

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов Е.М. Уровни организации и иерархия структуры строительных композитов в строительных конструкциях / сборник статей по материалам 7-й международной научной конференции «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» том 2: Воронеж, 2013 – с.129-164.
2. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
3. Долговечность конструкций из бетона и железобетона: учебное пособие для студентов / А. В. Ферронская. - Москва: Изд-во Ассоц. строительных вузов (АСВ), 2006. - 335 с.
4. Чернышов Е.М. Уровни организации и иерархия структуры строительных композитов в строительных конструкциях / сборник статей по материалам 7-й международной научной конференции «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» том 2: Воронеж, 2013 – с.129-164
5. Коротких Д.Н. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук «Многоуровневое дисперсное армирование структуры мелкозернистого цементного бетона и повышение его трещиностойкости» – Воронеж 2001.

УДК 620.179.16

О МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ БЕТОНА

СНЕЖКОВ Д. Ю., КОНДРАТЕНКО А. А., ПОТЕС Т. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Ультразвуковой импульсный метод контроля является активным методом испытаний, основанным на существовании корреляции скорости распространения ультразвукового (УЗ) импульса и контролируемого физико-механического параметра бетона, в частности, - его прочности. В настоящее время порядок измерения скорости импульса (но не интерпретация полученного значения) регла-

ментируется двумя нормативными документами: ГОСТ 17624-2012 [1] и СТБ EN 12504-4 [3]. Сразу требует уточнения сам термин «скорость». Дело в том, что распространяясь в неоднородной среде ультразвуковой импульс изменяет свои параметры, что внешне выражается в изменении формы его временной диаграммы. Импульс, достигший приемного преобразователя, своей формой не будет идентичен излученному: как правило, возрастет его протяженность во времени, увеличится длительность фронта первого вступления, изменятся амплитудные соотношения отдельных полуволн колебаний. Связано это с тем, что более высокочастотные составляющие акустического импульса распространяясь отстают в неоднородной среде от низкочастотных. Типовой метод измерения скорости УЗ импульса основан на регистрации момента времени превышения его передним фронтом минимального порогового значения. Эта методика приводится в качестве примера в руководстве к приборам серии «Пульсар». Главным достоинством такой методики измерения является простота технической реализации. Кроме того, регистрация принятого импульса по фронту его первого вступления позволяет измерять скорость УЗ импульса в малоразмерных бетонных образцах, не опасаясь интерференции акустического сигнала с его переотражениями от граней образца.

Основным её недостатком является низкая эффективность использования энергии принятого акустического сигнала, так как основная энергия сигнала содержится в той его части, которая приходит на прием уже после достижения сигналом порогового значения [2,4]. Это обстоятельство затрудняет использование такой методики измерений при сильном затухании ультразвука, например, на больших базах измерения и «сухом» точечном контакте (СТК) преобразователей с бетоном, когда энергия шумов приемника может многократно превышать энергию первой полуволны сигнала.

Не менее важным обстоятельством при определении скорости УЗ импульса методом поверхностного прозвучивания является учет размеров «пятна» контакта преобразователя с бетоном. Если определять базу измерений как расстояние между центрами преобразователей, то результат определения скорости УЗ импульса будет несколько завышен, поскольку края преобразователя тоже участвуют в приеме и излучении колебаний. Причем на малых базах эффект завышения будет проявляться в большей степени.

Для сравнения значений скорости распространения УЗ импульса в малоразмерных образцах, была выполнена серия измерений ультразвуковым импульсным методом на образцах призмах 400x100x100 мм. Измерения скорости распространения ультразвука производились двумя методами – стандартным методом сквозного прозвучивания с регистрацией импульса по первому вступлению, и методом поверхностного профилирования по методике оценки дифференциальной скорости V_{diff} , определяемой из соотношения

$$V_{diff} = \frac{\Delta L}{\Delta T}, \quad (1)$$

где ΔL и ΔT – приращение базы измерения и соответствующее приращение времени распространения.

В таблице 1 приведены результаты испытаний по одной из призм из зрелого бетона класса по прочности С35/45. Измерения выполнялись при разных значениях коэффициента усиления приемного тракта прибора «Пульсар 2.2». Использовались штатные УЗ преобразователи с собственной частотой 60 кГц и вязким акустическим контактом с поверхностью бетона.

