

05

Исследование механоэлектрических преобразований в цементно-песчаных образцах в процессе циклического знакопеременного температурного воздействия

© Т.В. Фурса, К.Ю. Осипов

Томский политехнический университет
E-mail: fursa@tpu.ru

Поступило в Редакцию 23 апреля 2009 г.

Проведенными исследованиями установлено, что изменение прочности пористых композиционных материалов под действием циклического знакопеременного температурного воздействия приводит к смещению центра тяжести амплитудно-частотных характеристик электрического отклика на их импульсное ударное возбуждение в сторону высоких частот.

PACS: 62.20.M-, 72.50.+b

Конструкции из композиционных строительных материалов, такие как бетоны и железобетоны, часто эксплуатируются в условиях значительных сезонных колебаний температуры. Многократное замораживание и оттаивание приводит к появлению остаточных деформаций, что является одной из главных причин разрушения пористого материала, содержащего воду, при циклических воздействиях среды. В настоящее время нет надежных методов определения происходящих в материале нарушений в процессе эксплуатации наружных строительных конструкций. Для решения этой задачи может быть использовано явление механоэлектрических преобразований в гетерогенных диэлектрических материалах, которое на протяжении ряда лет изучается в Томском политехническом университете. Проведенные нами ранее исследования по связи параметров электрического сигнала, возникающего при их квазиупругом ударном возбуждении [1–3], со структурными и механическими характеристиками строительных материалов свидетельствуют о перспективности использования явления механоэлектрических пре-

образований для оценки динамики изменения прочности эксплуатации наружных строительных конструкций.

Исследования проводились на цементно-песчаных материалах, из которых состоит пористая матрица в бетонах. Для создания в материале значительных циклических перепадов напряжений было осуществлено испытание влагонасыщенных цементно-песчаных образцов в режиме замораживания-нагрева.

При замораживании и оттаивании пористого материала, содержащего воду, изменяется его фазовый состав в связи с появлением льда или его таянием. Из-за аномального расширения воды при переходе в лед, и особенно из-за невозможности ее отжатия в свободные объемы пор, в бетоне появляется избыточное внутреннее давление. Такое давление может создавать предельные растягивающие напряжения в стенках пор и приводить к существенным изменениям структуры бетона, снижающим его прочностные свойства [4].

Исследования были выполнены с помощью разработанного в Томском политехническом университете исследовательского комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение объектов исследования и регистрацию электрического отклика. Импульсное механическое возбуждение образцов производили ударным устройством, позволяющим производить однократный, нормированный по силе удар. Удар производился по металлической подложке, которая помещалась на поверхность образца в точке удара и была изготовлена из того же металла, что и сферический наконечник ударного элемента. Такое механическое воздействие позволяло создавать импульс возбуждения длительностью порядка $20 \mu\text{s}$ и скоростью ударяющего тела — бойка порядка 2.2 m/s . Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля, возникающего при импульсном механическом возбуждении образцов, использовался дифференциальный электрический датчик, состоящий из двух металлических пластин, расположенных на расстоянии 2 mm от противоположных боковых сторон образца. Использование дифференциального приемного датчика позволяет значительно повысить соотношение сигнал-помеха. Электрический сигнал с емкостного датчика регистрировался с помощью многофункциональной платы ввода-вывода „NI PCI-6251“, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала и быстрое Фурье-преобразование.

Методика проведения исследований параметров электрического отклика на ударное возбуждение в процессе микроповреждений структуры материала, вызванных знакопеременным температурным воздействием, состояла в следующем. Образцы затвердевшего цементно-песчаного камня размером $5 \times 5 \times 10$ см перед испытанием вымачивались в течение суток в воде, и определялась их влажность по массе по отношению к сухому образцу нормальной выдержки. Увлажнение образцов производилось для того, чтобы усилить процесс появления избыточного внутреннего давления за счет аномального расширения воды при переходе в лед. Затем образец помещался в климатическую камеру и выдерживался в ней при температуре -20°C в течение не менее 4 h, после чего производилось измерение электрического отклика на импульсное ударное возбуждение. Следующим этапом производилось нагревание образцов до температуры порядка $+80^\circ\text{C}$ и выдерживание их при этих условиях в течение 2–3 h. После нескольких замораживаний-нагреваний, назовем это первым этапом испытаний, происходило значительное уменьшение влажности и, чтобы создавать условия для дальнейшего ускорения процесса трещинообразования, производилось повторное замачивание образцов и испытание по описанному выше режиму — второй этап испытаний.

