

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ БЕТОНА

УДК 620.179.16

А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин
ООО «Акустические контрольные системы», г.Москва

Диагностика строительных объектов требует применения различных физических методов обследования. Одним из наиболее информативных методов является ультразвуковой, на основе которого создана и широко применяется различная аппаратура.

В данной статье изложены возможности и результаты практического применения ультразвукового томографа А1040 «Полигон», разработанного для дефектоскопии строительных объектов из железобетона. Различные случаи из реальной практики контроля проиллюстрированы томограммами внутренней структуры обследованных объектов. Этим изображениям дано физическое объяснение.

При строительстве сооружений из монолитного железобетона полностью исключить появление внутренних дефектов невозможно. Недостаточная текучесть раствора или нарушение технологии его укладки могут привести к возникновению полостей особенно вблизи арматуры. Полости в дальнейшем способствуют её коррозии. Возможно попадание в массив строительного мусора, инородных тел иногда значительных размеров. Образование усадочных трещин также нередкое явление.

В эксплуатируемых сооружениях с течением времени появляется много дополнительных дефектов, ухудшающих их несущую способность. Чаще всего это коррозия верхнего слоя арматуры, трещины в плоскости арматуры и, наконец, отслаивание всего защитного слоя. В подземных сооружениях – это разрушение и вымывание внешнего слоя бетона грунтовыми водами из-за дефектов гидроизоляции.

Таким образом, контроль качества монолитных железобетонных конструкций как при строительстве, так и в период их эксплуатации очень важен и потребность в нём возникла с появлением самого бетона. Контроль с помощью ультразвука оказался наиболее информативным и простым для практики в сравнении с другими физическими методами. Кроме оценки прочности бетона ультразвуковой (УЗ) контроль уже давно используют и для поиска различных дефектов в бетоне.

Вначале УЗ контроль железобетонных конструкций вели исключительно методами прохождения (теньевыми). По времени распространения и реже по амплитуде УЗ сигнала, прошедшего сквозь конструкцию, судили о наличии в ней внутренних дефектов. Однако во многих случаях доступ к обеим противоположным поверхностям конструкции отсутствовал или был трудноосуществимым, как, например, в случае стены туннеля или высотного здания. Метод продольного профилирования обеспечи-

вал поиск лишь приповерхностных дефектов. Метод волны удара (импакт-эхо метод) позволял обнаруживать только очень крупные объёмные дефекты или трещины, параллельные доступной поверхности.

Эхометод начали применять при контроле строительных конструкций около полувека назад вначале для измерения толщины изделий из бетона [1], а затем и для дефектоскопии. Обладая намного большей информативностью, чем методы прохождения, эхометод требовал от оператора и более высокой квалификации как в области теории распространения ультразвука в бетоне, так и в части практических навыков УЗ контроля. Если для успешного ведения контроля теневыми методами достаточно было аккуратно выполнить разметку поверхностей конструкции и, обеспечивая акустический контакт УЗ преобразователей с ней, записать, например, времена распространения сигнала по известным траекториям, то при контроле эхометодом этого было недостаточно. Ограниченность традиционной А-развёртки, требующей для обнаружения отражателя достаточно высокого отношения сигнал/шум, в большинстве случаев не позволяла делать достоверных выводов о результатах контроля. Даже измерять толщину конструкции было затруднительно, так как за донный эхосигнал легко можно было принять случайный выброс структурного шума.

К середине 80-х годов прошлого века стало очевидно, что приемлемой для практики достоверности контроля можно добиться только построением двумерной картины отражённых сигналов (В-развёртки). Для борьбы со структурным шумом бетона потребовалось использовать максимально возможное количество некоррелированных по шуму эхосигналов, принятых заданным количеством УЗ преобразователей матричной антенной системы. Для этого было предложено использовать метод синтезированной апертуры (САФТ), известный из радиолокации, в сочетании с комбинационным зондированием, заключающимся в суммировании не только принятых сигналов от УЗ преобразователей, пославших зондирующий сигнал в объект контроля, но и от всех остальных преобразователей, составляющих антенную систему прибора [2].

