

их пригодности к эксплуатации. Основные требования: ТКП 45-1.04-208–2010 (02250).

9. Здания и сооружения. Оценка физического износа: ТКП 45-1.04-119–2008 (02250).

10. Пособие П1-03 к СНиП 3.04.01–87 Смеси растворные и растворы строительные: – МАиС Республики Беларусь, Минск, 2003.

11. Рекомендации по расчету и конструированию зданий с применением несущих и ограждающих конструкций из ячеистого бетона / БелНИИС. – Минск, 1997.

12. Рекомендации по проектированию эффективных конструкций наружных стен из мелкоштучных кладочных материалов / БелНИИС. – Минск, 1996.

УДК 691.32:620.179.16:006.057

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕТОНА:
АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ
НОРМАТИВОВ
СНЕЖКОВ Д. Ю.**

Белорусский национальный технический
университет Минск, Беларусь

До 2014 г. ультразвуковой контроль прочности бетона в Республике Беларусь регламентировался ГОСТ 17624–87 – «Бетоны: Ультразвуковой метод определения прочности», который за время своего существования пережил несколько редакций, последняя из которых – от 01-01-2014 – была введена в нашей республике в 2016 г. С 22 мая 2014 г в Республике Беларусь введен в действие СТБ EN 12504-4 [3] – «Методы контроля бетона в конструкциях – Часть 4: Определение скорости распространения ультразвукового импульса», идентичный европейскому стандарту EN 12504-4:2004 «Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit» (Испытание бетона в конструкциях. Часть 4: Определение скорости ультразвука). EN 12504-4 является четвертым документом в серии EN 12504, включающей в себя:

– часть 1. Цилиндрические образцы. Отбор, проверка и проведение испытаний на сжатие;

— часть 2. Неразрушающее испытание. Определение величины отскока;

— часть 3. Определение усилия вырыва (анкера);

— часть 4. Определение скорости ультразвука.

Часть 1 – введена в 2013 году - дублирует ГОСТ 28570, части 2 и 3 – введены в 2015 г. – аналоги СТБ 2264.

В связи с «усилением» ультразвукового направления испытаний внедрением Евростандарта представляет интерес выяснить, - что полезного приобретено. Первое различие в названиях СТБ EN 12504-4 и ГОСТ 17624–2012 [1] отражает различие областей применения. Если ГОСТ 17624–2012 ориентирован исключительно на определение прочности бетона, то СТБ EN 12504-4 «... устанавливает метод определения скорости распространения продольных ультразвуковых волн во время прохождения импульсов ультразвука в бетоне для определенных областей применения.». Одной из областей применения, как указано в тексте документа, является оценка прочностных свойств образцов бетона или элементов бетонных конструкций. Кроме того, измерение скорости распространения ультразвукового импульса допускается применять для оценки однородности бетона, наличия или появления трещин и полостей, изменений показателей бетона с течением времени, а также для определения его характеристик при колебательных процессах. То есть, заявляемая область применения СТБ EN 12504-4 значительно шире, и включает в себя традиционное определение прочности бетона опционально, наряду с рядом других акустических методов испытаний.

Если сравнивать СТБ EN 12504-4 с ГОСТ 17624 в области контроля прочности бетона, то они будут сопоставимы лишь в части требований методики проведения испытаний: выбора мест установки преобразователей, учета влияющих факторов, а также точности измерений косвенного параметра «время-скорость» распространения ультразвукового импульса, и некоторых общих рекомендаций методики измерений косвенного параметра. Вопросы перехода от косвенного параметра к показателям прочности контролируемого бетона: детализация методики построение градуировочных зависимостей, статистическая обработка данных, расчет характеристической прочности бетона остаются за пределами сферы регламентации СТБ EN 12504-4, эту функцию выполняет СТБ EN 13791 [2] (рис. 1).

В отличие СТБ EN 12504-4 в этой части, ГОСТ 17624 является «самостоятельным» документом.

