

---

## О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений



**Штенгель  
Вячеслав  
Гедалиевич**

Ведущий научный  
сотрудник, к. т. н.

В современных строительных технологиях, позволяющих возводить уникальные сооружения, используются принципиально новые подходы к материалам и конструкциям. Однако уровень контроля строительства и состояния этих сооружений в процессе их долговременной эксплуатации значительно отстал и не в состоянии в полной мере обеспечить их безопасность. В частности, это относится к системе использования комплекса НК бетона в цепочке наблюдений за техническим состоянием конструкций на всех этапах эксплуатации сооружений. Максимально эффективное использование НК неметаллических конструкций при повышении достоверности получаемых результатов тем более актуально, поскольку в настоящее время уделяется большое внимание продлению сроков эксплуатации сооружений, в значительной мере исчерпавших свой проектный ресурс.

Раньше основной областью использования НК являлся контроль прочности бетона при производстве сборных конструкций и монолитного бетона на стройплощадках. Применение методов и средств НК бетона при обследовании длительно эксплуатирующихся сооружений характеризуется рядом особенностей, которые, к сожалению, не всегда учитываются как разработчиками, так и пользователями. Это, в свою очередь, приводит к получению недостоверной информации о состоянии строительных материалов и конструкций. Некоторые из особенностей оперативного контроля бетона наиболее распространенными инструментальными методами

и возможные источники ошибок в получении и анализе информации рассмотрены в данной статье.

Одной из таких особенностей является частичная утрата или полное отсутствие технической информации о строительных конструкциях старых зданий и о проведенных в процессе их эксплуатации ремонтных мероприятиях (их причинах, технологии проведения и последствиях). В качестве примера можно привести фрагмент из отчета об обследовании конструкций на строительной площадке ГЭС в 1948 г.: *«Результаты опробования бетона в шурфе и на поверхности пола по звуку, забивкой гвоздя и шпунта, ударами молотка и лома с достаточной для данных способов и целей испытаний ясностью свидетельствовали, что опробуемый бетон обладает свойствами нормального прочного гидротехнического бетона. Следует ожидать, что бетон должен показать обычную для гидротехнических бетонов нормальную сопротивляемость истирающему воздействию быстро текущего потока»*. И далее: *«Бетон пластичный, погружение ноги бетонщика 10–20 см. На бетонном заводе изменились способы дозирования, в частности, инертные отмеряются в ящиках, а не в кузовах узкоколейного вагончика. В целях уточнения состава необходимо проверить объемные веса дозирочных ящиков»*.

Вот с такой «документацией» о качестве исходного бетона при строительных работах середины прошлого века (как в том же отчете сказано «пробами грубо-элементарного характера») и точностью дозировки состава бетона часто приходится сталкиваться при обследовании длительно эксплуатируемых промышленных сооружений.

В настоящее время подход к технологиям, естественно, изменился в лучшую сторону, но о нарушениях технологии изготовления бетонной смеси и ее укладки, способных привести к снижению надежности конструкций и сооружений, также обычно не удается собрать информацию. То есть дефекты в конструкциях часто могли появляться еще на стадии строительства. Вызванные технологической необходимостью или реконструкционными мероприятиями нарушения проектных режимов эксплуатации, частичные отходы от проектных нагрузок и условий работы могут привести к возникновению новых дефектов в «слабых» местах. Развитие дефектов может происходить лавинообразно, приводя сооружение в неисправное или аварийное состояние. Кроме того, при длительной эксплуатации сооружений происходит естественное или вынужденное (под длительным воздействием агрессивных сред)

старение строительных материалов, накопление повреждений и дефектов. Сочетание этих факторов с возможным изменением систем нагрузок и воздействий приводит к изменению первоначальной проектной расчетной схемы статической и динамической работы сооружения, что приводит к необходимости проведения сложных поверочных расчетов работы пространственных систем с учетом фактических физико-механических характеристик строительных материалов и конструкций и дефектов в них.

Согласно [1] по п. 2.2.1 «... Производственные здания и сооружения, находившиеся в эксплуатации более 25 лет, независимо от их состояния должны подвергаться комплексному обследованию с оценкой устойчивости и эксплуатационной надежности с привлечением специализированных организаций, и в дальнейшем по необходимости, но не реже одного раза в год»; по п. 3.1.1: «Все напорные гидротехнические сооружения, находящиеся в эксплуатации более 25 лет, независимо от их состояния должны периодически подвергаться многофакторному исследованию с оценкой их прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности с привлечением специализированных организаций. По результатам исследований должны быть приняты меры к обеспечению технически исправного состояния гидротехнических сооружений и их безопасности». Кроме того, согласно Градостроительному Кодексу РФ [2] по статье 48.1, п. 2 «гидротехнические сооружения I и II классов, устанавливаемые в соответствии с законодательством о безопасности гидротехнических сооружений», а также (п. 10) «тепловые электростанции мощностью 150 МВт и выше», относятся к особо опасным и технически сложным объектам, поднадзорным Ростехнадзору. Таким образом, в последние годы произошло определенное расширение номенклатуры и количества особо ответственных объектов (по имеющейся информации их количество в 2007 г. составило 12530 объектов) и ужесточение требований по поддержанию их в безопасном состоянии. Соответственно, повысились требования к информации о фактическом техническом состоянии конструктивных элементов сооружений.