Результатом работы такого прибора естественно стало формирование в его памяти трёхмерного массива данных, представляющего собой распределение блестящих точек в объёме материала объекта контроля. Из этого массива на экран прибора можно было вывести изображение любого среза внутренней структуры объекта контроля, то есть томограмму В, С или D типа. Детально ознакомиться с устройством такой аппаратуры и историей её совершенствования можно в работах [2-7]. Здесь же мы рассмотрим практические приложения такой аппаратуры, на примере разработанного в 2006 году низкочастотного промышленного УЗ томографа А1040 «Полигон», предназначенного для неразрушающего контроля изделий и конструкций из бетона и железобетона (<http://acsys.ru>). Его фотография представлена на рис. 1.

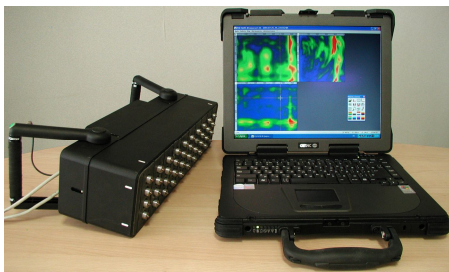


Рис. 1. Ультразвуковой томограф для контроля железобетонных изделий А1040 «Полигон»

Основой томографа является антенное устройство, состоящее из 40-элементной матричной решётки УЗ преобразователей с устройством управления и обработки сигналов. В антенном устройстве использованы преобразователи с сухим точечным акустическим контактом и индивидуальным прижимом к поверхности бетона [7]. Номинальная рабочая частота ультразвука 50 кГц. Томограф работает на поперечных УЗ волнах. Зондирующий сигнал имеет форму радиоимпульса с длиной менее двух периодов заполнения и колоколообразной огибающей. В состав томографа входит также портативный компьютер промышленного исполнения.

Томограф имеет четыре режима работы:

1. «Калибровка» – адаптация прибора к свойствам бетона контролируемой конструкции. При калибровке происходит автоматическое измерение скорости поперечных ультразвуковых волн в бетоне, автоматическая установка требуемого усиления в приёмном тракте и определение других параметров сигналов из бетона, необходимых для получения наиболее качественных образов внутренней структуры бетонного массива.

2. «Обзор» – режим быстрого обзора внутренней структуры строительной конструкции. В этом режиме оператор устанавливает антенное устройство в любое место поверхности конструкции и через 2-3 с получает на экране компьютера В-изображение среза внутренней структуры бетона под антенным устройством на глубину 0,5, 1 или 2,5 м (это выбирает оператор). Ширина среза, отображаемого на экране, равна 0,5 м. Так можно посмотреть, что находится под поверхностью бетона в любом месте конструкции, измерить толщину бетона или обнаружить какой-либо внутренний дефект или предмет, например, силовую арматуру или пластмассовую трубу с кабелями.

3. «Сбор» – режим сбора ультразвуковых данных о внутренней структуре объекта контроля при сканировании антенным устройством больших площадей бетонных стен, перекрытий, фундаментов или опор мостов и т.д. В этом режиме сканирование проводят путём перестановки антенного устройства по поверхности конструкции вдоль прямой линии с некоторым выбранным шагом (например, 50 мм). В каждом положении производят запись данных в компьютер с одновременным получением на

экране В-изображения объекта под антенным устройством. Время записи данных и получения изображения такое же, как и в режиме «Обзор», то есть менее 3 с. Сканирование производят в виде полосы (или, по-другому, ленты) произвольной длины. Антенное устройство переставляют вдоль его узкой стороны, то есть полоса (лента) снимается шириной в полметра. Таких лент, примыкающих друг к другу, или не примыкающих, а лежащих в разнесённых местах поверхности конструкции, можно просканировать несколько.

4. «Просмотр» – тот режим используется для детального анализа данных, снятых в режиме «Сбор». На экране в этом режиме присутствуют сразу или по очереди все три типа изображений: В, С и D, которые отображают, соответственно, В, С и D взаимно перпендикулярные срезы (сечения) объекта контроля. Просматривать изображения можно и без антенного устройства в любом месте вдали от объекта контроля.

