

УДК 691.327: 620.179.05

Снежков Д.Ю. (БНТУ г.Минск)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ БЕТОНА

Измерение упруго-деформативных характеристик бетона имеет не менее важное значение для оценки несущей способности ж/б конструкций, чем измерение его прочности. Оценка параметров упругости дополнительно к оценке прочности бетона позволяет производить оценку состояния ж/б конструкций их деформативные характеристики как на стадии изготовления, так и в процессе эксплуатации.

К одним из основных параметров оценки упругих свойств бетона относятся модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν , измерение которых производится путем механических испытаний образцов бетона. Оперативная же оценка этих характеристик непосредственно в готовых изделиях практически не производится, хотя принципиальная возможность для этого существует, в частности, для акустического метода известны соотношения для параметров продольных и поперечных акустических волн:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}; \quad (1)$$

$$c_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}};$$

где c_1 c_t — соответственно скорости продольной и поперечной волн;

E — модуль Юнга;

ν — коэффициент Пуассона.

Измерив скорости продольной и поперечной волн, можно из приведенных уравнений рассчитать искомые модули, в частности, коэффициент Пуассона можно вычислить через отношение скоростей этих волн:

$$\nu = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\frac{c_1^2}{c_t^2} - 1} \right)$$

Определение характеристик упругости бетона на основе приведенных соотношений (1) дает оценку динамическим модулям, которые могут значительно отличаться от статических. Бетон представляет собой вязкоупругий материал, развитие и распространение динамических деформаций в нем связано с процессами внутреннего трения. Это проявляется при акустических испытаниях в частотной зависимости динамических модулей, и, в итоге, дает неоднозначность оценок упругих модулей, выполненных с применением различных приборных средств. Внутреннее трение связано с потерями энергии упругой волны и, в первом приближении, может оцениваться коэффициентом затухания, который необходимо принимать во внимание при измерениях её скорости. Создание уточненной математической модели для упругих и акустических характеристик бетона, как основы вычислительного алгоритма, представляет собой сложную задачу, как с теоретических позиций, так и в плане большого объема экспериментальных работ, и к настоящему времени в приемлемом для практики виде не решено.

Одной из проблем, затрудняющих реализацию приведенного подхода, является отсутствие оперативных функционально развитых средств контроля, имеющих возможность селективного измерения составляющих акустического сигнала. Существующими ГОСТами не регламентируется методика их разделения, хотя это могло бы служить источником дополнительных информативных параметров, как при определении прочности бетона, так и для оценки упругих свойств. Необходимо отметить отсутствие проработанных методик и достоверных данных по оценке упругих свойств бетона акустическими методами, имеющиеся ориентированы на устаревшую приборную базу.

В настоящее время появились образцы электроакустических преобразователей (ЭАП), в частности, российского ОАО «Акустические контрольные системы», позволяющие формировать акустические волны с различным типом поляризации. Сухой точечный акустический контакт, применяемый

в современных низкочастотных ЭАП, кроме решения основной своей задачи, позволяет управлять вектором поляризации волны при излучении и осуществлять пространственную селекцию акустического сигнала при приеме.

Применение СТК в низкочастотной ультразвуковой технике хорошо известно, в частности в приборах УК-14П (НПО «Волна» г.Кишинев) и УК1401 (ОАО «Акустические контрольные системы» г.Москва). Известна реализация СТК на основе объемных концентраторов, которые являются по существу механическими трансформаторами, согласующими акустический импеданс области пьезоэлемента ЭАП с импедансом зоны контакта с испытуемым материалом. Вектор колебаний протектора известных конструкции ЭАП такого типа параллелен оси концентратора. Возможности управления вектором поляризации волны такой преобразователь не дает. Дальнейшее совершенствование ЭАП привело к созданию конструкций, позволяющих эффективно управлять вектором колебаний точечного протектора.