Известно, например, что уже через несколько лет после окончания строительства при нормальных условиях эксплуатации бетон может увеличить свою прочность до 200–300% относительно проектной «марочной» (в 28-и дневном возрасте). Однако в ряде случаев (например, при длительном воздействии агрессивной среды) прочность бетона

может и снижаться, причем по сечению конструктивных элементов или в разных конструктивных элементах одного сооружения процессы изменения первоначальной прочности могут протекать неодинаково. Таким образом, уже через несколько лет после ввода сооружения в эксплуатацию бетонные конструкции начинают работать не в том режиме, как предполагалось на стадии проектирования, что, соответственно, может негативно сказаться на надежности статической и динамической работы конструкций и установленного оборудования. Кроме того, монолитный (особенно гидротехнический) бетон обладает повышенной неоднородностью характеристик, а в массиве из-за несоблюдения технологии бетонирования могут встречаться зоны пониженной прочности бетона, уменьшающие прочность самого конструктивного элемента. Проектные коэффициенты запаса прочности не могут отразить фактических характеристик материалов и конструкций, сложившихся к расчетному периоду эксплуатации. Достоверный прогноз сценариев дальнейшей эксплуатации конкретных конструктивных элементов сооружений невозможен без поверочных расчетов, в которые должны быть заложены фактические физико-механические характеристики строительных материалов и дефекты конструкций.

Выявление дефектов, определение их местоположения и размеров, оценка значимости дефектов (в том числе, визуально не определимых зон локального снижения прочности бетона) и определение (**на бездефектных участках**) фактических характеристик бетона как строительного материала возможно при совместной обработке результатов визуального обследования, полевых инструментальных и лабораторных исследований. Важнейшей составляющей полевых инструментальных исследований является применение комплекса методов и средств НК в целях определения физико-механических характеристик бетона и дефектоскопии конструкций. Отдельные методы и средства НК могут быть использованы в составе средств мониторинга ответственных сооружений. Достоверность и точность получаемой информации зависит от состава комплекса и корректности применения методик выполнения измерений, обработки и анализа полученных результатов, гарантированности получения неизменной информации при повторных измерениях.

Особенностью дефектоскопии бетона является возможность выявления внешне не определяемого специфического дефекта — зон ло-

кального снижения прочности бетона более чем на 30% относительно среднего значения, характерного для конструкции. Этот дефект особо значим при непроектном изменении нагрузок (преимущественно в опасных сечениях конструкций).

Сечение железобетонных конструкций можно разделить на 2 зоны: поверхностные слои граней конструкций, которые функционально выполняют защитные функции, предохраняя металл рабочего армирования и закладных от внешнего агрессивного воздействия окружающей среды; и глубинные слои бетона, которые воспринимают основные нагрузки и силовые воздействия. Граница между этими зонами условна и определяется многими факторами (возраст бетона, условия эксплуатации и т. д.). На первом этапе эксплуатации характеристики бетона этих зон (если не учитывать особенностей технологии бетонирования и твердения) схожи. Однако в процессе длительной эксплуатации поверхностные слои претерпевают максимальные изменения и их характеристики могут существенно отличаться от характеристик бетона внутренней зоны. Кроме того, под длительным агрессивным воздействием внешней среды часто изменяется состояние самой поверхности и микроструктура поверхностного слоя. В связи с этим методы и средства НК, для которых источником информации о физико-механических характеристиках бетона конструкций (прочность, однородность, деформационные способности и др.) являются поверхностные слои, могут давать значительную погрешность. Соответственно, автоматически переносить в область обследования длительно эксплуатирующихся сооружений методы и средства НК, вполне достойно зарекомендовавшие себя при контроле «свежего» бетона, недопустимо. Они пригодны для оценки состояния поверхностного защитного слоя или оценки качества проведения ремонтно-восстановительных мероприятий, связанных с поверхностью старых конструкций (наращивание бетона, восстановление наружного слоя, устройство бетонной обоймы и др.). В поверочные расчеты должны, естественно, закладываться характеристики бетона внутренней зоны сечения конструкции.

Обследование эксплуатируемых конструкций в натуральных условиях с помощью современных средств НК имеет много жестких ограничительных рамок, обусловленных возможностью использования конкретных методов и аппаратуры НК в «полевых» условиях.

