

12

Зависимость амплитуды электрического сигнала от пространственного расположения наполнителя при механическом возбуждении бетона

© В.В. Ласуков, Т.В. Фурса

Томский политехнический университет

Поступило в Редакцию 1 апреля 1999 г.

В окончательной редакции 29 сентября 1999 г.

Эспериментально исследована и предложена модель явления генерирования электрического сигнала при механическом возмущении среды, состоящей из диэлектрика, погруженного в плохой проводник.

В работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование зависимости амплитуды электрического сигнала от пространственного расположения наполнителя при механическом возбуждении бетона.

Сравнительно давно в лабораторных условиях обнаружено явление электризации вновь образующихся поверхностей при деформации и разрушении кристаллов [1–4]. Электризация материала происходит за счет разрыва ионных связей при движении трещин в материале, за счет движения заряженных дислокаций, адгезии или электрокинетических явлений. Однако важные для практики детали этого явления, такие как пространственное расположение зарядов, процесс образования зарядов, связь характеристик возникающего при движении таких зарядов электрического сигнала с физико-химическими свойствами нагруженного тела и эволюция во времени процесса разрушения, изучены недостаточно.

В этой связи в работе проведены теоретическое и экспериментальное исследования зависимости амплитуды электрического сигнала от пространственного расположения наполнителя (галька) при механическом возбуждении бетона.

Схема проводившихся в работе экспериментальных исследований явления генерирования электрического сигнала механически возмущенной средой выглядит следующим образом. Измерения проводились с помощью емкостного датчика с дифференциальным входом [5], который

располагают над поверхностью образца на расстоянии порядка 0.1–1 см. Противоположная грань образца располагалась на заземленной металлической поверхности, площадь которой порядка 1 м². При этом внешняя измерительная система представляла собой конденсатор, образованный заземленной поверхностью и поверхностью датчика. Использование указанного датчика и заземленной поверхности позволяет избавиться от помех и делает возможным проведение экспериментов без использования экрана. Возбуждение механических колебаний осуществлялось однократным нормированным ударом вибратора. При такой схеме измерений и ударном способе возбуждения прибором фиксируется ток смещения, обусловленный возникновением и изменением во времени дипольного момента двойного электрического слоя поверхностных зарядов. Величина, пространственная структура поверхностных зарядов и амплитуда колебаний зарядов зависят от физико-химических свойств внутренних областей исследуемых образцов.

Для модели поверхностных излучателей напряжение на входе прибора равно [5]

$$U(h, t) = U_0(t) \cdot \frac{1}{h} \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{R_{\max}^2}{h^2} \right)^{-1/2} \right] \cdot \left\{ h + \frac{d_0 \cdot S_d}{\varepsilon \cdot S_0} \right\}, \quad (1)$$

где $U_0(t) = E_0 \cdot x(t)$, $E_0 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \sigma_3}{\varepsilon_0}$, $x(t)$ — смещение зарядов, σ_3 — поверхностная плотность заряда, ε — относительная диэлектрическая проницаемость образца, d_0 — линейный размер образца, S_d — площадь датчика, S_0 — площадь грани образца, расположенной под датчиком, h — расстояние от поверхности образца до датчика. В выражении (1) множитель в фигурных скобках обусловлен общим сопротивлением Z и является аппаратным эффектом.

В работе [5] на основе изучения зависимости (1) амплитуды сигнала от расстояния между приемником и поверхностью образца было экспериментально показано, что источником электрического сигнала являются заряженные области внешней поверхности образца. Было высказано предположение, что поверхностный заряд наводится объемными зарядами либо дипольным моментом, находящимися внутри тела и формирующимися на неоднородностях.

В этой связи найдем поверхностную плотность заряда, которую можно оценить, рассчитав поток вектора E , обусловленного зарядом, расположенным внутри образца, через ту поверхность G образца, над

которой расположен датчик. Расчет проведем для кубического образца. При этом получим

$$\sigma_3 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon}{S} \times \iint_G (\mathbf{E} \cdot \mathbf{n}) dS = \sigma_0 \cdot \sum_{j=1}^4 \arctg[\varphi_j(h_1, h_2, h_3)], \quad (2)$$

здесь $\sigma_0 = \frac{Q}{S}$; Q — величина заряда, расположенного внутри образца; S — площадь поверхности грани образца кубической формы,

$$\varphi_1(h_1, h_2, h_3) = \frac{h_2 \cdot h_3}{h_1 \cdot \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2}},$$

$$\varphi_2(h_1, h_2, h_3) = \varphi_1(h_1, L - h_2, h_3),$$

$$\varphi_3(h_1, h_2, h_3) = \varphi_1(h_1, h_2, L - h_3),$$

$$\varphi_4(h_1, h_2, h_3) = \varphi_1(h_1, L - h_2, L - h_3),$$

$h_{1,2,3}$ — расстояние от заряда до трех граней образца, h_1 — расстояние от заряда до грани, обращенной к датчику, L — длина ребра куба.