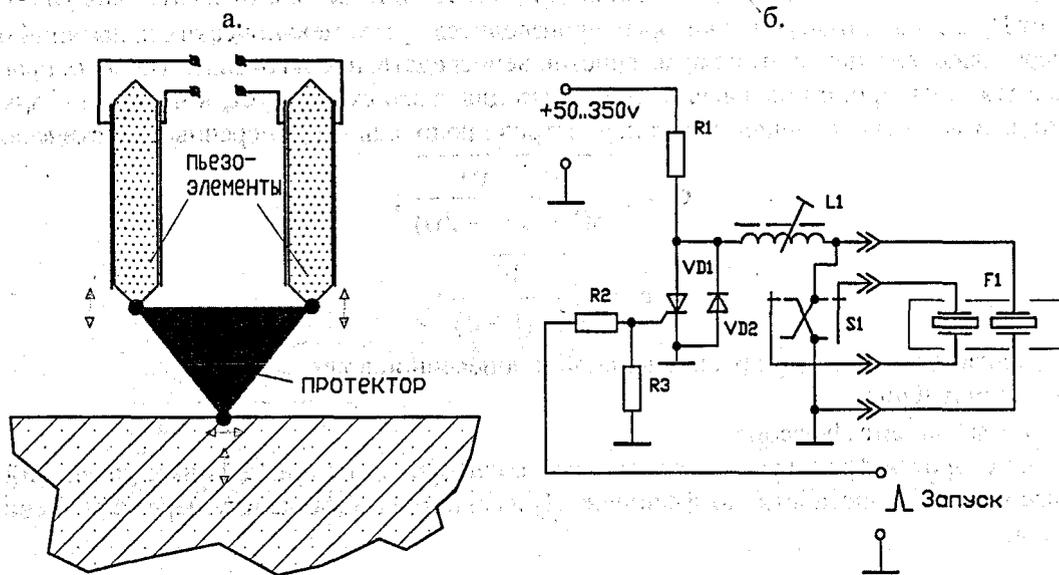
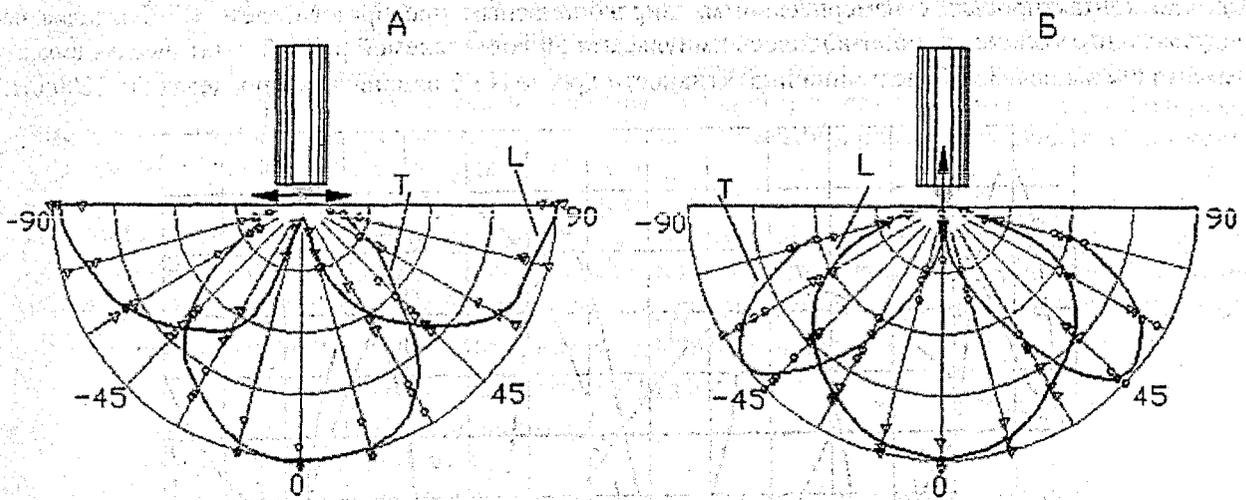


Рисунок 1— (а) Схема формирования колебаний протектора ЭАП; (б) Схема возбуждения пьезоэлементов.

На кафедре «Технология строительного производства» в рамках научно-исследовательской тематики по совершенствованию неразрушающего контроля бетона были проведены работы по конструированию ЭАП с сухим точечным контактом (СТК) на базе серийных пьезокерамических элементов ПО «Монолит» г.Витебск.

