

УДК 691.327

Леонovich С.Н., Мулярчик В.С., Снежков Д.Ю.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА В ПРИБОРАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ГЛУБИНЫ УСАДОЧНЫХ ТРЕЩИН МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

В ходе натурных испытаний по определению глубины трещин в монолитных ж/б изделиях ультразвуковым методом (прибор УК1401), авторами получены данные, результаты которых требовали уточнения и проверки. Во-первых, необходимо было уточнить диапазон применимости типовой методики оценки глубины трещин в бетоне; во-вторых – выяснить возможность применения сухого акустического контакта для оценки глубины трещин. Авторы выполнили несколько серий акустических измерений на модели трещины, при различных её глубинах и различных режимах измерения.

Модель трещины и принцип проверки результатов, полученных ультразвуковым методом, показаны на рис. 1.

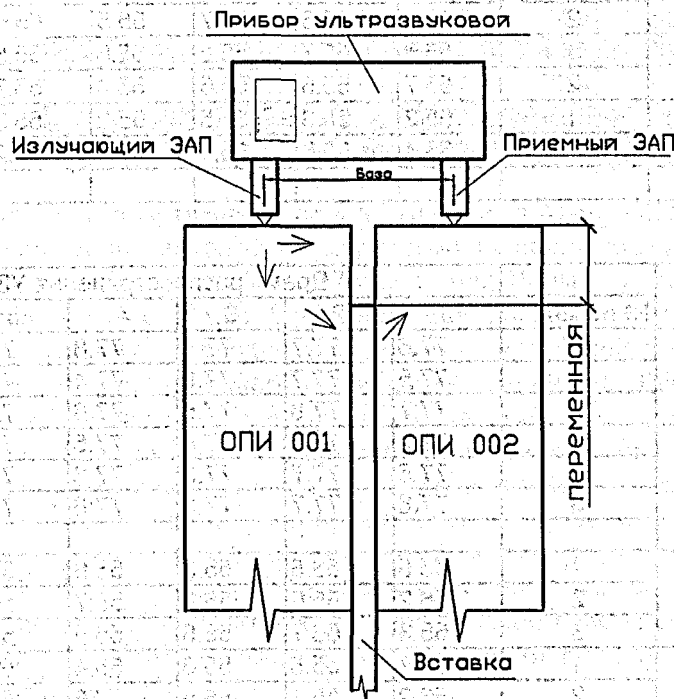


Рисунок 1 – модель трещины

Модель состоит из двух основных и вспомогательной части. Основные части – два образца из оргстекла с близкими характеристиками и, в частности, по времени прохождения ультразвука в среде образцов (см. табл. 1).

Среднее время прохождения ультразвука в среде образца ОПИ 001 в зависимости от поверхности составило от 55,19 мкс – для постели (широкой грани) до 55,72 мкс – торец 1 (узкая грань), аналогично для образца ОПИ 002 – от 55,29 мкс до 55,58 мкс.

Вспомогательный элемент – вставка, также выполнен из оргстекла, его толщина 3 мм, что значительно меньше толщины основных образцов. Вспомогательный элемент (см. рис. 1) помещен между основными элементами таким образом, чтобы оставалась возможность его смещения от краев элементов, что, в свою очередь, позволяло имитировать трещину различной глубины либо процесс развития трещины.

Для обеспечения хорошего контакта образцов между собой и со вспомогательным образцом поверхности элементов смазывались контактным составом. Однако для большей уверенности в чистоте эксперимента предварительно были проведены измерения времени распространения ультразвука в среде и между образцами без контактной смазки (см. табл. 2), только после этого выполнены измерения при наличии смазки (см. табл. 2).

Из результатов эксперимента (табл. 2) видно, что простое соприкосновение поверхностей образцов не дает желаемого результата – создания монолитного (единого) образца при отсутствии контактного состава, в то время как наличие контактного состава обеспечивает плотный контакт элементов, и время прохождения ультразвуком сред двух образцов соответствует времени прохождения в каждом из образцов в отдельности.

Таблица 1

Необразца		№ испыт.	Время распространения УЗК (мкс)						
			1	2	3	4	5	средн.	средн.
ОПИ 001	Торец 1	1	55.7	55.8	55.5	56	55.7	55.74	55.72
		2	55.8	55.7	55.6	55.9	55.5	55.7	
	Торец 2	1	55.5	55.8	55.5	55.9	55.7	55.68	55.7
		2	55.4	55.9	55.8	55.7	55.8	55.72	
	Постель 1	1	55.2	55.4	55.1	55.3	55.1	55.22	55.19
		2	55.1	55	55.3	55.2	55.2	55.16	
ОПИ 002	Торец 1	1	55.5	55.6	55.5	55.6	55.7	55.58	55.57
		2	55.4	55.6	55.7	55.5	55.6	55.56	
	Торец 2	1	55.6	55.7	55.5	55.6	55.5	55.58	55.58
		2	55.7	55.5	55.6	55.4	55.7	55.58	
	Постель 1	1	55.2	55.3	55.5	55.2	55.3	55.3	55.29
		2	55.4	55.5	55.1	55.2	55.2	55.28	

