING OF WAVE PROCESSES IN REINFORCED COMPOSITES**

G.E. Utsyn, T.V. Fursa

Scientific Supervisor: Dr. T.V. Fursa

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [uge23@rambler.ru](mailto:uge23@rambler.ru)

***Annotation.** A new approach to the analysis of experimental data non-destructive testing, based on the effect of mechanoelectrical transformations. The results of mathematical modeling of wave process in an environment with a given geometric size. Two options are considered: in a homogeneous environment with heterogeneity in the form of areas with different elastic properties.*

Разработка новых методов неразрушающего контроля особенно актуальна для таких материалов как бетон, в связи с широким его применением в промышленном и гражданском строительстве. Существующие методы для диагностики состояния бетона, содержащего арматуру, зачастую требуют громоздкого оборудования и длительное время обработки результатов [1,2]. Разрабатывается метод, позволяющий повысить надежность дефектоскопии в области определения качества контакта основного материала и арматуры при использовании явления акустоэлектрических преобразований в гетерогенных диэлектрических материалах при импульсном возбуждении. Предыдущие исследования показали перспективность метода [3]. Точность разрабатываемого метода может быть повышена, если использовать результаты математического моделирования процессов, происходящих в образце при его нагружении импульсной нагрузкой. Результаты математического моделирования могут быть использованы в качестве эталонов в сравнении с лабораторными исследованиями. Полученные при моделировании результаты отличаются от лабораторных, т.к. не учитывают мелкую пористость и незначительные дефекты.

Математическая модель является идеализацией рассматриваемых явлений. С использованием вычислительной механики сплошных сред был выполнен анализ процессов распространения упругих волн в образце при импульсном механическом воздействии. Корректность численных результатов оценивалась как по внутренней сходимости результатов при изменении параметров конечно-разностной сетки и шагов интегрирования по времени, так и проведенными авторами расчетами модельных задач. Результаты численного моделирования были визуализированы в виде цветных областей с изолиниями рис. 1. Визуализация волнового процесса произведена в характерные моменты времени распространения волнового процесса в образце.