На рис. 1 приведены механическая схема сложения векторов колебаний пьезоэлементов и схема их возбуждения, а на рис. 2 - диаграммы направленности излучающих ЭАП, формирующих продольные и поперечные акустические волны. Измерения характеристик направленности выполнены на образцах из оргстекла, расстояние между излучателем и приемным преобразователем составляло 140 мм. Режим возбуждения излучателей импульсный - «ступенькой» напряжения 50..300 вольт от тиристорного ключа по типовой схеме. В качестве активного элемента излучателя были использованы фрагменты многослойной структуры серийно выпускаемого пьезотрансформатора из пьезокерамики ЦТС-19 (толщина слоев 0,4..0,6 мм). Приемные преобразователи были изготовлены из однослойных пьезоэлементов 2×8×24 мм. И в излучающем, и в приемном ЭАП использовался поперечный пьезоэффект. Внутреннее пространство ЭАП заполнялось компаундом на основе эпоксидной смолы без отвердителя.

Выполненные измерения подтвердили эффективность рекомендаций, приведенных в [1, 2]. Из приведенных диаграмм видно: каждый преобразователь является одновременно источником обоих типов волн, максимумы излучения которых в пространстве однородного материала не совпадают: для касательных к поверхности образца перемещениях протектора ЭАП угол между максимумами диаграмм направленности составляет около 90° (рис.2.а), при нормальном возбуждении поверхности - около 45° (рис 2.б).



А – ЭАП с касательными колебаниями протектора;
 Б – ЭАП с нормальными к поверхности колебаниями.

Рисунок 2 – Диаграммы направленности ЭАП с СТК.

Диаграммы построены в масштабе относительно максимального значения уровня сигнала для исследуемого типа колебаний, абсолютные же уровни сигналов для различных конструкций датчиков и типов колебаний отличались в несколько раз. В качестве передающего и приемного ЭАП использовались идентичные преобразователи, используемые попеременно в качестве излучателя и приемника, что позволило попутно оценить влияние на характер диаграмм режима нагрузки приемного ЭАП. Оценка уровня сигнала производилась по амплитуде первого вступления сигнала приемного преобразователя. Испытуемый приемный преобразователь нагружался входным сопротивлением измерительного усилителя; измерения диаграмм направленности выполнялись при режимах к.з. и х.х. Заметных различий характера диаграмм, выходящих за пределы разброса массива отсчетов, выявлено не было.

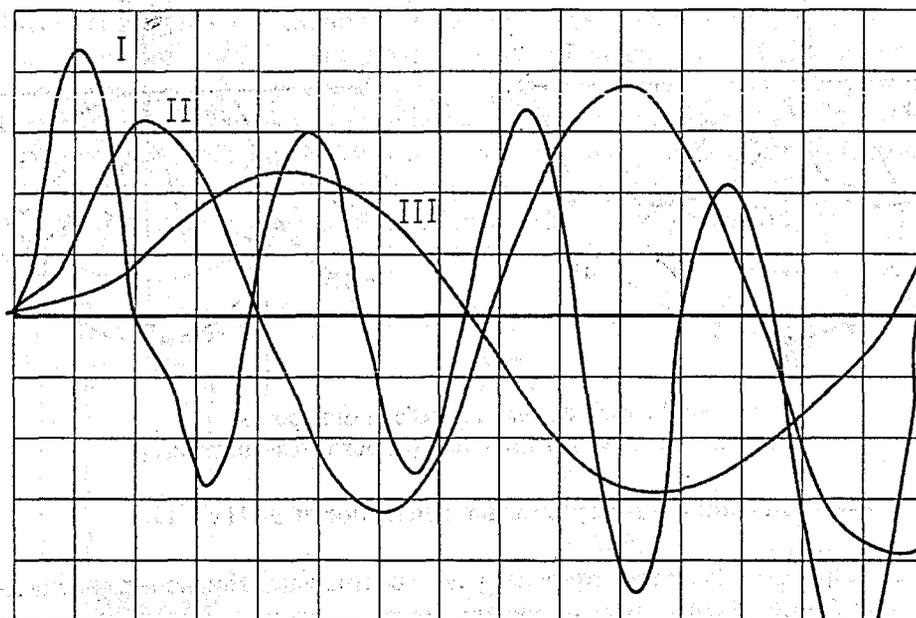
Значительный интерес может представлять ЭАП с касательными к поверхности колебаниями протектора (рис.2.а.), максимум излучения одного типа волн совпадает с минимумом другого, что позволяет осуществить пространственную селекцию объемных продольных и поперечных волн. Другим, не менее важным моментом является возможность временной селекции принимаемых волн. Это качество обусловлено малой длительностью импульсной характеристики ЭАП, составляющей 2..4 периода основных колебаний, что позволяет достаточно надежно различать сигналы различных типов волн на базах в пределах 200..300 мм.