Таблица 2

№ образца		№ испыт.	Время распространения УЗК (мкс)						
			1	2	3	4	5	средн.	средн.
ОПИ 001 + ОПИ 002	Торец 1	1	77.6	77.7	77.4	77.8	77.6	77.62	77.64
		2	77.5	77.7	77.9	77.4	77.6	77.62	
		3	77.7	77.8	77.5	77.6	77.8	77.68	
	Торец 2	1	77.9	77.8	77.4	77.5	77.6	77.64	77.65
		2	77.5	77.7	77.8	77.3	77.5	77.56	
		3	77.8	77.7	77.8	77.6	77.8	77.74	
ОПИ 001 + конт. состав + ОПИ 002	Торец 1	1	55.5	56.5	55.3	55.6	56.3	55.84	55.71
		2	56.2	55.6	55.9	55.7	55.6	55.8	
		3	55.3	55.7	55.5	55.6	55.4	55.5	
	Торец 2	1	55.7	55.5	55.6	55.4	56.1	55.66	55.71
		2	56.2	55.3	55.5	56	55.3	55.66	
		3	55.4	55.5	56.2	55.8	56.1	55.8	

Аналогично эксперименты повторили с условием взаимодействия основных элементов со вспомогательным.

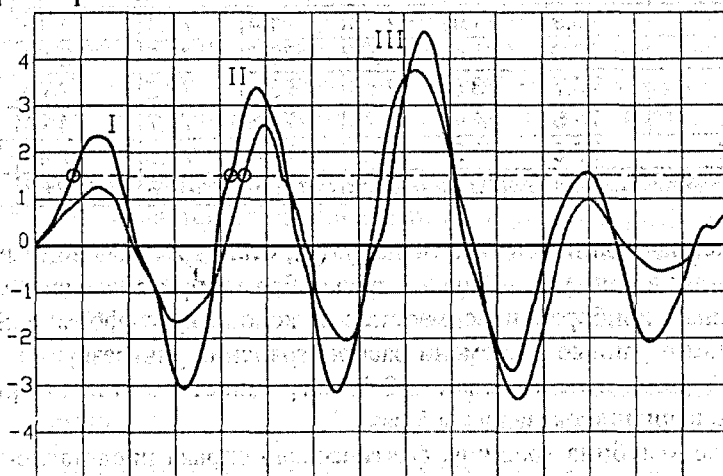
Устранив проблему создания монолитного (единого) образца из трех составных, были выполнены эксперименты по измерению времени прохождения ультразвуком среды при наличии трещин различной глубины (см. табл. 3).

Для каждой глубины трещины опыт проводился несколько десятков раз, так что представленные значения в колонках табл. 3 уже являются усредненными значениями. В колонке средних значений приведены средние значения по всему эксперименту для каждой глубины трещины. Средние значения рассчитывались также с учетом отбрасывания максимальных и минимальных значений при каждом измерении. Как и ожидалось, с появлением трещины время прохождения ультразвуком среды увеличилось, и по мере увеличения глубины трещины увеличивалось и время. Так при отсутствии трещины среднее время равно 55,1 мкс, с трещиной в 6 мм глубиной это время составило 56,74 мкс, с трещиной глубиной 41 мм – 77,48 мкс. Данные табл. 3 свидетельствуют о плавном нарастании продолжительности прохождения ультразвуком среды при глубинах трещин от 0 до 7 мм и от 11 мм до 36 мм.

