

05;12

Разработка метода контроля динамики изменения дефектности бетона под действием циклического замораживания-оттаивания на основе явления механоэлектрических преобразований

© Т.В. Фурса, К.Ю. Осипов, Д.Д. Данн

Томский политехнический университет

E-mail: fursa@tpu.ru

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

E-mail: osipov@iao.ru

Поступило в Редакцию 26 октября 2010 г.

Показано, что возрастание дефектности (трещиноватости) бетона под действием циклического замораживания-оттаивания приводит к трансформации спектральных характеристик электрических откликов на импульсное механическое возбуждение. В качестве критерия оценки общей длины трещин в бетоне может быть использован максимальный коэффициент корреляции спектра электрического сигнала из дефектного материала по сравнению с бездефектным.

Строительные конструкции из бетона часто эксплуатируются в условиях значительных сезонных колебаний температуры. Многократное замораживание, оттаивание и нагревание 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. Проведенные нами ранее исследования по связи параметров электрического сигнала, возникающего при ударном возбуждении строительных материалов с их структурными и механическими характеристиками [1–3], свидетельствуют о перспективности использования явления механоэлектрических преобразований для оценки динамики изменения дефектности в процессе эксплуатации наружных строительных конструкций.

В рамках данной работы проведены исследования взаимосвязи параметров электрического отклика на ударное возбуждение с процессом трещинообразования при циклическом замораживании-оттаивании бетона и поиск критериев оценки степени его трещиноватости.

Исследования были выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение образцов и регистрацию электрических откликов. Импульсное механическое возбуждение образцов осуществляли электромеханическим ударным устройством, позволяющим производить однократный, нормированный по силе удар. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля использовался дифференциальный электрический датчик, состоящий из двух металлических пластин, одна из которых является измерительной (размещается на расстоянии 2 мм от боковой стороны образца) и воспринимает как полезный сигнал, так и помеху, а другая — компенсационная находится на расстоянии 4–5 см от противоположной боковой стороны образца и принимает помеховую составляющую, за счет чего на выходе дифференциального приемника выделяется полезная составляющая сигнала. Сигнал с электрического датчика регистрировался с помощью многофункциональной платы ввода-вывода „NI PCI-6251“, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала и быстрое фурье-преобразование.

Различная степень трещиноватости создавалась в бетоне в процессе циклического замораживания-оттаивания. Такого же типа нарушения происходят в реальных наружных конструкциях, эксплуатирующихся в условиях изменения температуры и влажности в широких пределах. 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 возникновению и развитию трещин [4].

Исследования проводились на образцах тяжелого бетона размером $50 \times 50 \times 100$ mm. Партия образцов тяжелого бетона, которая состояла из 10 штук, была разбита на 5 групп. Одна группа из партии (контрольная) не подвергалась испытаниям, а хранилась во влажном состоянии в универсальной камере. Каждая из последующих 4 групп была подвергнута разному количеству циклов замораживания-оттаивания (5, 10, 15 и 20 циклов). Замораживание производилось в условиях климатической камеры, а оттаивание — в универсальной камере при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и влажности 95%. С целью ускорения процесса трещинообразования температуру замораживания снижали до -45°C , а длительность циклов замораживания и оттаивания сокращали до 2 h. При таком режиме замораживания-оттаивания уже после 7–8 циклов на поверхности образцов появлялись отдельные видимые трещины. Так как приповерхностные слои исходно имеют значительно менее прочную структуру, то и развитие трещин в первую очередь должно начинаться с приповерхностных слоев. Поэтому общая длина поверхностных трещин может служить опосредованной характеристикой степени дефектности (трещиноватости) образцов, возникшей в результате их циклического замораживания-оттаивания.

На рис. 1 приведены фотографии поверхности двух образцов бетона: а) контрольного, б) прошедшего 20 циклов замораживания-оттаивания.

На основе фотографий было с помощью программы NI Vision Assistant осуществлено измерение общей длины поверхностных трещин для образцов, прошедших различное количество циклов знакопеременного температурного воздействия. Программа позволяет провести специальную обработку изображений, чтобы трещины стали видны достаточно хорошо. Далее в программе с помощью маркера выделяются трещины, и становится возможным легко определить их длину. В качестве результата в программе выдается общая длина отмеченных пользователем трещин.