## Некоторые особенности, учтенные в основных нормативных документах

Интересно проанализировать существующие ГОСТ (они давно не пересматривались, но их никто пока не отменял, и их требования обязательны для исполнения):

- ГОСТ 18105–86 [4], п. 1.4: «При определении прочности бетона монолитных конструкций неразрушающими методами должны применяться или ультразвуковой метод по ГОСТ 17624–86 при сквозном прозвучивании, или метод отрыва со скалыванием по ГОСТ 21243–75 (теперь по ГОСТ 22690–88 [6]). Применение других методов неразрушающего контроля допускается по согласованию с головными научно-исследовательскими организациями».
- «Определение прочности бетона на растяжение, а в проектном возрасте бетона сборных конструкций и на сжатие производят только по образцам»;
- ГОСТ 10180–90 [5], п. 2.1.1: «За базовый образец при всех видах испытаний следует принимать образец с размером рабочего сечения  $150 \times 150$  мм»\*. При этом следует учесть, что эти градуировочные зависимости определены для тяжелых бетонов «марочного» возраста — 28 суток, и при контроле бетона иного возраста необходимо учитывать степень созревания бетона во времени и в определенных условиях эксплуатации по температуре и влажности;
- ГОСТ 22690–88 [6]: согласно п. 1.3 предельные значения прочности бетона, определяемые механическими методами НК, составляют: для упругого отскока и пластической деформации  $5 \div 50$  МПа, для ударного импульса  $10 \div 70$  МПа, для отрыва  $5 \div 60$  МПа, для скалывания ребра  $10 \div 70$  МПа, для отрыва со скалыванием  $5 \div 100$  МПа;
- ГОСТ 17624–87 [7]: согласно Введению стандарт устанавливает ультразвуковой импульсный метод определения прочности бетона для классов В7,5 — В35 (М100 — М400), причем по п. 1.5 «прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещин, каверн и др.)».

---

\*Этот пункт особый, так как различные обобщенные корреляционные зависимости, приводимые в технической литературе, например, для склерометра Шмидта, были разработаны много лет назад, когда базовые образцы бетона принимались  $100 \times 100 \times 100$  мм, то есть при работе с такими зависимостями необходимо учитывать масштабный коэффициент – 0,95 по табл. 5 [5].

То есть, например, для контроля высокомарочных бетонов уверенно пригоден только метод отрыва со скалыванием (но при его использовании выполняется локальное разрушение поверхности конструкций). Возможен также метод контроля прочности высокомарочных бетонов на более ранних промежуточных стадиях созревания ( $3 \div 7$  дней) с дальнейшим прогнозом (по предварительным испытаниям образцов на прессе) набора прочности до «марочного» возраста и далее.

Кроме этого, стандарты устанавливают жесткие требования на количество испытаний в серии, выбор участков испытаний, требования к состоянию поверхности контролируемых участков и др., выполнение которых хоть как-то гарантирует достоверность полученных результатов. Сложность использования НК для оценки прочности бетона в эксплуатируемых конструкциях заключается в том, что все методики были разработаны для приемочного контроля железобетонных изделий на заводах или на стройплощадках с использованием большого количества образцов-кубов бетона для установления корреляционных зависимостей и при обеспечении безопасного доступа к практически любым зонам контроля. В производственных условиях выполнить все требования нормативов [3] часто просто невозможно. Повышенная шероховатость поверхности бетона, длительное время находившегося под воздействием внешней среды, техническая сложность и экономическая нецелесообразность дополнительной шлифовки поверхности создают неблагоприятные условия для создания необходимого контакта первичных элементов аппаратуры НК с бетоном. Соответственно, на эксплуатируемых конструкциях реально возможен только выборочный контроль.

Часто в рекомендациях встречается формула для определения класса бетона:  $B = R_m (1 - 1,64v)$ , где  $R_m$  — средняя прочность бетона на сжатие по результатам испытаний,  $v$  — коэффициент вариации прочности, 1,64 — значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности  $P = 0,95$ . Но эта формула рассчитана на оценку класса бетона при большом количестве испытаний (более 50). В условиях ограниченного количества точек



Рис. 1. УЗК железобетонной колонны промышленного здания

испытаний НК на реальных конструкциях с учетом поправочного коэффициента на применение НК [3, 4] в общем виде формула должна принять вид  $B = 1,05R_m (1 - t_a \nu)$ , где  $t_a$  — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа точек контроля (более 4-х), оставшихся после отбраковки аномальных результатов. Он для тяжелого бетона при  $P = 0,95$  находится в пределах от 2,35 до 1,64, а для монолитного гидротехнического бетона при  $P = 0,90$  — от 1,64 до 1,28. На участках конструкций с отбракованными точками измерений рекомендуется выявить причину отклонения результатов: факт ошибки оператора при съеме информации, зона концентрации металла, зона потенциального дефекта, локальные нарушения структуры, повышенная влажность или другие особенности.