Аналогично для источника, расположенного внутри образца и обладающего удельным дипольным моментом, можно получить

$$\sigma_d = \sigma_{0d} \cdot \frac{1}{h_1} \cdot \sum_{j=1}^4 \arctg(\varphi_j(h_1, h_2, h_3)), \quad (3)$$

где l — линейный размер диполя. Для проверки соотношений (2), (3) нами был проведен эксперимент. В этой связи были изготовлены образцы кубической формы $10 \times 10 \times 10$ см из бетона, в каждом из которых на определенной глубине располагался только один предполагаемый объемный источник (галька). Каждый образец является неоднородным материалом, состоящим из диэлектрического элемента, погруженного в плохой проводник. В первом из четырех образцов источник располагался в точке на оси, проходящей через геометрические центры двух противоположных граней куба на расстоянии $h_1 = 1$ см от поверхности образца, обращенной к датчику; во втором образце — $h_1 = 1.3$ см; в третьем — $h_1 = 2.3$ см; в четвертом — $h_1 = 2.9$ см. При этом на входе прибора наблюдались следующие значения амплитуды сигнала: 4.16,

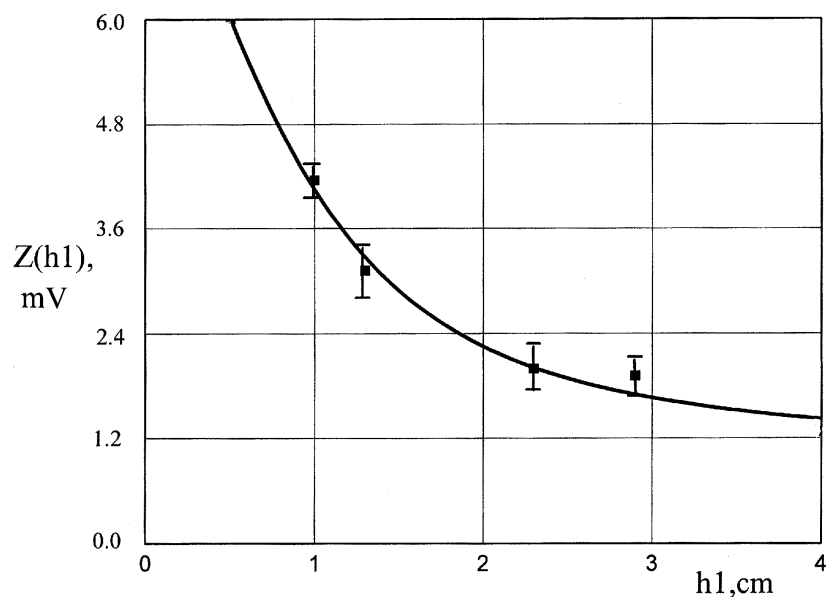


График функции $z(h_1) = \sigma_3(h_1) + \sigma_d(h_1)$ от глубины расположения источника в образце h_1 . Точки — эксперимент. Сплошная линия — теория.

3.12, 2.00, 1.92 mV соответственно. Датчик устанавливался на одном и том же расстоянии от поверхности образца.

График функции $Z(h_1) = \sigma_3(h_1) + \sigma_d(h_1)$ от h_1 изображен на рисунке.

Хорошее согласие теории с экспериментом позволяет сделать следующие выводы.

Расположенная внутри тела диэлектрическая компонента (галька) обладает удельным дипольным моментом механической природы и объемным зарядом. По-видимому, дипольный момент обусловлен градиентом механических напряжений, возникающих в неоднородном материале.

Результаты работы могут служить экспериментальным подтверждением модели поверхностных излучателей, которая используется для объяснения аномалий в естественном электромагнитном поле Земли, возникающих накануне землетрясений.

Используемая в статье методика может быть использована для исследования развития во времени процесса разрушения и проверки выводов соответствующих теорий (особенно вывод перколяционной теории разрушения [6] о том, что прогнозным признаком разрушения могут служить угол наклона и выпрямление графика так называемого закона повторяемости). Кроме того, разработанная для исследования и использования явления генерирования электрического сигнала нагруженными телами аппаратура и методика идеально подходят для изучения теоретически предсказанного, но не исследованного экспериментально флексоэлектрического эффекта [7]. Изучение процесса разрушения важно в связи с тем, что процесс разрушения может лежать в основе низкотемпературного ядерного синтеза [8].

Список литературы

- [1] *Дерягин Б.В., Кротова Н., Смилга В.Г.* Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 273 с.
- [2] *Урусовская А.А.* // УФН. 1968. Т. 86. С. 39–60.
- [3] *Финкель В.М.* Физические основы торможения разрушения. М.: Металлургия, 1977. С. 359.
- [4] *Хатиашвили Н.Г.* // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 9. С. 13–19.
- [5] *Фурса Т.В., Гордеев В.Ф., Ласуков В.В., Малышков Ю.П.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 21. С. 1–5.
- [6] *Челидзе Т.Л.* Методы теории протекания в механике геоматериалов. М.: Наука, 1987.
- [7] *Таганцев Д.К.* // УФН. 1987. Т. 152. № 3. С. 423–449.
- [8] *Царев В.А.* // УФН. 1990. Т. 160. № 11. С. 1–51.