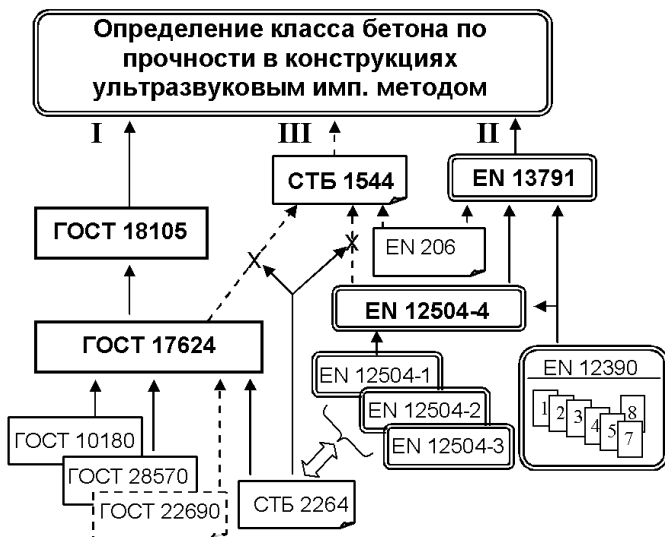


Рис. 1. Структура нормативов для определения класса бетона конструкций ультразвуковым импульсным методом:
 I – на основе норм РФ; II – на основе норм Евросоюза;
 III – с использованием национальных стандартов

Несмотря на «ширину охвата» областей применения СТБ EN 12504-4 и его, в целом, рекомендательный характер, несколько страным выглядит стремление разработчиков данного документа детально регламентировать техническую сторону измерений скорости распространения ультразвука, причем в ущерб этой самой «ширине охвата».

Имеются в виду следующее.

1. В отличие от ГОСТ 17624–2012, в котором не оговаривается тип используемой волны, а также временные и энергетические показатели формируемого излучаемого ультразвукового импульса, в СТБ EN 12504-4 указано на использование только продольного типа волны, а также (в п. 5.2) – требования к возбуждающему

электрическому импульсу. Такое функциональное ограничение ничем не оправдано. Единственным аргументом в его защиту может служить упрощение процедуры (и аппаратуры) выявления и регистрации принятого ультразвукового импульса, – самый первый появившийся сигнал – сигнал продольной волны. Никаких специальных мер его селекции не требуется. Это была распространенная практика конструирования УЗ приборов для контроля бетона в 70–90 годах 20 века. Существующие современные приборы позволяют реализовать многоволновые методы испытания бетона [4], что способствует информативности контроля, в частности, для целей дефектоскопии бетона – приборы А1040 «Мира», А1220 «Монолит» - используют поперечный тип волны.

2. Методика регистрации времени распространения ультразвукового импульса. Она регламентирована п. 5.4 – *«Прибор должен определять время поступления фронта первого импульса при минимальном предельном значении, даже если амплитуда значительно меньше амплитуды первой полуволны импульса»*. Содержание этого пункта искажено неудачным переводом¹. Вероятно, подразумевается типовая методика регистрации принятого ультразвукового импульса по моменту превышения его передним фронтом минимального порогового значения (рис. 2).

Регистрация принятого акустического импульса по фронту первого вступления использовалась в устаревших автоматических измерителях скорости/времени ультразвукового импульса: УК-12, УК-14, УК-16 и аналогичных. Эта же 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.

¹ Нельзя считать удачным перевод и ряда других используемых в EN 12504-4 терминов. К таковым относятся термины: не прямое, полупрямое (прозвучивание). В сложившейся практике ультразвуковых испытаний бетона используются термины – поверхностное, сквозное, диагональное (прозвучивание), их и следовало бы использовать, добавляя в скобках термин на языке оригинала.