Управление вектором поляризации упругих волн имеет ещё один аспект применения – для оценки трещин в бетонных изделиях. Определение глубины трещины на поверхности монолита, в соответствии с известной методикой, производится по разнице времени распространения акустического импульса в зоне раскрытия трещины и в стороне от нее. В процессе переизлучения колебаний от конца трещины может происходить трансформация характера волны: изменение её типа. Если не учитывать тип волны от излучателя достигающей конца трещины и формирующей переизлученную волну, что может иметь место при глубине трещины, соизмеримой с базой прозвучивания, то можно получить неверную оценку.

Кроме диаграмм направленности ЭАП, были выполнены работы по оценке частотных характеристик некоторых конструкций излучателей. Возможность управления частотным спектром зондирующего ультразвукового сигнала и частотная селекция принятого акустического импульса позволила бы получать дополнительную информацию о структуре бетона. Создание мультисоставных ЭАП позволило бы приблизиться к решению такой задачи. Типичные ЭАП, используемые в большинстве отечественных и зарубежных приборов ультразвукового контроля бетона, имеют выраженную резонансную характеристику, вершина которой соответствует рабочей частоте преобразователя.

На рис.3 приведены осциллограммы акустических импульсов, генерируемых «тонким» пьезоэлементом $2 \times 6 \times 24$ мм, представляющим собой многослойную структуру, возбуждаемую по толщине. Активной, «работающей», была торцевая грань, которая через протектор из эпоксидной смолы аку-

стически контактировала с измерительным, широкополосным преобразователем. Возбуждение исследуемого пьезоэлемента производилось импульсами 50 вольт, схемой рис.1.б. Статическая ёмкость элемента составляла 35 пФ, величина индуктивности дросселя L1 изменялась в пределах 50..1200 мкН.



I – L1 = 55 мкН, частота колебаний $f \approx 120$ kHz;
II – L1 = 220 мкН, частота колебаний $f \approx 60$ kHz;
III – L1 = 900 мкН, частота колебаний $f \approx 30$ kHz;

Рисунок 3 – Осциллограммы акустических сигналов (цена деления по горизонтали - 5 мкс)

Как видно из рис.3, частота колебаний акустического сигнала определяется частотой резонансного контура образованного емкостью пьезоэлемента и индуктивностью дросселя L1. Характерным для исследованного преобразователя является отсутствие выраженных резонансов в проверенном диапазоне частот. Вероятно, основные резонансы расположены значительно выше по частоте.

Проведенные работы позволяют сделать вывод, что многослойные пьезоструктуры позволяют конструировать эффективные ЭАП с возможностью управления вектором поляризации волны и частотой колебаний без заметного снижения амплитуды в 2-4-х кратном диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В. Н., Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г. Ультразвуковой низкочастотный преобразователь. - Патент РФ № 2082163. - Бюлл., изобр., 1997, № 17.
2. Shevaldykin V. G., Kozlov V. N., Samokrutov A. A. Inspection of Concrete by Ultrasonic Pulse-Echo Tomograph with Dry Contact. 7th European conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen, 26 - 29 May, 1998.

УДК 693.5/547.3

Bobko T.

MODELOWANIE ODPORNOŚCI MROZOWEJ BETONU W TECHNOLOGIACH ENERGOOSZCZĘDNYCH

Celem niniejszej pracy jest omówienie słabych miejsc w technologii betonowania zimowego oraz wskazanie wybranych metod modelowania powiązań między czynnikami natury fizyko-mechanicznej i cieplnofizycznej decydującymi o uzyskaniu przez twardniejący beton projektowanej odporności mrozowej.

Konsystencję mieszanki betonowej wywiera istotny wpływ na proces twardnienia betonu w temperaturach obniżonych i zimowych, dla tego sprawdzanie jej powinno odbywać się przynajmniej dwukrotnie: po raz pierwszy w okresie czasu wytwarzania i transportu mieszanki betonowej; a, po raz drugi