

РОЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ В ГЕНЕРИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОТКЛИКА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Фурса Т.В.¹, Данн Д.Д.¹, Уцын Г.Е.²

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, Томск, проспект Ленина, дом 30), e-mail: fursa@tpu.ru

²ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Томск, Россия (634050, Томск, проспект Ленина, дом 40) uge23@rambler.ru

В статье приведены результаты экспериментальных исследований параметров электромагнитного отклика на ударное возбуждение образцов из цементного и гипсового камня. Исследованы временные и амплитудно-частотные характеристики электромагнитных откликов с использованием двух видов электрических приемников: контактного и бесконтактного. В качестве контактного электрического приемника использовалась металлическая фольга, накатанная на поверхность образца. В качестве бесконтактного приемника использовалась металлическая пластина, расположенная на расстоянии 2 мм от поверхности образца. Проведенными исследованиями показано, что значительную роль в генерировании электромагнитного отклика, регистрируемого бесконтактным методом, играет составляющая, связанная с акустическими колебаниями индуцированных поверхностных зарядов. Вклад поляризационных эффектов в электромагнитный отклик определяется диэлектрическими и акустическими свойствами материалов.

Ключевые слова: электромагнитный отклик, импульсное механическое возбуждение, гетерогенные диэлектрические материалы, поляризация

THE ROLE OF POLARIZATION OF THE SURFACE IN GENERATING ELECTROMAGNETIC IMPULSE RESPONSE OF THE MECHANICAL EXCITATION OF DIELECTRIC MATERIALS

Fursa T.V.¹, Dann D.D.¹, Utsyn G.E.²

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenina Avenue, 30), e-mail: fursa@tpu.ru

²Tomsk State University of Control Systems and Radio-electronics (634050, Tomsk, Lenina Avenue, 40), e-mail: uge23@rambler.ru

In the article the results of experimental studies of the electromagnetic response to the shock excitation of the samples of cement and gypsum stone. Investigated the temporal and amplitude-frequency characteristics of electromagnetic responses using two kinds of electrical receivers: contact and contactless. As the electrical contact of the receiver used a metal foil on the knurled surface of the sample. As a contactless receiver used a metal plate, located at a distance of 2 mm from the sample surface. Studies have shown that a significant role in the generation of the electromagnetic response of the registered non-contact method, plays a component associated with acoustic vibrations induced surface charges. The contribution of polarization effects in the electromagnetic response is determined by the dielectric and acoustic properties of the materials

Keywords: electromagnetic response, pulsed mechanical excitation, heterogeneous materials, polarization

Ранее были исследованы некоторые источники и механизмы возникновения переменных электромагнитных полей в композиционных диэлектрических материалах при их акустическом возбуждении, а именно: поля, связанного со смещением зарядов двойного электрического слоя на границе компонентов в композиционных материалах [1, 2, 5]; поля,

связанного с электризацией материала в зоне контакта ударного элемента с поверхностью материала за счет трибоэлектрического эффекта [4, 6], и поля, возникающего за счет изменения электромагнитного поля при приближении ударного элемента к поверхности, имеющей случайный поверхностный заряд [6].

Наряду с описанными выше процессами, импульсное механическое возбуждение композиционных материалов, имеющих внутренние двойные электрические слои на границе компонентов или другие заряженные неоднородности и дефекты, вызывает поляризацию образца, а акустические колебания индуцированных поверхностных зарядов относительно приемного электрического датчика при бесконтактном способе регистрации электромагнитного отклика приводят к появлению дополнительной составляющей сигнала. Исследование источников и процессов, приводящих к генерированию электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение, позволит повысить точность и надежность разрабатываемых неразрушающих бесконтактных акустоэлектрических методов определения механических и структурных характеристик композиционных диэлектрических материалов [3, 7]. Исследованию роли поляризационной составляющей электромагнитного отклика и посвящена данная статья.