Таблица 3

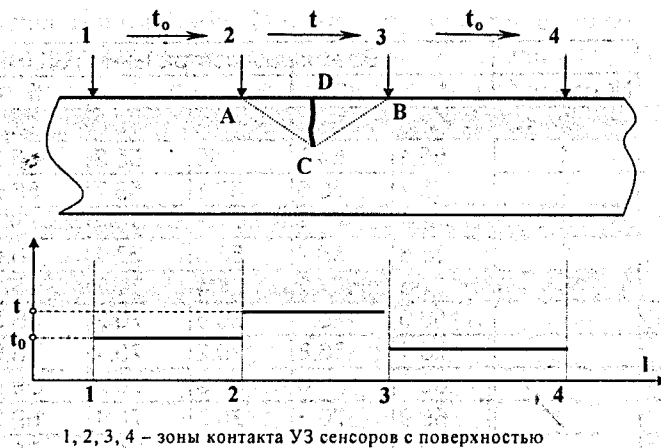
Глубина трещины, мм	№ испыт.	Время распространения УЗК (мкс)					средн.
		1	2	3	4	5	
0	2	55.6	55.8	56.2	55.8	56.6	56
	1	55.1	54.9	55	55.2	55.3	55.1
6	1	56.7	56.6	57.1	56.7	56.6	56.74
	2	70.9	71.1	71.3	70.8	71	71.02
7	1	56.8	56.7	56.6	57.1	56.8	56.8
	2	71.6	71.5	71.4	71.7	71.5	71.54
8		56.9	70.1	56.6	70.2	56.5	
10		70.1	56.8	70.2	70.1	56.9	
11		69.8	70	69.9	70.2	69.9	69.96
16		69.9	70.3	70.2	70.4	69.9	70.14
21		70.9	71.1	71.3	71.4	71.1	71.16
26		72.6	72.4	72.5	72.6	72.5	72.52
31		73.7	73.5	73.6	73.2	73.5	73.5
36	1	74.5	74.7	75	74.8	74.7	74.74
	2	90.4	90.7	91.1	90.6	90.8	90.72
41	1	77.5	77.2	77.8	77.4	77.5	77.48
	2	92.3	92.4	92.5	92.2	92.4	92.36
	3	109.4	110.1	109.5	109.6	109.8	109.68

В интервале значений глубины трещины от 8 до 10 мм и от 41 мм наблюдаются скачки значений времени при одном измерении с явной закономерностью. Если при трещине в 8 мм на 6 значений лишь 2 превышают 70 мкс, а остальные не более 57 мкс, то при 10 мм на 6 значений только 2 не превышают 57 мкс, а 4 значения выше 70 мкс. В среднем разность между значениями составляет 13-14 мкс, что примерно соответствует периоду ультразвуковых колебаний в оргстекле. При глубине трещины в 11 мм не зафиксировано ни одного значения меньше 69 мкс. Такое явление может быть вызвано процессом затухания амплитуды колебаний волны так, что в результате значение амплитуды первого периода становится меньше значения порога чувствительности прибора. Как следствие этого, первое вступление «проскакивает» незамеченным, прибор улавливает второе вступление волны, пропуская первое. В результате, отсчет времени прохождения ультразвуковой волны скачком увеличивается (см. рис. 2). Чередование «правильных» и «неправильных» отсчетов времени в пограничной ситуации может быть обусловлено как влиянием шумов приемного тракта, нестабильностью акустического контакта, так и возможной автоматической перестройкой чувствительности или алгоритма фиксации приемного тракта прибора. К сожалению, подробными техническими характеристиками прибора УК1401 авторы не располагают.



I – первое вступление ультразвукового сигнала; II – второе вступление ультразвукового сигнала; III – третье вступление ультразвукового сигнала (цена деления развертки по горизонтали – 3 мкс);

Рисунок 2 – Осциллограммы сигнала приемного тракта ультразвукового прибора при различных значениях затухания в тракте



1, 2, 3, 4 – зоны контакта УЗ сенсоров с поверхностью

Рисунок 3 – Оценка глубины трещины по времени прохождения УЗК.

Глубина трещин определялась путем сравнения времени t_0 распространения у-з. колебаний в области ненарушенного бетона и t – в области трещины (см.рис.3), по формуле (1), в соответствии с известной методикой.

$$DC = \frac{B}{2} \sqrt{\left(\frac{t^2}{t_0^2} - 1\right)}, \quad (1)$$

где DC – глубина трещины; B – база прозвучивания.

Расчетные значения величины трещин (глубины) на основе экспериментальных данных в лабораторных условиях исходя из показаний ультразвукового прибора представлены в табл. 4.

Таблица 4

Глубина трещины фактическая, мм	№ испыт.	Время распространения УЗК (мкс)					средн.	Глубина трещины расчетная, мм	
		1	2	3	4	5			
0		55.1	55.4	55.5	55.2	55.3	55.3	0	
6		56.7	56.6	57.1	56.7	56.6	56.74	17	
7		56.8	56.7	56.6	57.1	56.8	56.8	17	
8		56.9	70.1	56.6	70.2	56.5		18	
10		70.1	56.8	70.2	70.1	56.9		18	
11		69.8	70	69.9	70.2	69.9	69.96	58	18
16		69.9	70.3	70.2	70.4	69.9	70.14	59	19
21		70.9	71.1	71.3	71.4	71.1	71.16	61	24
26		72.6	72.4	72.5	72.6	72.5	72.52	64	29
31		73.7	73.5	73.6	73.2	73.5	73.5	66	33
36		74.5	74.7	75	74.8	74.7	74.74	68	37
41	1	77.5	77.2	77.8	77.4	77.5	77.48	74	44
	2	109.4	110.1	109.5	109.6	109.8	109.68	128	

Анализируя полученные данные в табл. 4 по ф. (1), становится очевидным высказанное ранее предположение о затухании волны ультразвука в среде образца при проведении опыта с применением сухого контакта датчиков прибора с поверхностью. Руководствуясь формулой 1 и простой геометрией, получены искаженные данные о времени распространения ультразвука в среде с явным завышением как минимум в 2 раза, что составляет 100 % погрешности. А в некоторых случаях, при глубине трещины в 11 мм, завышение оказалось в 5 раз.