На рис.2 показан пример томограммы типа В бетонной плиты толщиной 400 мм с тремя высверленными каналами (боковыми отверстиями), параллельными поверхности, на которую было установлено антенное устройство томографа А1040. Плита выполнена по заводской технологии из бетона М400 с наибольшей крупностью гранитного заполнителя 20 мм. Визуализированное сечение ориентировано перпендикулярно каналам, имитирующим протяжённые дефекты в конструкциях. Один из каналов диаметром 30 мм расположен на глубине 140 мм (его образ слева на томограмме в виде красного пятна с зелёной окантовкой), два других канала диаметром 13 мм расположены один под другим на глубинах 80 и 180 мм (их образы справа). Внизу изображения находится образ донной поверхности плиты в виде зелёной полосы на глубине 0,4 м. Приведённое изображение иллюстрирует чувствительность и разрешающую способность томографа. Размеры образов от данных искусственных отражателей, меньших длины ультразвуковой волны, не превышают 50 мм. Это значит, что на таком или немного большем расстоянии друг от друга прибор способен раздельно отобразить малые (меньшие длины волны) отражатели.

Томограммы типа В несут достаточно много информации о внутренней структуре контролируемого объекта. В частности, по наличию или отсутствию образа донной поверхности на томограмме можно судить не только о толщине конструкции, но и о том какая среда находится за донной поверхностью. Об этом ещё будет сказано ниже. На практике операторы, работающие с томографом, чаще всего пользуются режимом «Сбор», для того, чтобы записав возможно больший массив данных при сканировании большой площади объекта контроля, затем детально его проанализировать. Анализ же этого трёхмерного массива производят сразу по всем трём типам томограмм, отображающим внутреннюю структуру объекта контроля.

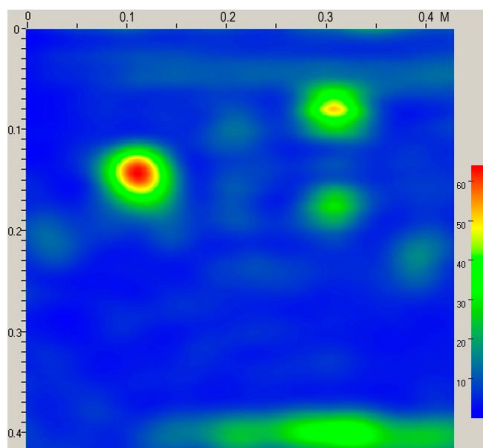


Рис. 2. В-томограмма бетонной плиты, полученная с помощью томографа A1040 «Полигон»

Система координат X , Y , Z , привязанная к антенному устройству томографа, и расположение в ней визуализируемых срезов изображена на рис.3. Видно, что в этой системе координат В-срез расположен в плоскости $X = 0$. С-срезы получаются несколько. Все они расположены в плоскостях, перпендикулярных оси глубин Z . D-срезы тоже несколько. Они перпендикулярны оси Y . На рис.3 показаны только один произвольный С-срез, лежащий на некоторой средней глубине, и главный D-срез, лежащий в плоскости $Y = 0$. Точка пересечения осей координат находится в середине апертуры антенной решётки.

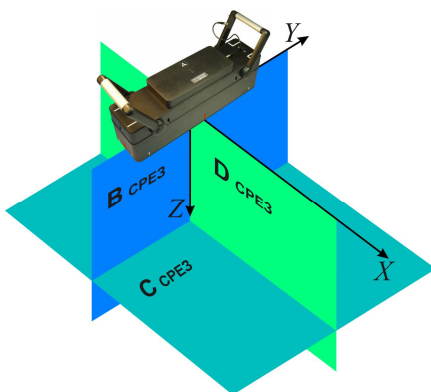


Рис. 3. Система координат томографа A1040 «Полигон» и визуализируемые им сечения в объекте контроля

Сканирование антенным устройством поверхности объекта контроля выполняют вдоль оси X (см. рис.3). Эту ось по-другому называют линией сканирования. Сканирование начинают от выбранной заранее начальной точки на поверхности объекта. Этой начальной точке присваивают значения координат $X = 0, Y = 0, Z = 0$.

На рис.4. приведён вид экрана томографа A1040 «Полигон», на котором показано взаимное расположение В-, С- и D-томограмм. Органами навигации программного оснащения томографа можно выводить на экран любую из снятых в режиме «Сбор» В-томограмму, а также реконструировать из набора этих томограмм любую С- и D-томограмму.