Таблица 1

	Скв. прозв.		Поверхн. профилирование				
	БАЗА		БАЗА			Дифф. БАЗА	
	400 mm	200 mm	200 mm	120 mm	120 mm	80 mm	
Kyc=16000	V, м/с	T, мкс	V, м/с	T, мкс	V, м/с	Tдифф, мкс	Vдифф, м/с
T0, мкс	3976	48,9	4089,98	28,6	4195,804	20,3	3940,9
T1_0, мкс		58,3		36,6		21,7	3686,6
T2_0, мкс		65,1		42,9		22,2	3603,6
Kyc=4096							
T0, мкс	3992	49,8	4016,064	29,6	4054,054	20,2	3960,4
T1_0, мкс		58,2		35,6		22,6	3539,8
T2_0, мкс		65,2		43		22,2	3603,6
Kyc=1024							
T0, мкс		49,6	4032,258	29,7	4040,404	19,9	4020,1
T1_0, мкс		57,6		35,9		21,7	3686,6
T2_0, мкс		64,3		42,4		21,9	3653,0
Ср.знач.	3984,0		4046,1		4096,8		3973,8

Методом профилирования получены два значения дифференциальной скорости – первое (3974 м/с, см. таб.1) при регистрации УЗ импульса по первому вступлению на минимальном пороге, второе –

3744 м/с - по трем характеристическим точкам временной диаграммы акустического сигнала (см. рис. 3). Это позволяет приблизить оценку скорости к значению групповой скорости распространения ультразвукового импульса. Характерным для всех случаев измерений является практическое совпадение оценки скорости по данным сквозного прозвучивания на минимальном пороге регистрации первого вступления – 3984 м/с, и полученного дифференциального значения V_{diff} методом профилирования, при регистрации импульса по первому вступлению - 3973 м/с; расхождение не превысило 0,3%. При этом, полученное значение скорости превосходило значение групповой скорости – 3744 м/с – на 6%. Подтвердилось предположение о завышении оценки скорости УЗ импульса при поверхностном прозвучивании: для базы 200 мм показатель скорости составил 4046 м/с, для базы 120 мм – 4097 м/с. Расчет дифференциального значения скорости распространения УЗ импульса автоматически компенсирует указанную погрешность.

Измерение скорости распространения ультразвукового импульса в крупноразмерном бетонном элементе

На рис. 1 показана разметка точек установки ультразвуковых преобразователей на фундаментном блоке

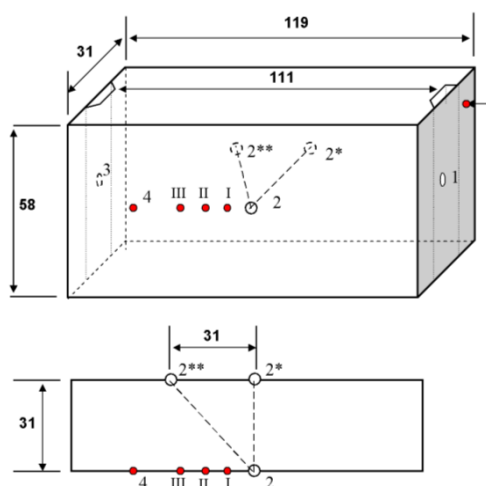


Рис. 1 Разметка позиций установки акселерометра и ультразвуковых ЭАП

Измерения выполнялись классическим методом сквозного прозвучивания – точки 2 и 2*; методом диагонального прозвучивания – точки 2 и 2**; методом поверхностного профилирования – точка 2 и точки I, II, III, 4. Определение времени распространения ультразвукового импульса производилась по результатам обработки оцифрованного акустического сигнала средствами MS Excel. Регистрация акустического сигнала для всех позиций установки преобразователей производилась дважды – при двух значениях коэффициента приемного тракта прибора «Пульсар-2.2»: 64 и 8192. Предварительно выполнялась калибровка прибора по штатной процедуре на калибровочном образце с эталонным временем пробега ультразвукового импульса 53,4 мкс. Этот же сигнал после оцифровки использовался для установления соответствия его временных параметров полученному отсчету времени на калибровочном образце.

Характеристические точки регистрации продольной волны УЗ импульса показаны на рис. 2.