### **Некоторые особенности применения методов и средств механического контроля прочности бетона**

К сожалению, в стандартах не акцентируется, что наиболее часто применяемые механические методы (упругого отскока, пластической деформации, ударного импульса) определяют на самом деле не прочность бетона, а несколько другую характеристику — поверхностную твердость (а еще точнее — твердость цементно-песчаного камня поверхностного слоя), которые не всегда имеют четкую взаимосвязь. При использовании механических методов нельзя рассчитывать на возможность получения достоверных сведений, относящихся к слою бетона, расположенному на глубине более 20–30 мм [9, 10]. То есть полученная информация о прочности и однородности материала относится только к защитному слою бетона, который в максимальной степени подвергается разрушающему воздействию окружающей среды. Соответственно, распространять полученные результаты на глубинные слои не всегда корректно. Кроме того, в позднем возрасте в случае повышенной карбонизации поверхностного слоя увеличивается его твердость, и при испытании бетона возможна переоценка его фактической прочности. Толщина карбонизированного слоя может составлять 10–20 мм и более, и удаление его практически невозможно. На конструкциях из монолитного бетона достаточно часто встречаются непроjektные выравнивающие цементно-песчаные покрытия толщиной до 55 мм, могут быть слои цементного молока и другие неоднородности, не характерные для глубинных слоев бетона. Существует еще одна чисто приборная особенность, характерная для аппаратуры типа склерометр ОМШ-1, включающей в свою конструкцию системы пружин

жинных элементов и деталей скольжения. В процессе проведения серии измерений в полевых условиях они могут засоряться производственной пылью и влагой, что искажает полученные результаты. Эти системы обладают индивидуальными корреляционными зависимостями «информационный параметр — прочность материала», зависящими от сочетания механических свойств элементов системы. До установления корреляционной зависимости для каждого экземпляра прибора одной марки эти инструментальные отличия не удастся определить, так как метрологический контроль обычно проводится только по одному эталонному образцу. В связи этим натурный контроль конструкций должен осуществляться тем же прибором, который использовался при определении корреляционных зависимостей для бетона исследуемого сооружения, а в протоколе испытаний следует указывать заводской номер прибора.

Электронная обработка информации, полученной механическими методами НК, не позволяет в полной мере отобразить локальные условия съема информации в натуральных условиях. В электронную базу многих современных приборов заложена условная унифицированная корреляционная зависимость для бетона «марочного» возраста. При этом учитывать локальное состояние контролируемого участка крупногабаритной конструкции (шероховатость, влажность, слоистость блока бетонирования, карбонизация, промасленность, близкое расположение к поверхности металла арматуры и закладных или крупного заполнителя, длительное локальное воздействие агрессивных факторов и др.) при коррекции полученных результатов без участия оператора практически невозможно, то есть в исследовании всегда включается субъективный человеческий фактор. Необходимо всегда учитывать, что контроль прочности бетона как материала проводится только на бездефектных участках, а дефекты влияют на свойства самой конструкции и выявляются при дефектоскопии конструкций. Нельзя «слепо» доверять показаниям прибора и просто автоматически их усреднять в одной серии измерений или по всей конструкции без отбора. Причины вызывающих подозрения в нелогичности или аномалии результатов могут быть разные (локальный дефект участка поверхностного слоя или общий дефект конструкции, или ошибка в съеме первичной информации и т. д.).

Например, при контроле прочности бетона конструкции с проектной маркой М300 по склерометру получены значения, соответствующие бетону с маркой М150. Это могла быть как правильно зафиксированная фак-

тическая низкая прочность бетона, так и прочность незафиксированного документально ремонтного цементно-песчаного штукатурного покрытия. Для старых конструкций бывают и противоположные варианты, при которых, например, при контроле конструкций с проектной маркой бетона М130 склерометр определяет значение М400, которое вероятнее всего соответствует ремонтно-восстановительному покрытию. Рекомендуется применять комбинацию независимых методов НК, например, сочетание механических и ультразвуковых методов. Но даже это не всегда может гарантировать правильность конечных результатов. К примеру, автор засомневался в нелогично повышенной прочности бетона, полученной по результатам контроля склерометром ОМШ-1 и ультразвуковым прибором при поверхностном прозвучивании массивной балки из монолитного низкомарочного бетона. Оказалось, что в свое время было проведено усиление балки железобетонной обоймой из высокомарочного бетона, и все эти измерения отражали свойства именно этого материала.

### **Некоторые особенности применения ультразвукового метода**

Нормативной документации по ультразвуковой дефектоскопии бетона не существует, но из технической литературы ясно, что достоверность результатов зависит от многих факторов, связанных с формированием, рассеянием, поглощением, распространением, отражением и трансформацией волн акустического сигнала в таком анизотропном твердом материале, как бетон. То есть при разработке аппаратуры и анализе полученной информации необходимо учитывать некоторые специфические особенности распространения ультразвуковых волн в бетоне и регистрации времени прохождения волн по трассе:

- вид акустической волны, по которой ведется анализ информации и, соответственно, особенности распространения этой волны в бетоне.

Ультразвуковые волны, возникающие в твердых телах под воздействием внешнего источника, могут быть нескольких видов: продольные, поперечные, поверхностные — причем все эти волны могут возникать в твердом теле одновременно и распространяться в любом направлении [8, 9, 12–14]. Характер распространения различных волн в бетоне принципиально разный. Они различны по физике и не взаимодействуют между собой (продольная волна — деформация объема, то есть процесс сжатия-расширения, поперечная и поверхностная волны — деформация формы, то есть процесс сдвига). Соответственно, корреля-

ционные зависимости скоростей распространения волн от прочности бетона различаются даже для одного материала. Из технической литературы автору известны только примеры связей «скорость продольной волны — прочность бетона».