Методика регистрации электромагнитного отклика на механическое возбуждение заключалась в следующем. Импульсное механическое возбуждение образцов производили стальным шариком массой 0.5 г, который сбрасывали на поверхность образца с высоты 0,35 м. Такое механическое воздействие позволяло создавать импульс возбуждения энергией порядка $1,8 \cdot 10^{-3}$ Дж и скоростью ударяющего тела – шарика порядка 2,6 м/с. В качестве приемника электрической составляющей электромагнитного поля использовали емкостной датчик. Переменный электрический сигнал с емкостного датчика регистрировался с помощью осциллографа «PSC-500», совмещенного с ЭВМ. В процессе измерения регистрировалась также длительность ударного возбуждения, для чего удар производился шариком, на который подавался потенциал, по тонкой заземленной металлической подложке, накатанной на верхнюю поверхность образца. На падающий шарик, через прикрепленную к нему тонкую металлическую нить, подавался через сопротивление небольшой потенциал (70 мВ), и это напряжение поступало на один из входов осциллографа. При соприкосновении шарика с заземленной поверхностью образца сопротивление закорачивалось, напряжение падало до нуля, и регистрировалось осциллографической приставкой. Таким образом, в момент касания шарика с заземленной подложкой регистрировалось падение напряжения до нуля, которое

сохранялось от момента начала удара до момента отлета ударного элемента. В рамках данных исследований регистрировались также акустические отклики с помощью широкополосного пьезоприемника, изготовленного на основе ЦТС керамики.

Чтобы оценить роль поляризации в акустоэлектрических преобразованиях, необходимо было получить электромагнитные отклики, в одном из которых составляющая, связанная с акустическими колебаниями заряженной за счет индукции от внутренних источников поверхности присутствует, а в другом отсутствует, и сравнить их. Назовем «объемной» составляющую электромагнитного отклика, связанную с акустическим возбуждением внутренних разделенных зарядов и «поверхностной», связанную с акустическими колебаниями индуцированных поверхностных зарядов.

Исключение «поверхностной» составляющей достигалось тем, в качестве приемного датчика использовалась фольга, которая была накатана на поверхность образца, так как в этом случае электрический датчик совершает колебания вместе с заряженной поверхностью. В случае же бесконтактного приема электромагнитного отклика, когда емкостной датчик располагается на расстоянии (в данных экспериментах – 2 мм) от поверхности образца, «поверхностная» составляющая должна вносить свой вклад. Кроме того, при измерении электромагнитного отклика с помощью пластины, находящейся на некотором расстоянии от поверхности образца последовательно соединенная с образцом емкость зазора должна уменьшать величину сигнала по сравнению с откликом, регистрируемым с помощью фольги, накатанной на поверхность. И если бы не существовало составляющей, связанной с колебаниями индуцированных поверхностных зарядов, то величина сигнала регистрируемого с помощью фольги была бы больше составляющей, регистрируемой с помощью датчика-пластины.

Сравним электромагнитные сигналы, зарегистрированные при ударном возбуждении одного и того же образца гипсового камня с помощью разных датчиков (рис. 1).

Из рис.1 видно, что использование в качестве датчика накатанной на поверхность фольги приводит к уменьшению величины основного спектрального максимума электромагнитного отклика по сравнению с откликом, который регистрируется с помощью датчика, расположенного на расстоянии от поверхности. То, что электромагнитный отклик не уменьшается, а возрастает, свидетельствует о значительной роли «поверхностной» составляющей электромагнитного отклика.

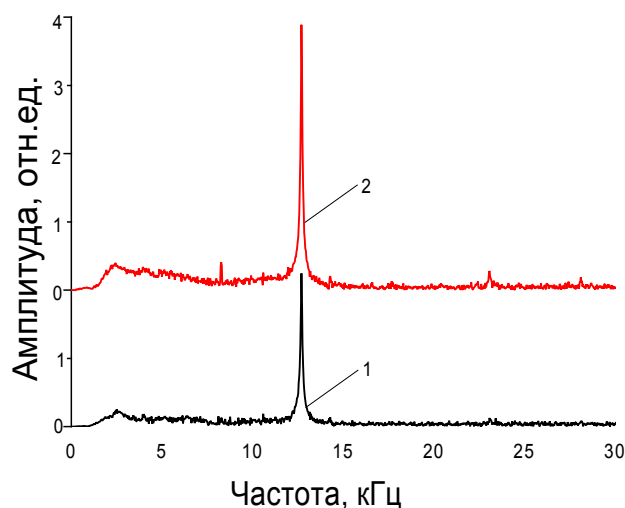


Рис. 1. Спектральные характеристики электромагнитных откликов, зарегистрированные из гипсового камня с помощью различных датчиков:

1 – фольги, накатанной на поверхность образца; 2 – металлической пластины, расположенной на расстоянии 2 мм от поверхности образца

Кроме того, показано, что соотношение спектральных амплитуд сигналов, зарегистрированных с помощью различным образом расположенных электрических датчиков, меняется в зависимости от материала образца. В частности, на рис. 2 представлены спектры электромагнитных откликов, полученные при ударном возбуждении цементного камня.