Затем образцы бетона были высушены и проведено измерение электрического отклика из них на ударное возбуждение. На рис. 2 при-

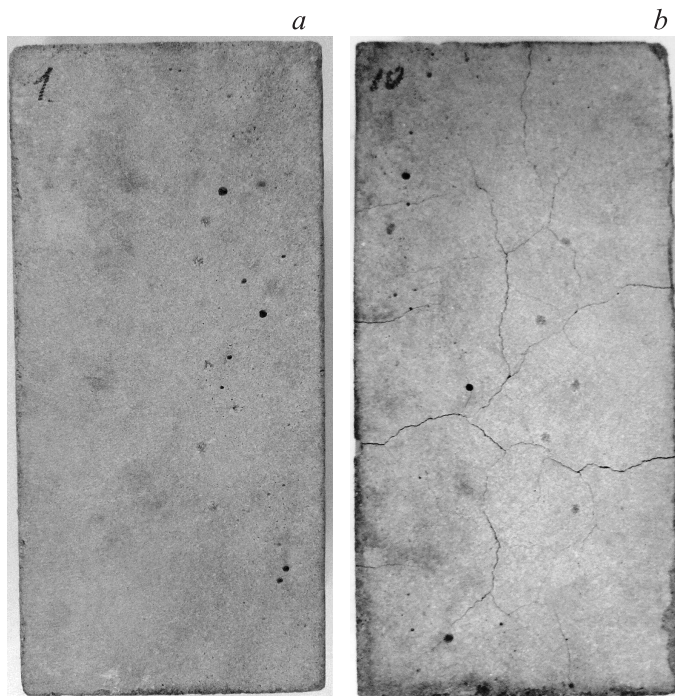


Рис. 1. Фотографии контрольного образца (*a*) и после 20 циклов замораживания-оттаивания (*b*).

ведены спектральные характеристики электрических сигналов, зарегистрированных из образцов тяжелого бетона, фотографии поверхностей которых приведены на рис. 1.

При прорастании трещин и увеличении их количества в процессе циклического замораживания-оттаивания происходит последовательное изменение спектрального состава электрических сигналов с тенденцией к уменьшению амплитуды и смещению спектров в низкочастотную область.

Эти результаты хорошо согласуются с исследованиями трещиноватости акустическими методами. Такие исследования были проведены в работе [5], где в модельных экспериментах при естественном трещинообразовании в образцах парафина под нагрузкой в начале развития

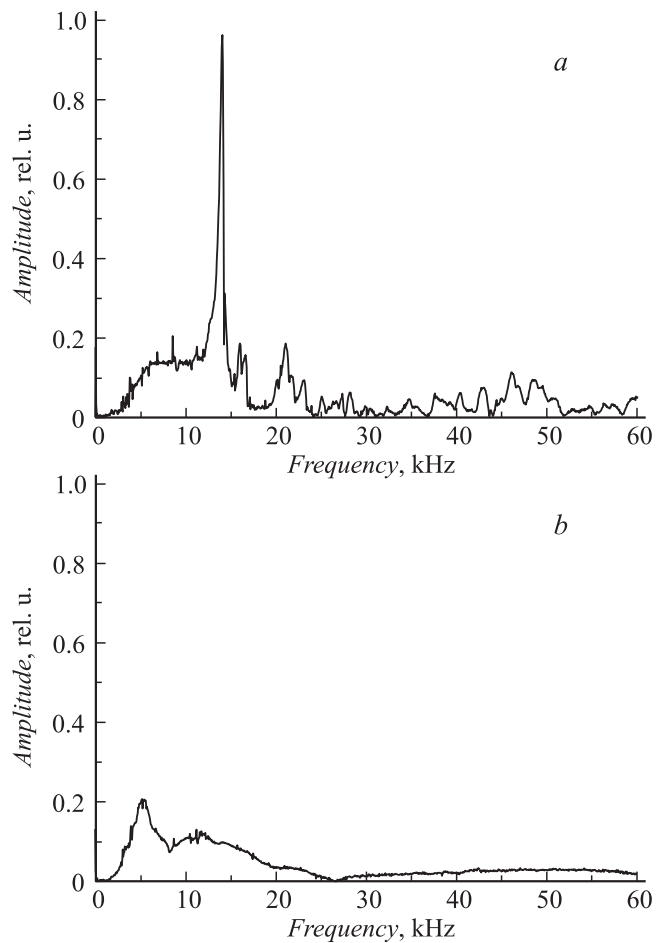


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики электромагнитных сигналов из образцов тяжелого бетона: *a* — контрольного, *b* — после 20 циклов замораживания-оттаивания.

трещиноватости (момент ее возникновения контролируется визуально) замечено увеличение частоты импульса *P*-волны. Дальнейшее развитие трещиноватости и увеличение области, занятой ею, приводило к уменьшению частоты. Аналогичные результаты приведены в статье [6].

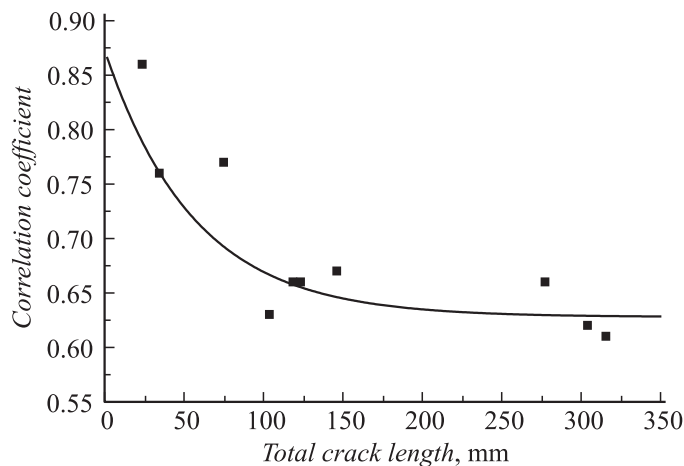


Рис. 3. Зависимость максимального коэффициента корреляции спектра электрического сигнала от общей длины трещин на поверхности тяжелого бетона.

Изменения спектрального состава электрических откликов на ударное возбуждение также были обнаружены в работах [7,8] при исследовании гипсопесчаных моделей с искусственными дефектами различного типа и размеров, а также в процессе трещинообразования в образцах цементного раствора, под действием циклического нагружения и замораживания-оттаивания.

Для количественной оценки изменения спектрального состава электрических сигналов (формы спектра) в процессе трещинообразования, вызванного циклическим замораживанием-оттаиванием, был использован корреляционный анализ. С помощью программы в среде программирования LabView 9.0 осуществлялся последовательный сдвиг спектра сигнала из дефектного образца относительно бездефектного, рассчитывался выборочный коэффициент корреляции и определялся максимальный коэффициент взаимной корреляции двух сравниваемых спектров.

На рис. 3 приведена зависимость максимального коэффициента взаимной корреляции спектра электрического сигнала дефектных образцов с образцом, на поверхности которого нет видимых трещин, от общей длины трещин на одной из поверхностей образцов тяжелого бетона. Как

видно из рисунка, наблюдается тенденция к уменьшению коэффициента корреляции с увеличением общей длины трещин. Зависимость коэффициента взаимной корреляции (K) спектров электрических сигналов от длины трещин (L) описывается экспонентой вида: $K = 0.63 + 0.32e^{-\frac{L}{36.26}}$ с коэффициентом корреляции 0.85.

Полученные экспериментальные результаты дают основание предложить в качестве критерия оценки степени дефектности (трещиноватости), вызванной знакопеременным температурным возбуждением, максимальный коэффициент взаимной корреляции спектров электрических сигналов из исследуемого (дефектного) образца со спектром сигнала из образца, имеющего целостную структуру.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и Федерального агентства по образованию в рамках реализации АВЦП „Развитие научного потенциала высшей школы“ (№ 2.1.2/1697).

Список литературы

- [1] *Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю.* Способ контроля прочности изделий из твердых материалов: Пат. на изобр. № 2380675 с приоритетом от 01.12.2008 г. Опубликовано 27.01.2010. Бюл. 3.
- [2] *Фурса Т.В., Осипов К.Ю.* // Изв. вузов. Сер. Физ. 2003. № 11. С. 61–65.
- [3] *Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю.* // Дефектоскопия. 2007. № 2. С. 27–34.
- [4] *Горчаков Г.И., Капкан М.М., Скрамтаев Б.Г.* Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1965. 194 с.
- [5] *Шамина О.Г., Понятовская В.И., Стрижков С.А.* // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1978. № 6. С. 45–49.
- [6] *Стрижков С.А.* // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 5. С. 87–92.
- [7] *Фурса Т.В., Суржиков А.П., Дани Д.Д.* // Дефектоскопия. 2010. № 1. С. 8–13.
- [8] *Фурса Т.В.* // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 8. С. 1–6.