- изменение спектра принимаемого импульса при изменении базы измерения и соответствующую возможную ошибку в регистрации времени распространения на больших базах из-за поглощения материалом высокочастотных составляющих (особенно хорошо заметно при увеличении амплитуды посылаемого в бетон импульса);
- преломление, отражение и трансформацию (расщепление на несколько видов волн) колебаний на поверхностях раздела сред, что может привести к повышению маскирующего паразитного фона, из которого сложно выделить полезный информационный сигнал;
- возможность формирования в бетоне узкой диаграммы направленности акустического луча (стандартные преобразователи дают ненаправленный сигнал, что может привести к ошибкам измерений при поверхностном прозвучивании);
- дифракционные явления и соотношение между длиной волны основной частоты импульса и линейными размерами препятствий в материале (крупный заполнитель, дефекты и т. д.);

Преобразователь посылает в бетон импульс, в котором указанная резонансная частота преобразователя превалирует на «выходе» пьезо-керамики, но не является единственной в спектре импульса и в бетоне значительно снижается, проходя через различные насадки, контактные слои и «присоединенную массу бетона». Для фиксации дефекта необходимо, чтобы его фронтальные линейные размеры были больше длины ультразвуковой волны в бетоне (для стандартных преобразователей с собственной частотой 60 кГц при скорости продольной волны в бетоне 4200 м/с длина волны составит 70 мм, а при скорости поперечной волны 2200 м/с длина волны 37 мм).

- «маскировку» полезного сигнала в фоне массива отражений от сторонних поверхностей и структур;

В электронике считается, что для надежного выделения и обработки полезного сигнала он должен быть в 3 раза больше фона. Современные методы обработки позволяют снизить этот порог. Однако при этом создается определенное недоверие к результатам «ухищрений» программистов и, соответственно, к полученной итоговой информации;

- особенности применения эхо-метода;

Серьезнейший фактор, осложняющий применение классического эхо-метода для дефектоскопии бетонных конструкций — состояние отражающей поверхности. Влияние неровности (шероховатости) отражающей поверхности определяется критерием Рэлея, по которому зеркальность отражения обеспечивается при выполнении условия  $h \div \lambda / (8 \cos \alpha)$ , где  $h$  — высота неровности,  $\lambda$  — длина акустической волны,  $\alpha$  — угол падения волны на поверхность. В геофизике условно зеркальной поверхность считается при  $h < \lambda / 20$ . То есть возможность эхо-контроля в определенных рамках допустимых требований к размерности конструкций, к состоянию наружной («дневной») и отражающей («донной») поверхностей, к структуре бетона (максимальный размер крупного заполнителя и арматуры, степень армирования и др.) существует для сборных железобетонных элементов, формируемых в опалубках. Для монолитных бетонных конструкций, характеризующихся часто непредсказуемой, отличающейся от проектного значения фактической толщиной, низким качеством поверхностей, а также неравномерностью структуры по толщине элемента, применение классического эхо-метода представляется очень ограниченным и требующим большого опыта и высокой квалификации оператора;

- особенности применения способа поверхностного прозвучивания;

По мнению автора, большой вред НК принесло широкое применение при обследовании эксплуатируемых конструкций упрощенных ультразвуковых приборов без визуализации принимаемого сигнала по методике, слепо заимствованной из приемочного контроля железобетонных конструкций из «свежего» бетона. В таких приборах замер времени прохождения сигнала происходит по принципу регистрации момента превышения волной определенного порога без контроля регистрации полезного сигнала. Замена обработки аналогового сигнала в реальном времени на цифровую, отход от анализа вида полученного сигнала на экране дисплея с возможностью фиксации времени, амплитуды, спектра и других параметров ультразвукового сигнала привели к деградации искусства оператора. Основная масса потребителей «слепой» аппаратуры (во всяком случае, по частоте вопросов, задаваемых автору) не понимают, с какими волнами они имеют дело. В частности, при сквозном прозвучивании «слепые» пороговые приборы (УК-14ПМ, Бетон-12 и др.) регистрируют продольную волну, а при поверхностном прозвучивании часто — не быстро затухающую по поверхности продольную волну, а поперечную или по-

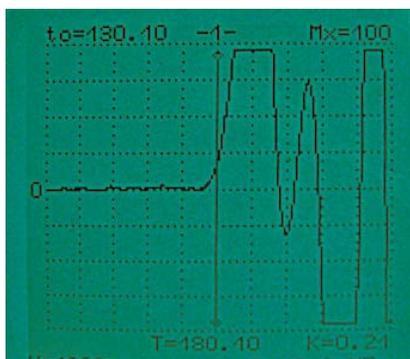


Рис. 2. Правильное определение сигнала первого вступления — сигнальный маркер прибора «Пульсар 1.2» отмечает на установленном пороге фиксации начало прихода продольной волны

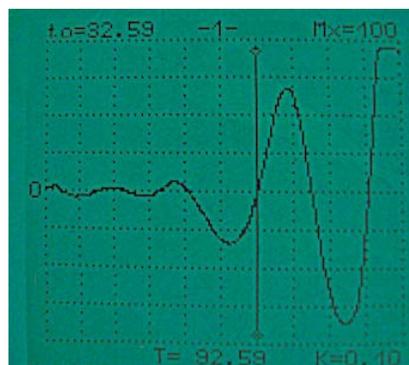


Рис. 3. Неправильное определение сигнала первого вступления при поверхностном прозвучивании — сигнальный маркер пропускает начало прихода продольной волны, требуется принять меры по усилению принимаемого сигнала и устранению ошибки. В фиксируемом сигнале преобладают составляющие поперечной и поверхностной волн над быстро затухающей продольной волной, распространяющейся в приповерхностном слое бетона от стандартного излучателя с широкой диаграммой направленности

верхностную волны (если импульс возбуждает ненаправленные колебания от поверхности в полубесконечной среде, то в бетоне возникают колебания сразу всех трех видов [9]), превалирующие по амплитуде

в принимаемом общем спектре импульсного сигнала. Соотношение скоростей волн зависит от формы контролируемой конструкции (стержень, плита, полупространство со свободной поверхностью или неограниченная среда — массив), динамического коэффициента Пуассона и, главное, от состояния поверхностного слоя бетона (Рис. 2, 3).

Отношение скоростей продольной  $C_L$  и поперечной  $C_T$  волн в бездефектном бетоне при этом определяется формулой  $C_L/C_T = [2(1-\mu_d)/(1-2\mu_d)]^{1/2}$ , а скоростей продольной и поверхностной  $C_S$  волн формулой  $C_L/C_S = [2(1-\mu_d)/(1-2\mu_d)]^{1/2} [(1+\mu_d)/(0,87+1,12\mu_d)]$ , где  $\mu_d$  — динамический коэффициент Пуассона, составляющий для сухого бетона 0,22–0,32. При  $\mu_d = 0,27$  это отношение равно 1,93, что подтверждается, в частности, работами А. Г. Алимова [16] при регистрации сигналов прибором УК-14П и сравнении полученных скоростей ультразвука при сквозном и поверхностном прозвучивании.

Однако в инструкциях по использованию «слепой» аппаратуры эти «тонкости» регистрации волн не отмечены, и пользователи, не вдаваясь

в подробности, даже ухитряются делать на таких приборах изобретения, например, [15]. Рекомендуется во всех приводимых градуировочных зависимостях «прочность — скорость УЗК» указывать, скорость какой волны имеется в виду при испытаниях (особенно при поверхностном прозвучивании).

На достоверность съема первичной информации, особенно при использовании шаблонов-ручек с малыми базами прозвучивания, очень сильное влияние оказывает состояние и структура поверхностного слоя, в наибольшей степени подверженного агрессивному влиянию среды. На результаты УЗК при поверхностном прозвучивании могут повлиять близко расположенные к поверхности параллельно трассам распространения сигнала толстые стержни арматуры или закладные. Рекомендуется, чтобы трасса располагалась диагонально проекциям ячеек арматурной сетки на поверхность (фактическое положение стержней можно определить магнитным методом), а если трасса сигнала параллельна арматуре с диаметром более 20 мм, то ее длина не превышала бы более чем в 6 раз толщину защитного слоя бетона. Необходимо обращать внимание на любые «мелочи», способные повлиять на результаты измерений. Ошибка в определении скорости ультразвука в бетоне на 1% приводит к ошибке в оценке прочности бетона на 4–6%.

- особенности определения глубины несквозных трещин, выходящих на поверхность бетонных конструкций;

Автору известен случай, когда при поверхностном прозвучивании на базе измерения 30 см с помощью «слепого» прибора УК-14П из-за неправильной регистрации прохождения продольных волн в массивном бетоне якобы была определена глубина трещин до 2,0 м и, соответственно, дан неправильный вывод о состоянии конструкции. На самом деле трещины проходили в пределах защитного слоя бетона и заканчивались по глубине арматурными стержнями. Максимально возможная определяемая глубина сухих чистых трещин (в основном выходящих на боковые поверхности) в зависимости от технических характеристик ультразвуковой аппаратуры составляет 20–50 см. В описанном случае условная трасса огибания трещины сигналом составляет более 4,0 м, и с учетом сильного затухания импульса зафиксировать время его прихода к приемнику практически невозможно. Многие трещины, выходящие на поверхность бетона над толстыми арматурными стержнями, могут распространяться в глубину конструкции под арматуру, а сигнал

при этом «обойдет» трещину не по ее концу, а по арматуре. Поэтому для дополнительного контроля правильности оценки глубины трещин ультразвуковым методом и для разметки контрольных трасс прозвучивания рекомендуется параллельно применять магнитный метод определения положения подповерхностной арматуры и толщины защитного слоя бетона с использованием приборов типа ПОИСК-2.5, ИПА-МГ4 (Рис. 4, 5).

- некоторые особенности использования аппаратуры различного типа.

По субъективному мнению автора УЗ приборы без возможности визуализации сигнала можно использовать только для контроля прочности «свежего» бетона с еще не нарушенной структурой. Техническое обследование эксплуатируемых конструкций и дефектоскопию бетона следует выполнять только с помощью приборов, имеющих возможность визуально контролировать принимаемый сигнал и анализировать его параметры. Только на экране прибора возможен контроль регистрации затухающих волн, и изменением

усиления можно добиться фиксации вступления первой волны импульса, то есть достоверно определить время прохождения по трассе продольной волны. Единственный выпускаемый серийно в РФ прибор «Пульсар 1.2», предназначенный для широкого использования и обладающий дисплеем с визуализацией принятого сигнала, позволяет выполнить эту операцию (Рис. 4, 5), но он не использует свои потенциальные возможности и не дает



Рис. 4. Контроль глубины трещины в бетоне методом поверхностного ультразвукового прозвучивания



Рис. 5. Контроль положения арматуры и толщины защитного слоя бетона прибором «Поиск-2.3»

возможности «поработать» с информативными участками осциллограммы сигналов. Кое-где сохранились удачные молдавские приборы УК-10П. Технические характеристики этих приборов позволяют работать на довольно больших базах измерения, что снижает погрешности оператора. Кстати, часть молдавских приборов была укомплектована удобными ручками-шаблонами со встроенными предварительными усилителями принимаемых сигналов, что позволяло уверенно «вытягивать» продольную волну даже на некачественных поверхностях бетона. Кроме того, форма ручки с насадками позволяла проводить сквозное прозвучивание с фиксированной базой на углах конструкций.

Очень интересное и, по всей вероятности, перспективное томографическое направление разработки ультразвуковых приборов отрабатывается в ООО «АКС» [17]. Но пока это очень дорогостоящая, сложная в массовом применении малосерийная аппаратура, нуждающаяся в длительной отработке методики прикладной дефектоскопии в натуральных условиях при достаточной субъективности расшифровки и анализа полученной информации. Эти приборы нового поколения требуют серьезного обучения пользователей и высокой технической квалификации специалистов по обработке и анализу информации. При работе с такими приборами желательно проверять воспроизводимость результатов при повторных обследованиях контролируемых конструкций. Можно предположить, что такая аппаратура даст возможность проводить экспертизу особо ответственных конструкций в качестве достойного участника комплексных мониторинговых исследований.

### **Некоторые организационные проблемы**

Приходится с сожалением констатировать, что технический прогресс мало способствует развитию широкого применения НК в строительной отрасли. Раньше средства контроля были доступны по цене, понятны по методологии, снабжены пространственными инструкциями по применению, выпускались тысячами и применялись практически во всех строительных лабораториях. Выпускалось много прикладной технической литературы и нормативной документации, которая проходила обширную рецензионную обработку. По вопросам разработки и применения НК в строительных областях на многочисленных рабочих совещаниях при обмене опытом проходили жаркие дебаты. В настоящее время еще одна серьезная проблема — снижение требовательности к разработке и выпуску нормативных документов по техническому обследованию эксплуатируемых

объектов. Соответствующие разделы по применению НК (что самое недопустимое в документах нормативного характера для экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений, например, для МЧС [16]) часто пишут специалисты, профессионально НК не занимающиеся.

Ранее существовала специализированная секция (при НИИЖБ) Совета по координации НИР в области бетона и железобетона «Неразрушающие испытания бетона и железобетона». Дискуссии с иностранными специалистами, в частности, проводились в рамках работы Координационного центра по проблеме «Неразрушающие испытания в строительстве» (рабочий орган Постоянной комиссии СЭВ по строительству) [20]. Во многих НИИ велись плановые исследования по проблемам НК бетона в строительных областях. Об этой активной фазе существования НК в строительстве можно только мечтать.

В настоящее время встречи и дискуссии носят в значительной мере случайный характер, в основном, в рамках семинаров во время проведения выставок по дефектоскопии (как бедная сиротка в большой и дружной семье дефектоскопистов по металлам). Было бы целесообразно возродить постоянно работающий Координационный Центр по проблемам НК в области строительства при Росстрое РФ.

Также случайны НИР и труды по практическому использованию НК в строительной отрасли.

Читатель обратит внимание, что почти весь приведенный список нормативной и технической литературы достаточно «древний». Но, к сожалению, принципиально новых (не многократно переписанных) трудов прикладного характера, в которых рассматривались бы и методики использования современных методов и средств НК с регламентированными рамками применения, автору не попадались за исключением нескольких статей в специализированных журналах. При этом автор настоятельно рекомендует пользователям приборов НК изучить классический труд Р. Джонса и И. Фэкзоару [9], в котором детально изложены приемы работы с аппаратурой и «подводные камни», которые могут встретиться при съеме первичной информации. Жаль, что отсутствует общедоступное переиздание этого труда с дополнениями, отражающими современные веяния. Существующие ГОСТ не отражают современных тенденций в области НК в строительной отрасли, тормозят развитие НК и требуют скорейшего пересмотра. Инструкции по эксплуатации приборов изложены так, что зачастую понятны только авторам-разработчикам (а все ли они знают об