На рис. 1, *a* приведены спектральные характеристики электрических сигналов, зарегистрированные на первом этапе испытаний, а на рис. 1, *b* — на втором. Как видно из рисунков, с увеличением количества циклов замораживания-нагревания в рамках как первого, так и второго этапа наблюдается возрастание основного спектрального максимума и его смещение в сторону низких частот. Частота этого максимума определяется по формуле:

$$f = \frac{c}{2} L,$$

где c — скорость звука материала образца, L — высота образца.

Проведенными ранее исследованиями [5] установлено, что при изменении механического напряжения в песчинках, содержащих пьезокварц, и смещении двойных электрических слоев на границе песка и цементной матрицы относительно приемного электрического датчика акустическими волнами, формирующимися в образце при его ударном возбуждении, регистрируется электрический сигнал. Поэтому спектральные характеристики электрического отклика на ударное воз-

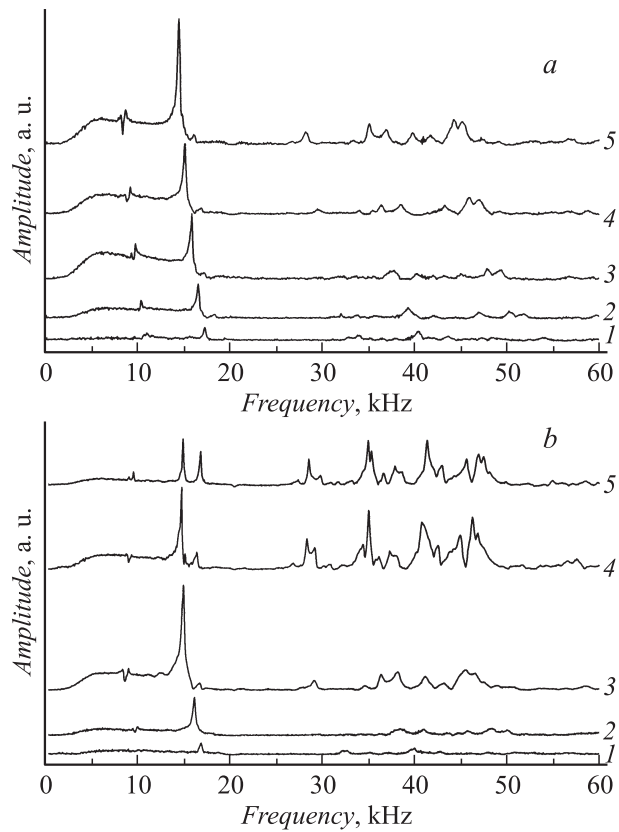


Рис. 1. Характер изменения спектральных характеристик электрических сигналов из цементно-песчаного образца, зарегистрированных на первом (*a*) и втором (*b*) этапе испытаний. (Цифрами обозначены номера циклов замораживания-нагрева в рамках каждого этапа).

буждение в основном определяются характеристиками формирующихся в образце акустических волн.

Смещение основного спектрального максимума электрического сигнала из образцов, подвергнутых замораживанию, с увеличением циклов замораживания-нагрева в сторону более низких частот мы связыва-

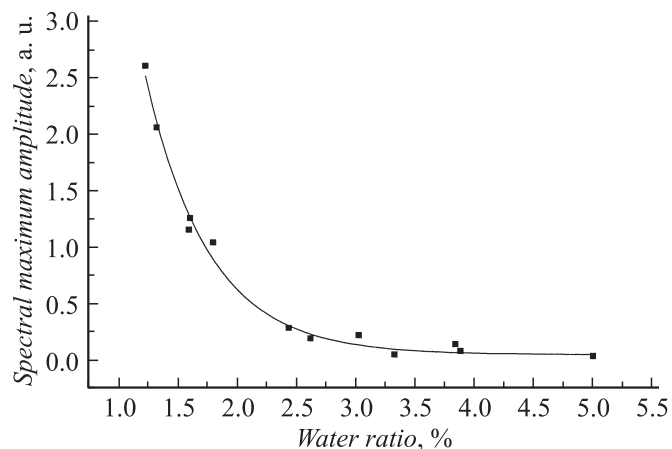


Рис. 2. Зависимость амплитуды основного спектрального максимума от влажности цементно-песчаного образца.