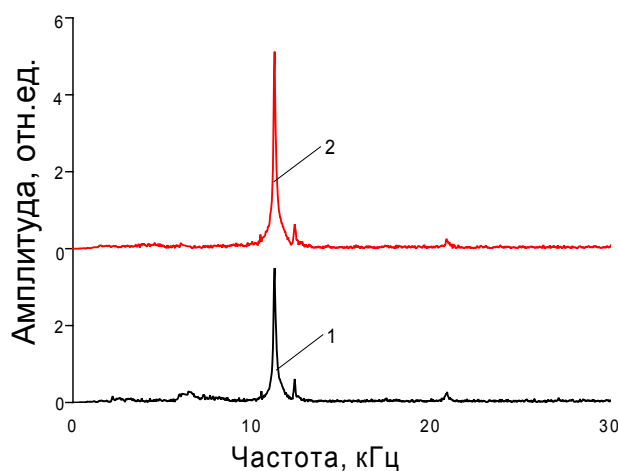


Рис. 2. Спектральные характеристики электромагнитных откликов из цементного камня с помощью различных датчиков: 1 – фольги, накатанной на поверхность образца; 2 –

металлической пластины, расположенной на расстоянии 2 мм от поверхности образца

Из сравнения рисунков 1 и 2 видно, что если соотношение спектральных амплитуд сигналов, зарегистрированных с помощью различным образом расположенных электрических датчиков, для гипсового камня составляет порядка 2, то для цементного камня это соотношение порядка 1,5, при том, что геометрические размеры фольги и пластины были одинаковы.

Эти различия могут быть за счет различий в акустических и электрических характеристиках исследуемых материалов.

В связи с этим сравним акустические сигналы из образцов цементного и гипсового камней, так как акустический сигнал как раз и дает информацию о поверхностных колебаниях.

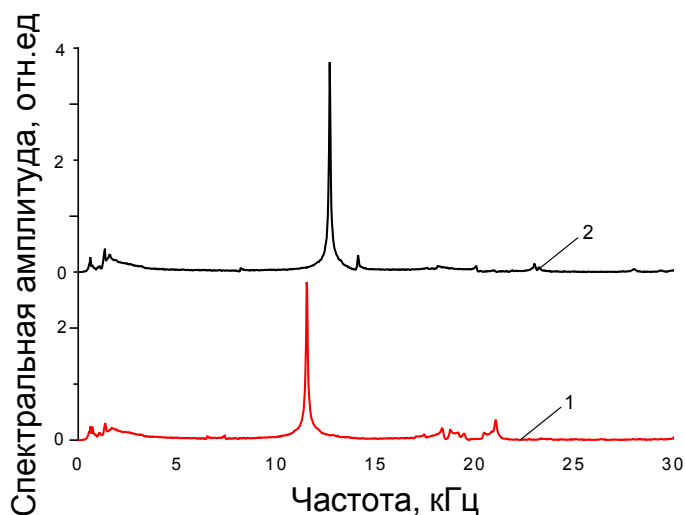


Рис. 3. Спектральные характеристики акустических сигналов из образцов: 1– цементного и 2 – гипсового камня при их ударном возбуждении

Из рис. 3 видно, что в спектре акустического сигнала, так же как и у электромагнитного, присутствует практически одна первая гармоника продольных акустических колебаний вдоль плоскости ударного возбуждения. Величина максимума спектральной характеристики акустического сигнала, а следовательно, и амплитуды поверхностных колебаний, у образца гипсового камня выше, по сравнению с цементным камнем. Это может быть одной из причин различного соотношения «объемной» и «поверхностной» составляющих электромагнитного отклика в цементном и гипсовом камнях.