В табл. 4 в колонке «глубина трещины фактическая» справа представлены значения глубины трещин, близкие к истинным. Средняя погрешность глубины трещины не превышает 15 %. Эти значения получены путем корректировки ф. (1).

$$DC = \frac{B}{2} \sqrt{\left(\frac{(t - n \cdot T)^2}{t_0^2} - 1\right)}, \quad (2)$$

где T – период акустического сигнала; $n = 0, 1, 2$;

Основой коррекции формулы (1) является сокращение оценки времени прохождения ультразвуком среды образца на величину, кратную периоду колебаний. Такая операция правомерна, если учитывать, что при увеличении пути прохождения волны в среде происходит процесс затухания самой волны (рис. 2). В данном случае при глубине трещины 11-36 мм временной скачек (как говорилось ранее) составил 13 мкс, что равно периоду колебаний частотой 76кГц. Удалив эту потерю времени из общего интервала времени волны, и стало возможным получить значения глубины трещины, близкие к фактическим.

Однако не следует забывать, что с дальнейшим увеличением пути прохождения волны коррекция времени может потребовать большего значения. Так, при глубине трещины 41 мм зафиксированные значения времени во 2 испытании (табл. 4) отличаются уже на 32 мкс от 1-ого испытания, которое, в свою очередь, требует корректировки на 13 мкс. Подставив данные в формулу 1, с учетом поправок в формуле 2, получим глубину трещины, равную 44,5 мм, что отличается от фактического значения лишь на 9 %.

Следует отметить также, что еще одним недостатком сухого контакта датчиков прибора с поверхностью, выявленным в процессе эксперимента, является зависимость результатов от усилий прижима датчиков к поверхности, что является косвенным подтверждением правомерности коррекции формулы 1 на величину нескольких периодов зондирующих колебаний. Результаты зависимости представлены в табл. 3. Опыты под номерами 1 проводились при прижиге контактов к поверхности с усилием не менее 2,5 кг, в то время как в опытах под номерами 2 осуществлялись без усилий прижатия контактов к поверхности, а лишь под собственным весом прибора. В процессе передачи сигнала от прибора в среду происходит затухание волны, и чем плотнее осуществляется контакт излучателя и приемника прибора с поверхностью образца, тем меньше будут потери и затухание волны. Однако это представляет собой определенную проблему при проведении измерений на натуральных объектах, когда не всегда возможно достаточно сильно прижать прибор к поверхности.

Исходя из изложенного, можно констатировать, что применение сухого акустического контакта в приборах ультразвукового метода контроля создает некоторые трудности при оценке глубины раскрытия трещин в бетоне. Существующая методика оценки глубины трещин требует доработки с учетом особенности различных ультразвуковых приборов контроля.

ВЫВОДЫ

Приборы с сухим акустическим контактом, в частности УК1401, реализующие метод поверхностного прозвучивания обладают высокой чувствительностью к поверхностным, усадочным трещинам; позволяют обнаруживать «волосяные», практически незаметные для визуального контроля.

Для оценки глубины трещин по данным контроля прибором УК1401 необходимо вносить значительные коррективы.

Дополнительное затухание акустического сигнала, вносимое трещиной, в зависимости от её глубины, вносит систематическую ошибку, кратную периоду колебаний при измерениях времени прохождения. Для модели из образцов оргстекла, что по акустическим параметрам близко к тяжелому бетону низких марок (5,0 ..10,0 Мпа), необходимость коррекции отсчетов возникала при глубине трещин 10..15 мм и выше.

Одним из факторов быстрого роста затухания акустического сигнала прибора УК1401 по мере увеличения глубины трещин является специфика работы акустических преобразователей, формирующих продольную подповерхностную волну (вдоль поверхности изделия) и поперечную волну в направлении нормальном к поверхности. В результате чего, чувствительность прибора к продольным волнам снижается по мере поворота вектора направления распространения волны, что имеет место с ростом глубины трещины.

Представляется перспективным использование электроакустических преобразователей с управляемым вектором поляризации волны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по эксплуатации ультразвукового бетон-тестера УК1401. ООО Акустические Контрольные Системы, г. Москва, 2003г.
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.