особенности контролируемых материалов и конструкций в реальных эксплуатационных условиях применения измерительных приборов, гарантирующих или нет корректный съем первичной информации, преобразование и обработку ее, сохранение технических характеристик аппаратуры?). В технических инструкциях к аппаратуре необходимо конкретизировать ограничительные рамки использования, указать, на что следует обращать особое внимание для получения достоверного информационного сигнала и его анализа. Основное количество приборов по широкой номенклатуре средств оперативного НК бетона разрабатывается и выпускается в двух фирмах Челябинска [18, 19], но информация по практическому применению аппаратуры с обменом опытом, раскрытием их достоинств и недостатков до потенциальных пользователей не доходит. Это снижает возможность совершенствовать саму аппаратуру и методики работы с ней.

Вызывает особое беспокойство, что упомянутые проблемы приводят к снижению доверия к самой возможности широкого использования НК бетона и других неметаллических строительных материалов и конструкций из них и к достоверности получаемых результатов [21, 22]. Особое беспокойство вызывает ожидаемая отмена лицензий на техническое обследование сооружений. Владельцам сооружений необходимо понимать, что детальное техническое обследование — дело необходимое, но трудоемкое и дорогостоящее, требующее определенной подготовки как для контроля бетона, так и для контроля металлических конструкций [24]. Все эти вопросы необходимо решать оперативно, иначе результаты недостаточно контролируемых процессов строительства, эксплуатации или реконструкции сооружений различного назначения приведут впоследствии к росту количества техногенных аварий.

*Примечание: автор не претендует на полноту информации, полученной в результате собственного многолетнего опыта, и изложил субъективные (может быть спорные и консервативные или тривиальные и хорошо известные узкому кругу специалистов) взгляды на проблемы возможного широкого применения НК бетона в строительной отрасли, и заранее благодарен за конструктивную дискуссионную критику, в том числе и на страницах данного журнала.*

## Литература

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ/СО 153-34.20.501-2003. — М.: Энергосервис, 2003. — 165 с.

2. Градостроительный Кодекс РФ (Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ с изменениями на 13.05.2008). — Российская газета, 17.05.2008, № 105.
3. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений/СП 13-102-2003. — М.: ГОССТРОЙ России, 2004. — 25 с.
4. ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности. — М.: Изд-во стандартов, 1997. — 20 с.
5. ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 45 с.
6. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — 25 с.
7. ГОСТ 17624–87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 26 с.
8. ГОСТ 21153.7–75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. — М.: Изд-во стандартов, 1981. — 5 с.
9. Джонс Р., Фэксэару И. Неразрушающие методы испытания бетонов./Пер. с румынск. — М.: Стройиздат, 1974. — 292 с.
10. Лужин О. В., Волохов В. А., Шмаков Г. Б. и др. Неразрушающие методы испытания бетона. — М.: Стройиздат, 1985. — 236 с.
11. Дзенис В. В. Применение ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля. — Рига: Зинатне, 1987. — 263 с.
12. Рапопорт Ю. М. Ультразвуковая дефектоскопия строительных деталей и конструкций. — Л.: Стройиздат, 1975. — 128 с.
13. Филонидов А. М., Третьяков А. К. Контроль бетона ультразвуком в гидротехническом строительстве. — М.: Энергия, 1969. — 120 с.
14. Почтовик Г. Я., Липник В. Г., Филонидов А. М. Дефектоскопия бетона ультразвуком в энергетическом строительстве. — М.: Энергия, 1977. — 121 с.
15. Алимов А. Г. Ультразвуковое диагностирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. — Гидротехническое строительство. 2008. № 8. С. 28–34.
16. Алимов А. Г. Ультразвуковой контроль водонепроницаемости бетона мелиоративных гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. — Гидротехническое строительство. 2009. № 5. С. 23–28.
17. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. — М.: МЧС России, 2003. — 47 с.
18. Шевалдыкин В. Г. Диагностические возможности аппаратуры для УЗК бетона. — В мире НК. 2004. № 1 (23). С. 8–12.
19. Гулунов В. В., Мотовилов А. В., Гершкович Г. Б. Особенности применения новых приборов для НК прочности бетона. — В мире НК. 2004. № 3 (25). С. 52–55.
20. Губайдуллин Г. А. Приборный комплекс оперативного контроля прочности бетона. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 21–22.
21. Сравнение требований стандартов на ультразвуковые испытания бетона и технических характеристик приборов (с использованием зарубежных данных). — Киев: НИИСК Госстроя СССР, 1979. — 9с.
22. Штенгель В. Г. О методах и средствах НК для исследования эксплуатируемых железобетонных конструкций. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 12–15.
23. Клевцов В. А., Коревицкая М. Г. Об организационно-технических проблемах НК прочности бетона. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 16–17.
24. Ерёмин К. И., Матвеевский С. А. Особенности экспертизы и НК металлических конструкций эксплуатируемых сооружений. — В мире НК. 2008. № 4 (42). С. 4–7.