

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ**

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

**MATHEMATICAL MODELING MECHANOELECTRICAL PROCESSES IN DIELECTRIC
MATERIALS**

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

***Abstract.** A new approach to the analysis of the results of experimental data of non-destructive control, based on the effect mechanoelectrical transformation. The results of mathematical modeling of wave process in an environment with a given geometrical size. The results of mathematical modeling mechanoelectrical transformations. The results of the comparative analysis.*

Проблема диагностики усталостных разрушений и внутренних дефектов принадлежит к числу приоритетных направлений развития науки и техники. Решение задач, возникающих в связи с этим, становится возможным с созданием нового математического аппарата для описания параметров конструкций в условиях эксплуатации. Это связано с накоплением и структуризацией знаний в области дефектоскопии, с постановкой и обработкой лабораторных и натурных экспериментов, с созданием новых приборов диагностики. В основе существующих методов дефектоскопии лежит исследование физических свойств материалов при воздействии на них рентгеновских, инфракрасных, ультрафиолетовых и гамма-лучей, радиоволн, ультразвуковых колебаний, магнитного и электростатического полей и др.

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].

В Томском политехническом университете ведутся разработки неразрушающих методов контроля на основе явления механоэлектрических преобразований. Точность разрабатываемого метода может быть

повышена если использовать результаты математического моделирования процессов, происходящих в образце при его нагружении импульсной нагрузкой.

Электрический сигнал из гетерогенных диэлектрических материалов представляет собой ток смещения, возникающий при деформации и смещении источником механоэлектрических преобразований акустической волной, формирующейся в образцах конечных размеров при импульсном механическом возбуждении. Ток смещения определяется потоком вектора электрической индукции через некоторую поверхность:

$$\mathbf{I}_{sm} = \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} dS$$

В общем виде вектор \mathbf{D} электрической индукции диполя, расположенного на расстоянии r от рассматриваемой точки поля, определяется выражением:

$$\mathbf{D} = \frac{3(\mathbf{P} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} - \mathbf{P}}{r^3}$$

где \mathbf{n} - единичный вектор в направлении r .

Заряд (q), возникающий при деформации пьезоэлементов, определяется через пьезомодуль (d) и силу (F) как $q=d \cdot F$.

При небольшой силе удара механическое напряжение связано с деформацией законом Гука:

$$\sigma = E \frac{\Delta L}{L}$$

где σ – напряжение; E – модуль Юнга; ΔL – абсолютное перемещение на интервале длины L .

Проведя необходимые расчеты получено, что ток смещения для одиночного пьезоэлектрического источника равен:

$$I_{sm}(t) = \frac{d \cdot S \cdot E}{4\pi \cdot L} \cdot l \int_{S_d} \frac{V(t)}{r^3} \left(\frac{3h^2}{r^2} - 1 \right) dS_d$$

где V - скорость смещения; r – расстояние от источника механоэлектрических преобразований до электрического приемника h – глубина расположения источника, S_d - площадь приемного электрического датчика.

Численный алгоритм основан на методе Рунге-Кутты, с использованием схемы типа Мак-Кормака. Схема второго порядка Мак-Кормака пригодна для сквозного счета ударных волн, поскольку данный метод позволяет численно определить положение и интенсивность ударных волн без использования в явной форме соотношений на поверхности ударной волны. На основе этих исследований ведется разработка неразрушающих методов контроля структурных и механических характеристик гетерогенных материалов. Хорошее соответствие характера изменения теоретических и экспериментальных данных является свидетельством перспективности использования моделирования в задачах неразрушающего контроля. На основе полученных результатов могут быть развиты новые дополнительные возможности неразрушающего контроля дефектности путем решения обратных задач.

С использованием построенной математической модели был выполнен анализ процессов распространения упругих волн в образце при импульсном механическом воздействии. В связи с тем, что электромагнитный отклик формируется за счет воздействия упругой волны на пьезоисточники, вместе с

затуханием волнового процесса наблюдается затухание отклика. Полное затухание для образца размерами 100x100x100 мм³ наблюдается примерно к моменту 10-15 мс от начала возбуждения. Присутствует и фоновая составляющая.

На рис. 1. приведены начальные участки экспериментального и расчетного сигналов из гипсопесчаного образца.

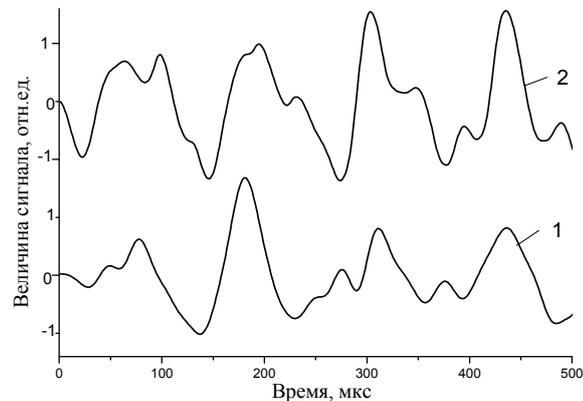


Рис. 1. Электромагнитный отклик на ударное возбуждение гипсопесчаной модели (1) и рассчитанный сигнал (2)

На основе полученных результатов будет разработан новый подход анализа данных для неразрушающего контроля, основанного на явлении механоэлектрических преобразований. Построенная модель позволяет не только смоделировать волновой процесс, но и получить электромагнитный отклик. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности метода 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.