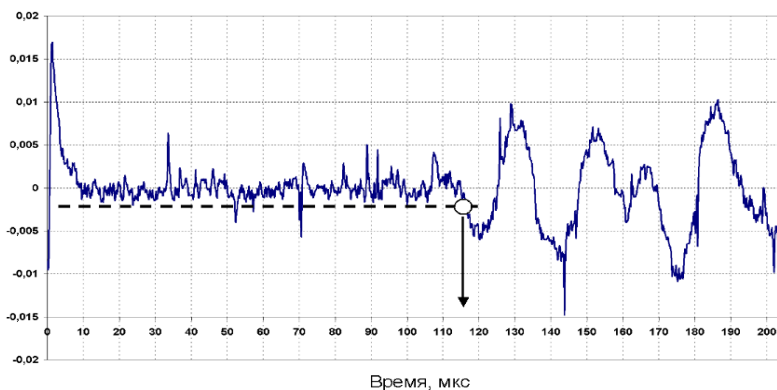


Рис. 2. Временная диаграмма одиночного акустического сигнала в среде с сильным затуханием

Основным ее 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. 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. На рис. 2 приведена типичная временная диаграмма сигнала приемного ультразвукового преобразователя с СТК, полученная при измерениях времени распространения ультразвукового импульса в бетоне на базе 40 см.

На полезный принятый сигнал частотой ~ 50 кГц накладывается помеха, обусловленная, главным образом, тепловыми шумами усилительного тракта прибора. Визуально (см. рис. 2), момент времени соответствующий появлению фронта первого вступления сигнала можно ориентировочно определить как 115–117 мкс, принимая в рассмотрение первую отрицательную полуволну. Причем указанное значение будет регистрироваться со значительной случайной погрешностью – порядка единиц микросекунд – из-за «дрожа-ния» фронта под влиянием теплового шума. Неисключенная систематическая составляющая погрешности измерения, обусловленная

маскированием шумами «настоящей» первой (положительной) полуволны сигнала, имеющей амплитуду меньшую, чем уровень шумов, составляет, как показано ниже, около 13 мкс.

Таким образом, по данному пункту требования СТБ EN 12504-4 также нельзя считать конструктивными, так как они вводит ограничение на использование иных методик регистрации принятого акустического импульса, которых на данный момент в мире запатентовано несколько десятков. В частности, известны методики, базирующиеся на корреляционной обработке принятого импульса, обеспечивающие эффективный прием слабых сигналов искаженных шумами. Алгоритм корреляционной обработки [4] заключается в сопоставлении принятого сигнала с сигналом принятым в качестве образца. В качестве критерия совпадения принимается максимальное значение корреляционной функции $R(T)$ вычисляемой по формуле

$$R(T) = \int_0^{\tau} U(t) \Psi(t-T) dt, \quad (1)$$

где T, t – параметры имеющие размерность времени;

τ – длительность образцового сигнала $\Psi(t)$;

$U(t)$ – принятый сигнал.

На рис. 3 показаны результаты расчетов корреляционной функции для принятого ультразвукового сигнала, показанного на рис. 2.

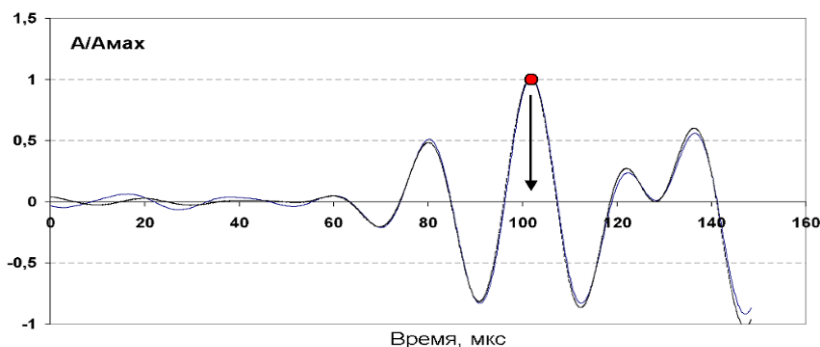


Рис. 3. Диаграмма корреляционной функций

Максимального значения корреляционная функция $R(T)$ достигается для отсчета времени $T = 102$ мкс, что соответствует моменту

появления сигнала на приеме. Неопределенность момента регистрации составляет $\pm 0,2$ мкс. Качественное улучшение результата измерений в сравнении с рис. 2 очевидно и обусловлено, как уже упоминалось, полным использованием энергии принятого сигнала.

Таким образом, с позиций метрологических СТБ EN 12504-4 соответствует уровню техники и технологии обработки данных ультразвуковых испытаний бетона 80-х годов прошлого века. Как ни парадоксально звучит, лучше бы было не касаться указанных вопросов. Именно так поступили составители ГОСТ 17624, оставив узкие технические вопросы разработчикам ультразвуковой аппаратуры, сформулировав лишь общие требования к подготовке процедуры измерений и требования к предельным значениям погрешностей, и акцентировав внимание на обработке данных. Надо заметить, что требования точности при измерении косвенных параметров по ГОСТ 17624 более жесткие, чем по СТБ EN 12504-4.

Позитивным в СТБ EN 12504-4 является регламентация приложением А метода поверхностного профилирования бетона (см. рис. 4), с построением профиля трассы прозвучивания². Профилирование позволяет снизить влияние эффекта частотной дисперсии на результат измерения времени распространения УЗ импульса.

² По неизвестной причине данная методика отсутствует в ГОСТ 17624, как в редакции 1987 года, так и в последней редакции 2012 года, хотя в более ранних редакциях этого стандарта методика профилирования была отражена.

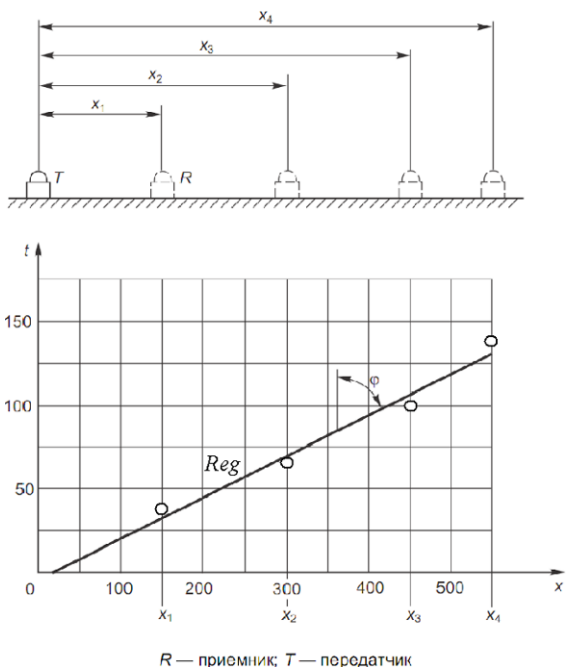


Рис. 4. Определение скорости распространения УЗ импульса методом профилирования:
Reg – линия регрессии; $V_{УЗ} = 1/\text{tg } \phi$

Кроме того, использование в качестве косвенного параметра дифференциального значения скорости распространения УЗ импульса $V_d = \Delta x / \Delta t$ [4], позволяет оценить состояние подповерхностных областей бетонного массива.

К положительным отличиям СТБ EN 12504-4 следует отнести рекомендации по учету влияния размеров испытательных образцов на результаты измерения времени-скорости распространения ультразвукового импульса (табл. 1). Положительным в данной рекомендации является сам факт ее наличия. В ГОСТ 17624 влияние размеров испытательных образцов фактически игнорируется. Но приведенная таблица требует уточнения.

Таблица 1

Влияние поперечных размеров образцов на скорость
УЗ импульса

Частота преобразователя сигнала, кГц	Скорость распространения импульса в бетоне, км/с		
	$v_c = 3,50$	$v_c = 3,50$	$v_c = 3,50$
	Рекомендуемый минимальный поперечный размер испытываемого образца, мм		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

Скорость ультразвукового импульса зависит не от поперечного сечения испытательного образца, а от соотношения его поперечного S и продольного L размеров, и от методики регистрации времени распространения импульса. При $S/L \ll 1$ скорость снижается, по сравнению с скоростью в объеме бетонного массива, стремясь в пределе к так называемой стержневой скорости, рассчитываемой по формуле

$$V_{st} = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}}, \quad (2)$$

где E_d – динамический модуль упругости бетона;
 ρ – его плотность.

Приведенные в табл. 1 данные справедливы для случая, когда поперечный и продольный размер образца величины одного порядка, а регистрация момента приема импульса производится по началу фронта его первого вступления (см. выше).

Заключение. Радикальных качественных отличий и новизны в практику испытаний бетона введение СТБ EN 12504-4 не внесло. В сравнении с ГОСТ 17624 содержание европейского документа носит в большей степени рекомендательный характер,. Некоторые пункты СТБ EN 12504-4 к настоящему времени потеряли актуальность.

Совместное действие СТБ EN 12504-4 и ГОСТ 17624 является следствием отсутствия четкой стратегической линии в модернизации нормативов (по крайней мере, в области неразрушающих испытаний бетона) в Республике Беларусь. Рассмотренные документы

являются составными частями разных самостоятельных систем нормирования, каждая из которых имеет свою структуру взаимосвязанных компонентов – отдельных документов, несовпадающих своим содержанием и внутренними связями с документами другой системы. В нашей республике действуют документы трех разных систем нормирования (см. рис. 1): национальные стандарты, отдельные стандарты Евросоюза и отдельные стандарты Российской Федерации, которые в значительной степени перекрывают друг друга, и по ряду позиций не согласуются. Вывод очевиден, какой-то системе следует отдать приоритет. Можно было ориентироваться на создание своей оригинальной системы нормативов, но дискутировать на эту тему уже поздно, идет заимствование «чужой» системы. Но «брать» ее надо целиком, а не «плавно» и постепенно заимствовать отдельные Евро-документы, не заботясь об их стыковке с действующими ТНПА и рассчитывая на то, что пользователь по инерции будет придерживаться какое-то время устоявшихся «старых понятий». Примером тому может служить СТБ EN 13791–2012 «Оценка прочности на сжатие бетона в конструкциях и сборных элементах конструкций», содержащий критерии соответствия прочности бетона в конструкциях заявляемому классу. Этими критериями СТБ EN 13791 не согласуется с действующим СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия».

К настоящему времени основные Евростандарты имеющие отношение к неразрушающим испытаниям бетона – EN 206, EN 12504, EN 12390, EN 13791 – постепенно введены в действие в РБ. Но продолжают действовать и ключевые российские ТНПА нормирующие эту область: ГОСТ 18105–2010, ГОСТ 10180–2012, ГОСТ 28570–90, ГОСТ 17624–2012. Между этими группами вклиниваются еще СТБ 1544 и СТБ 2264. Такое многообразие документов не прибавляет качества формируемой системе нормирования. Поэтому предстоит окончательно определяться, по каким нормативам работать, а какие выводить из употребления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях: СТБ EN 13791–2012. – Минск: Госстандарт - Введ. 10.02.2012. Госстандарт, Минск, 2012. – 18 с.

3. Методы контроля бетона в конструкциях. Часть 4. Определение скорости распространения ультразвукового импульса: СТБ EN 12504-4–2014 – 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 666.972.55

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ НА ПОРТОВЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

¹ШАЛЫЙ Е. Е., КИМ Л. В., ШАЛАЯ Т. Е., ²ЛЕОНОВИЧ С. Н.

*¹Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия*

*²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции зданий и сооружений подвергаются комплексу внешних воздействий: нагрузок, температур, агрессивных эксплуатационных сред и др. Совместное влияние их приводит к интенсивному развитию повреждений и сокращению срока службы железобетонных конструкций.

Разрушение железобетонных конструкций зависит от времени, в течение которого происходят химические и физические процессы. Изучив различные процессы коррозии железобетона и влияющие на них факторы (свойства материалов, внешние условия и др.), можно оценить срок службы железобетонных конструкций.

При эксплуатации гидротехнических сооружений одним из основных факторов коррозии железобетона является пагубное воздействие хлоридов морской воды на защитный слой. Хлориды,