Однако сравнение спектров электромагнитных откликов показывает, что величина основного спектрального максимума для цементного камня (рис. 2) значительно выше по сравнению с гипсом (рис. 1). Это связано с различиями в диэлектрических проницаемостях этих материалов (у гипса $\epsilon \approx 4$, а у цементного камня $\epsilon \approx 10$).

Следовательно, наряду с тем, что амплитуда поверхностных колебаний у гипса больше чем у цемента, величина индуцированного поверхностного заряда у цемента должна быть больше, если величина поля, создаваемого внутренними источниками у этих материалов одинакова. Составляющая электромагнитного отклика, связанная с акустическими колебаниями индуцированных поверхностных зарядов, в значительной степени определяется поляризационными и акустическими свойствами материалов.

Рассмотрим, как различаются временные характеристики электромагнитных откликов, зарегистрированных с помощью двух датчиков – фольги, накатанной на поверхность образца и пластины, отнесенной на расстояние 2 мм от поверхности.

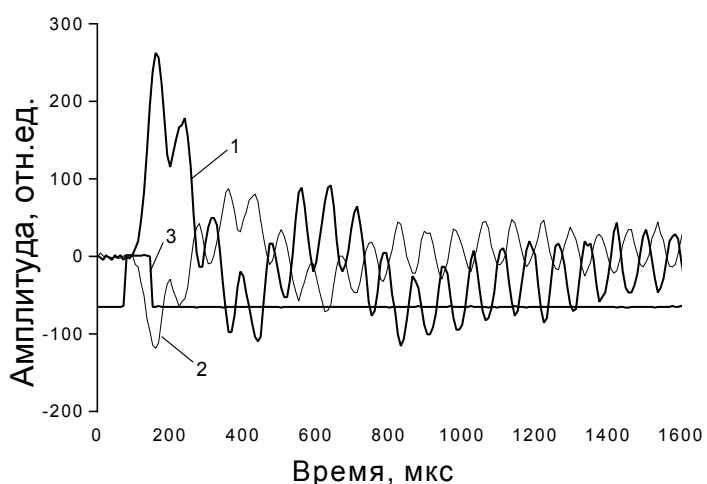


Рис. 4. Электромагнитные отклики на импульсное ударное возбуждение образца гипсового камня. 1, 2 то же, что и на рис.1; – сигнал, зарегистрированный в момент касания заряженного шарика с заземленной поверхностью образца, характеризующий собой длительность импульса ударного возбуждения

Из рис. 4 видно, что отклики, регистрируемые с помощью различным образом расположенных датчиков, имеют не только различную величину, но и находятся в противофазе. Электрический сигнал, воспринимаемый пластиной электрического датчика, расположенного на расстоянии от поверхности является суперпозицией сигналов от

изменения внутреннего поля, связанного со смещением разделенных внутренних зарядов и противоположно направленного внешнего электрического поля, связанного с колебаниями индуцированных поверхностных зарядов.

Следовательно, при импульсном механическом возбуждении композиционных диэлектрических материалов значительную роль в генерировании электромагнитного отклика, регистрируемого бесконтактным методом, играет составляющая, связанная с акустическими колебаниями индуцированных поверхностных зарядов.

Список литературы

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. Суржиков А.П., Фурса Т.В., Хорсов Н.Н. Математическая модель электрического отклика на акустическое возбуждение композиционных материалов // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308. - №7. – С .6-9.
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., Суржиков А.П., Гольд Р.М. Электромагнитный способ определения твердости диэлектрических материалов //Дефектоскопия. – 2001. - № 9. – С. 20-22.
5. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Батулин Е.А. Источники акустоэлектрических преобразований в бетонах // ЖТФ. – 1999. – Т. 69. – Вып. 10. – С.51-55.
6. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Романов Д.Б. К вопросу о механизме механоэлектрических преобразований в композиционных материалах //Письма в ЖТФ. – 2001. – Т.27. – Вып. 19. – С. 53-57.
7. Fursa T. V. , Osipov K. Y. , Lyukshin B. A. , Utsyn G. E. The development of a method for crack-depth estimation in concrete by the electric response parameters to pulse mechanical excitation // Measurement Science and Technology. – 2014 – Vol. 25. – Issue 5. – P. 55605.

Рецензенты:

Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по научной работе Института неразрушающего контроля, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Люкшин Б.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой механики и графики, ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск.