

05
Связь параметров электрического отклика на упругое ударное воздействие в бетоне с крупным размером заполнителя

© Т.В. Фурса, А.А. Демикова, Д.Д. Данн

Национальный исследовательский Томский политехнический институт,
634050 Томск, Россия
e-mail: fursa@tpu.ru

(Поступило в Редакцию 22 апреля 2014 г.)

Проведены исследования влияния размера крупного заполнителя на параметры электрического отклика при упругом ударном возбуждении образцов тяжелого бетона. Показано, что увеличение размера крупного заполнителя приводит к возрастанию суммарной спектральной энергии электрических откликов, возрастанию дисперсии ее значений при многократных измерениях и уменьшению коэффициента затухания энергии электрических откликов.

Известно, что состав и структура бетона определяют его физико-механические характеристики и зависят от свойств основных составляющих [1]. Свойства бетона зависят от вида и качества заполнителя, пористости цементного камня, качества контакта заполнителя с цементной матрицей, крупного размера заполнителя. В процессе изготовления изделий из бетона в результате различных технологических факторов структурные характеристики бетона изменяются, что может привести к ухудшению их основных эксплуатационных параметров. Поэтому для решения проблем безаварийной эксплуатации бетонных сооружений необходимо осуществлять контроль структурных характеристик бетона. В настоящее время большая часть исследований в России и за рубежом посвящена разработке методов неразрушающего контроля пористости бетона [2,3]. Не менее важной характеристикой бетона является размер заполнителя, влияющий на зарождение и распространение трещин в бетоне в процессе его твердения и под нагрузкой [4]. Для разработки метода оценки размера заполнителя может быть использовано явление механоэлектрических преобразований при упругом ударном возбуждении гетерогенных неметаллических материалов [5].

Акустические волны формируются в образце конечных размеров при его ударном возбуждении. Электрическое поле возникает за счет появления зарядов на гранях пьезокварца, содержащегося в мелком и крупном заполнителе (речном песке и гравии), при его деформации и за счет смещения этих зарядов и зарядов двойных электрических слоев, расположенных на границах компонентов в гетерогенном материале, относительно электрического приемника. В работах [5,6] показано, что в тяжелых бетонах основной вклад в генерирование электрического поля вносят пьезоэлектрические источники механоэлектрических преобразований. Поэтому, с одной стороны, параметры электрического отклика связаны с характеристиками упругих волн и надежно отражают процессы их взаимодействия с внутренними структурными неоднородностями, а, с

другой стороны, эффективность механоэлектрических преобразований определяется размером и количеством пьезоэлектрических источников.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния крупного размера заполнителя в бетоне на параметры электрического сигнала при ударном воздействии.

Исследования выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение материалов и регистрацию электрического сигнала. Импульсное механическое возбуждение образцов производится с помощью электро-механического ударного устройства с нормированной силой удара. Удар производился через металлическую пластину, закрепленную на корпусе ударного устройства. Металлическая пластина и сферический наконечник ударного элемента изготовлены из закаленной стали одинаковой твердости для создания упругого удара. Для регистрации электрического отклика, возникающего при ударном возбуждении образцов, используется дифференциальный электрический датчик. Сигналы с электрического датчика регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода „NI PCI-6251“, совмещенной с ЭВМ, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

Для проведения исследований было изготовлено по 2 образца тяжелого бетона с размерами крупного заполнителя (гравия): 2.8–5, 5–10, 10–15, 15–20 мм. Отделение необходимой фракции производилось с помощью набора сит. Соотношение цемент:песок:гравий во всех образцах было одинаково 1:2:4. Размер образцов составлял 100 × 100 × 100 мм.

Результатами рентгеноструктурного анализа показано, что в составе зерен заполнителя содержится различная концентрация кварца. Для проверки данного утверждения из гравия было отобрано несколько различных по внешнему виду зерен и проведено определение в них содержания кварца. Для определения фазового состава использовался рентгеновский дифрактометр ARL X'TRA (Швейцария). Было проведено измерение семи различных зерен гравия.

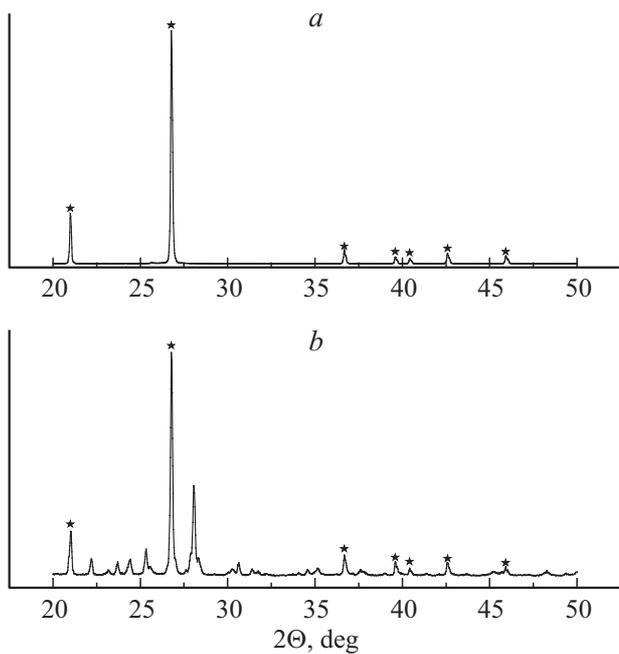


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы для двух типичных зерен заполнителя. Рефлексы, соответствующие кварцу, помечены звездочкой.

Все наблюдаемые рефлексы на рис. 1, *a* принадлежат кварцу. Экспериментально определенные параметры решетки ($a = b = 0.4914$ nm, $c = 0.5401$ nm) очень хорошо совпадают с табличными значениями параметров решетки SiO_2 ($a = b = 0.4914$ nm, $c = 0.5406$ nm). Из рис. 1, *b* видно, что на дифрактограмме кроме кварца наблюдаются не идентифицированные фазы. Следовательно, используемые для изготовления образцов зерна заполнителя имеют различное содержание в них кварца.

Случайное расположение внутри образцов кварцевых зерен приводит к изменению величины откликов, зарегистрированных из различных областей образцов. Величина электрического сигнала определяется напряженностью электрического поля в зоне расположения электрического приемника. А напряженность определяется электрическими моментами поляризованных пьезоэлектрических включений и их расстоянием до приемника. Так как источником является диполь, то с расстоянием происходит уменьшение напряженности электрического поля по кубической зависимости. Следовательно, наибольший вклад в электрический сигнал вносят пьезоисточники (зерна заполнителя), расположенные в непосредственной близости от приемного электрода. Размер измерительного электрода в данных исследованиях составлял 20×20 mm. При размере зерен порядка $10\text{--}20$ mm в непосредственной близости от приемника будет находиться по $1\text{--}4$ зерна, а при размере $2.8\text{--}5$ mm — порядка $16\text{--}50$ зерен. Поэтому отличия в содержании кварца в различных зернах заполнителя должны более надежно проявляться при большем их размере, близком к размеру приемного

электрода. Следовательно, чем больше размер зерен гравия, тем больше должны различаться электрические отклики.

В ходе экспериментов производилась регистрация откликов с разных сторон образца. Во всех случаях соблюдалась абсолютная идентичность геометрии эксперимента. Удар всегда производился по центру образца для создания в нем идентичного акустического возбуждения. Приемный электрический датчик был закреплен на блоке ударного устройства и тем самым находился на одном и том же расстоянии от поверхности и точки удара.

На рис. 2. приведена зависимость суммарной спектральной энергии электрического отклика от размера заполнителя.

Как видно из рис. 2, при увеличении размера зерен наблюдается возрастание спектральной энергии электрических откликов и дисперсии при многократных измерениях отклика из различных областей образца.

Следовательно, по величине суммарной спектральной энергии электрического отклика и ее дисперсии при многократных измерениях из разных точек образца можно судить о размере крупного заполнителя в бетоне.

Многократное рассеяние акустических волн на зернах заполнителя приводит к затуханию энергии акустического возбуждения, а следовательно, и электрического отклика. В работе [7] показано, что отражающие и рассеивающие свойства неоднородностей определяются, с одной стороны, размером неоднородности, а с другой — количеством близкорасположенных неоднородностей. Показано, что несколько близкорасположенных препятствий, имеющих совокупную проекцию поверхности, отражают сигнал так же, как единственное препятствие, поверхность которого равна сумме поверхностей, составляющих препятствие. Установлено, что даже при уменьшении размера препятствий (a) до величины $a \sim \lambda/100$, но при увеличении их количества

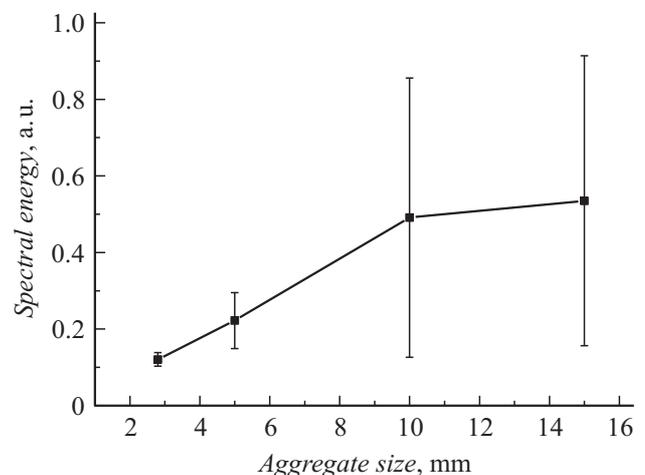


Рис. 2. Изменение суммарной спектральной энергии электрического отклика в зависимости от размера заполнителя.

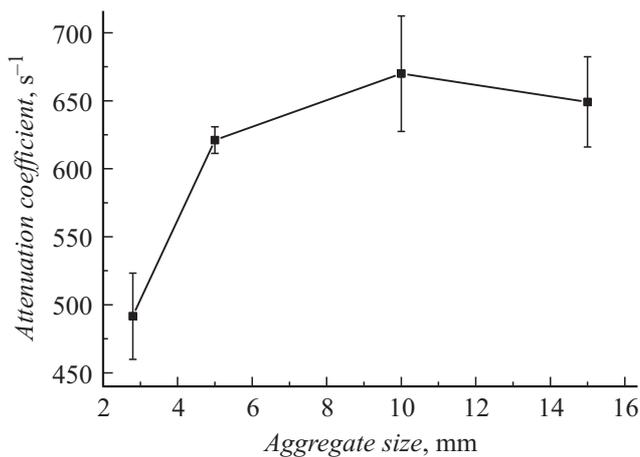


Рис. 3. График зависимости коэффициента затухания от размера заполнителя.

во столько же раз не приводит к изменению результирующего рассеивающего эффекта. Кроме того, в работе [7] показано, что вплоть до $a \sim \lambda/6$ зависимость коэффициента отражения от размера препятствия оказывается близкой к линейной. В наших экспериментах использовано ударное возбуждение длительностью порядка $60 \mu\text{s}$. В результате такого воздействия основная доля энергии электрического отклика лежит в диапазоне частот от 12 до 25 kHz. Следовательно, минимальная длина волны (λ) составляет 160 mm. Размер заполнителя колеблется от 2.8 до 20 mm, т.е. от $\lambda/50$ до $\lambda/8$, а количество зерен заполнителей, приходящееся на поперечное сечение образца, изменяется соответственно от 100 до 25. Следовательно, в условиях нашего эксперимента должно происходить эффективное взаимодействие акустической волны с заполнителями тех размеров, которые приведены в работе.

Для определения динамики изменения коэффициента затухания энергии электрического сигнала из образцов бетона с различным размером зерен гравия был использован частотно-временной анализ, как это описано в работах [8,9].

Как видно из рис. 3, с увеличением размера зерен заполнителя от 2.8 до 10 mm коэффициент затухания возрастает, что согласуется с приведенными выше оценками. При дальнейшем увеличении размера заполнителя от 10 до 15 mm наблюдается небольшое снижение коэффициента затухания. Это может быть связано с увеличением радиуса кривизны поверхности крупных зерен, что приводит к менее плотной их упаковке.

Полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки комплексного подхода к решению задачи оценки размера заполнителя, составляющего основную долю заполнителя в конкретном изделии.

Работа выполнена в рамках Государственного задания „Наука“.

Список литературы

- [1] *Hu J., Wang K.* // Construction and Building Materials. 2011. Vol. 3. P. 1196–1204.
- [2] *Wang X., Subramaniam K.V.* // Cement and Concrete Composites. 2011. Vol. 3. P. 389–401.
- [3] *Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю.* // Дефектоскопия. 2007. Вып. 2. С. 27–34.
- [4] *Szczesniak M., Rougelot T., Burlion N., Shao J.-F.* // Cement and Concrete Composites. 2013. Vol. 37. P. 249–258.
- [5] *Суржиков А.П., Фурса Т.В.* // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 4. С. 71–76.
- [6] *Фурса Т.В., Данн Д.Д.* // ЖТФ. 2011. Т. 91. Вып. 8. С. 53–58.
- [7] *Гук Л.Д.* // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 4. С. 804–815.
- [8] *Quiviger A., Payan C., Chaix J.-F., Garnier V., Salin J.* // NDT & E International. 2012. N. 45. P. 128–132.
- [9] *Осипов К.Ю., Фурса Т.В.* // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 10. С. 65–71.