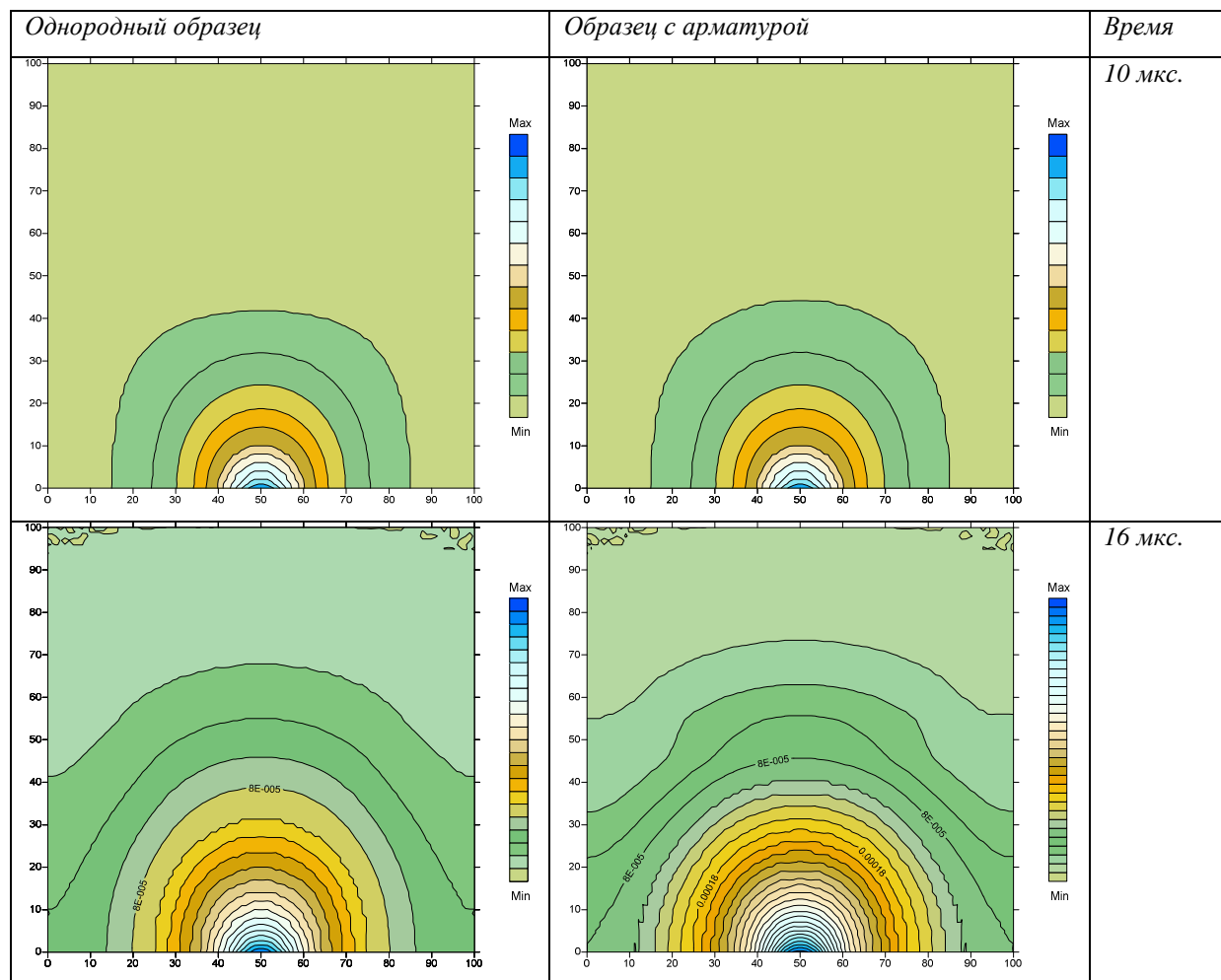


Рис. 1. Результаты численного моделирования волновых процессов

Разработанная математическая модель [4] позволяет рассчитывать, на основе параметров волнового процесса, электрические отклики рис.2.

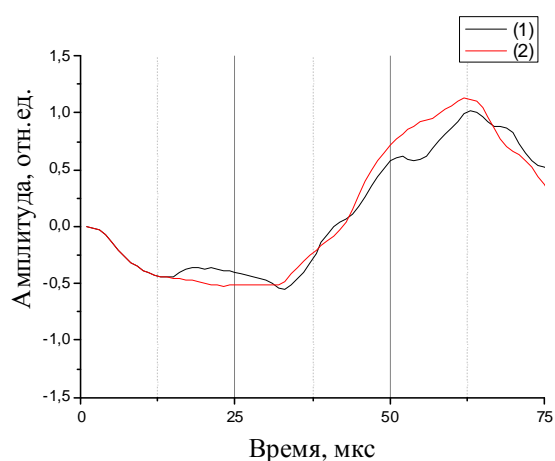


Рис. 2. Рассчитанные электрические отклики: (1) образец с арматурой (2) однородный образец

Вставка с упругими свойствами металлической арматуры находится посередине области и имеет толщину 10 мм. Основной массив имеет механические свойства бетона. Вся область имеет размеры

100x100 мм. Нагрузка задавалась на нижней границе. На боковых границах заданы свободные граничные условия. На верхней границе заданы нулевые смещения, что формирует жесткое закрепление. Такой тип граничных условий соответствует лабораторному эксперименту. Волна распространяется от места приложения (нижняя граница).

До того момента времени пока волна не достигла арматуры процессы не отличаются (рис. 1).

На 16 мкс волна достигает арматуры и изменяет свою форму, что отражается не только на волновом процессе, но и на электрическом отклике рис. 2. Противоположная граница отражает волновой фронт и в результате этого происходит многократное отражение. При каждом последующем отражении накапливается разница в сигналах, полученных из армированного и однородного образца. Основной вклад в формируемый сигнал вносят продольные скорости смещения, в связи с этим основную работу производят противоположные горизонтальные границы.

Разбивая на равные промежутки времени, равные периоду отражения от противоположных границ, получим растущую разницу в сигналах. Накопление различий позволяет воспользоваться разрабатываемым методом для определения степени дефектности, при наличии в основном массиве дефектов в виде вставок с более высоким модулем упругости и плотностью.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности метода неразрушающего контроля, основанного на явлении механоэлектрических преобразований. Дальнейшее развитие проектируемого способа, подразумевает использование различных типов арматуры, соответствующих применяемым в современном строительстве.

Построенная математическая модель отражает накопление изменений волнового процесса на каждом временном периоде. На основе полученных результатов будет разработан новый подход анализа данных для неразрушающего контроля, основанного на явлении механоэлектрических преобразований.

**Работа выполнена в рамках Государственного задания «Наука».**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martínez I., Andrade C. Examples of reinforcement corrosion monitoring by embedded sensors in concrete structures. - Cement and Concrete Composites, 2009, 31, p. 545-554.
2. Hakan Yalciner., Ozgur Eren, Serhan Sensoy. An experimental study on the bond strength between reinforcement bars and concrete as a function of concrete cover, strength and corrosion level - Cement and Concrete Composites, 2012, 42, p. 643-655.
3. 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.
4. Фурса Т.В., Люкшин Б.А., Уцын Г.Е. Связь электрического отклика с характеристиками упругих волн при ударном возбуждении гетерогенных диэлектрических материалов, содержащих пьезоэлектрические включения. - ЖТФ, 2013, т.83, вып.2, с.115-118.