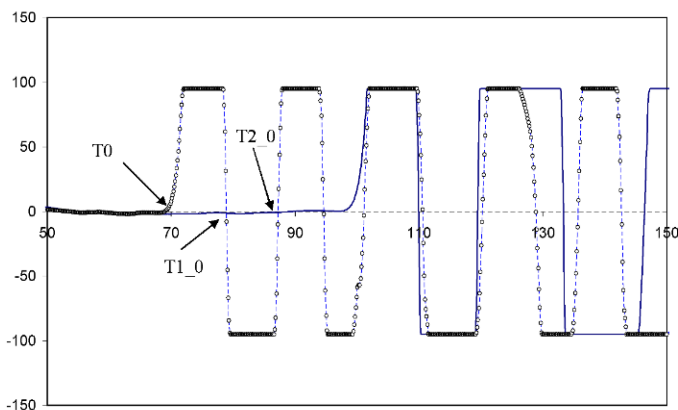


Рис. 2 Ультразвуковые сигналы для позиций 2 – 2* и 2 – 2**

Точка T_0 соответствует моменту превышения первым вступлением минимального порога регистрации. Точка T_{1_0} – моменту перехода через ноль первой полуволны импульса. Точка T_{2_0} – моменту перехода через ноль второй полуволны импульса.

На рис. 3 приведены данные измерения скорости ультразвукового импульса, полученные методом поверхностного профилирова-

ния. Значительный диапазон вариации скорости ультразвука для «классического» профилирования от 3800 м/с до 4300 м/с можно объяснить неоднородностью упруго-прочностных свойств бетонного массива по глубине. При увеличении базы измерения захватываются более глубокие слои бетона, имеющие большую скорость распространения. Показатель дифференциальной скорости имеет более стабильные значения, приближающиеся к скорости сквозного прозвучивания, что указывает на эффективность данной методики при измерениях на различающихся базах. Скорость распространения ультразвуковой продольной волны по данным сквозного прозвучивания составляет 4460 м/с. Среднее дифференциального значения скорости распространения по данным метода профилирования составило 4453 м/с, что хорошо согласуется с результатом сквозных измерений.

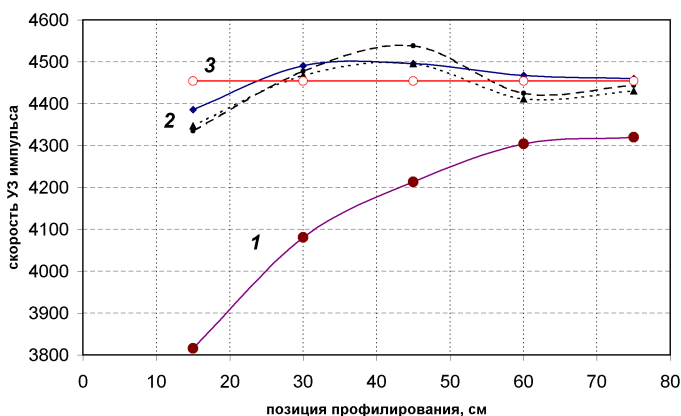


Рис. 3 Значения скорости распространения ультразвукового импульса метода профилирования для позиций 2 – I, II, III, IV, 4 (рис. 2): 1 – «классическое» профилирование, 2 – профилирование с определением дифференциальной скорости; 3 – сквозное измерение для позиций 2 – 2*

Заключение. Значения скорости распространения ультразвукового импульса в исследованных конструкционных бетонах классов по прочности С30/37, С35/45 зависят от метода его регистрации в приемном тракте прибора.

Согласующиеся значения показателей скорости распространения УЗ импульса достигается для метода сквозного прозвучивания и

метода профилирования с оценкой дифференциального значения скорости.

Подтверждена метрологическая эффективность использования дифференциального значения скорости распространения ультразвукового импульса при использовании метода поверхностного профилирования бетона. Использование этого показателя ультразвукового метода позволяет снизить влияние поверхностного слоя бетона при оценке скорости распространения ультразвука и приблизить этот показатель к значению скорости для сквозного прозвучивания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-2012. – Введ. (в РБ) 01.01.2016. – М.: 2014. – 16 с.

2. Ковалев, А.В. Импульсный эхо-метод при контроле бетона. Поверхности и пространственная селекция / А.В. Ковалев, В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов // Дефектоскопия. – 1990. - № 2. - С. 29-41.

3. Методы контроля бетона в конструкциях: СТБ EN 12504-4-2014, Часть 4. Определение скорости распространения ультразвукового импульса – Введ. 01.01.2015. Госстандарт, Минск, 2014. – 15 с.

4. Снежков, Д.Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович - Минск: БНТУ, 2016. - 330 с.

УДК 620.179.1

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСА И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

СНЕЖКОВ Д. Ю., КОНДРАТЕНКО А. А., ПОТЕС Т. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Одна из основных причин интереса к использованию акустических методов заключается в том, что свойства материалов, определяющие возбуждение и распространение механических колебаний, тесно связаны с их физико-механическими характеристиками.