ем с наблюдаемым уменьшением скорости звука в материале за счет испарения воды из капиллярных пор в процессе нагревания.

Чтобы оценить влияние влажности на параметры электрического отклика, были проведены исследования цементно-песчаных образцов, не подвергавшихся температурному воздействию. Исследования проводились в процессе высушивания предварительно замоченных на сутки образцов того же состава и размеров, которые использовались для циклического знакопеременного температурного возбуждения. На рис. 2 представлена зависимость величины основного спектрального максимума от влажности образцов. Закономерность связи амплитуды основного спектрального максимума от влажности хорошо описывается экспоненциальной зависимостью.

В процессе высушивания образцов постепенно начинают давать все больший вклад в электрический отклик источники механоэлектрических преобразований, расположенные в объеме образца, из которого испарилась вода и где не происходит экранирование электрического сигнала окружающим влагонасыщенным цементным камнем, имеющим высокую проводимость. В результате этого при высушивании образцов происходит возрастание величины электрического сигнала.

Следовательно, возрастание величины основного спектрального максимума электромагнитного отклика в процессе циклического замораживания-нагревания связано с уменьшением влажности образцов за счет испарения воды на стадии нагревания.

Характер изменения электрического сигнала на втором этапе испытаний имеет свои особенности по сравнению с первым. А именно: после четвертого и пятого циклов замораживания-нагревания наблюдается значительное возрастание спектральных составляющих электрического отклика в области частот от 30 до 50 kHz и уменьшение амплитуды максимума в области частот от 14 до 17 kHz, соответствующего полосе, где лежит основная гармоника продольных акустических колебаний. Такое перераспределение спектральных характеристик может быть связано с процессами рассеяния акустических волн на развивающихся трещинах и наличии нелинейных эффектов в трещиноватой среде [6], в результате чего и происходит смещение центра тяжести спектра в более высокочастотную область. Визуально без оптического увеличения на поверхности образцов трещин обнаружено не было. Чтобы оценить произошедшие в материале нарушения в результате проведенных двух этапов замораживания-нагревания, была измерена прочность этих образцов и прочность контрольных образцов, которые не подвергались испытаниям. Показано, что в результате знакопеременной температурной обработки прочность образцов понизилась в среднем в 1.5 раза.

Следовательно, изменение прочности материалов, возникающее в результате знакопеременного температурного возбуждения, приводит к трансформации спектральных характеристик электрического отклика на импульсное ударное возбуждение. Проведенные исследования могут рассматриваться как предварительные данные для разработки неразрушающего метода контроля динамики изменения прочности гетерогенных материалов в процессе температурно-влажностного воздействия на основе явления механоэлектрических преобразований.

Работа выполнена по гранту в рамках реализации аналитической ведомственной целевой программы „Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)“.

Список литературы

- [1] Фурса Т.В., Гордеев В.Ф. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 3. С. 30–34.
- [2] Фурса Т.В., Осипов К.Ю. // Изв. вузов. Сер. Физика. 2003. № 11. С. 61–65.

- [3] Суржиков А.П., Фурса Т.В., Осипов К.Ю. // Способ контроля прочности изделий из твердых материалов. Патент на изобретение № 2250449 с приоритетом от 16 июня 2003 г.
- [4] Горчаков Г.И., Лифанов И.И., Терехин Л.Н. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов / Под ред. Н.Ф. Сорокина. М.: Изд-во стандартов, 1968. 168 с.
- [5] Суржиков А.П., Фурса Т.В. // ЖТФ. 2008. Т. 78. В. 4. С. 71–76.
- [6] Шамина О.Г., Паленов А.М. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 2000. № 3. С. 11–19.