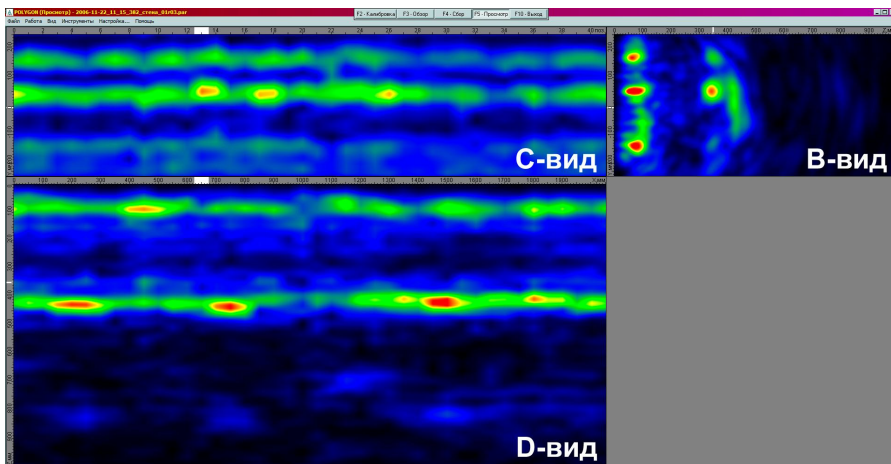


Рис. 4. Расположение В-, С- и D-изображений на экране томографа A1040 «Полигон». Томограммы тубинга туннеля с силовой арматурой 22 мм. Затубинговое пространство забетонировано

Кроме того есть возможность реконструировать любое (В, С и D) усреднённое изображение из нескольких одиночных рядом расположенных томограмм В-, С- и D-типа. Количество усредняемых томограмм и их расположение в массиве записанных данных задаёт оператор. Вместо изображения, усреднённого из нескольких томограмм, можно также построить изображение, каждая точка которого будет иметь уровень яркости (или цвет) равный уровню (цвету) точки с такими же координатами и с максимальным уровнем яркости из анализируемой группы томограмм. Эти две дополнительные возможности (усреднение и выбор максимумов) облегчают детальный анализ полученных изображений.

Все изображения одного типа, отображаются на экране томографа на виде с соответствующим обозначением, например, изображения

D-типа на D-виде и т. д. Оси координат на этих видах направлены следующим образом (сопоставьте с рис.3):

- ось X на С- и D-виде горизонтальна с положительным направлением слева направо по рис.4;
- ось Y на С- и В-виде вертикальна с положительным направлением вверх по рис. 4 и с началом координат в середине изображений;
- ось глубин Z на В-виде направлена вправо, а на D-виде вниз по рис.4.

Изображения на рис.4 получены при контроле железобетонного тьюбинга тоннеля, строящегося на железной дороге Абакан – Тайшет в 250 км от г. Красноярска. Тьюбинг состоит из изогнутых плит толщиной 400 мм, выполненных из высокопрочного бетона В45 (F300 W12) с силовой арматурой диаметром 12 и 22 мм. Радиус изгиба плит равен 4,5 м.

Рис.4 иллюстрирует вид хорошо замоноличенной не корродированной арматуры диаметром 22 мм и возможность измерения координат её расположения (глубины залегания и положения в плане). Сканирование антенным устройством плиты тьюбинга было выполнено с шагом 50 мм вдоль силовой арматуры. Длина линии сканирования 2 м. Записана 41 В-томограмма при 41 позиции антенного устройства. На рис.4 отображена В-томограмма №13. Её положение на оси X С- и D-видов отмечено белыми прямоугольниками. С-томограмма на рис.4 реконструирована с глубины 350 мм. На оси Z В- и D-видов её положение отмечено белым штрихом. D-томограмма на рис.4 реконструирована в плоскости $Y = 0$.

Из рис.4 видно, что арматура лежит на глубинах 50 и 350 мм, что соответствует документации на тьюбинг. В-срез пересекает арматурные стержни, поэтому на В-томограмме видны образы стержней в виде пятен. С-срез проходит по арматуре, лежащей на глубине 350 мм, поэтому образы стержней на С-томограмме представляют собой полосы зелёного цвета. Главный D-срез проходит параллельно арматурным стержням на расстоянии приблизительно 50 мм от ближайшего стержня, поэтому на D-томограмме на глубинах 50-100 мм виден бледный образ арматуры в виде горизонтальной полосы. Образ донной поверхности тьюбинга на D-томограмме отображён полосой на глубине 400 мм. Какие-либо существенные по размерам несплошности бетона отсутствуют.

Кроме того, рис.4 позволяет оценить наличие или отсутствие за донной поверхностью тьюбинга цементно-песчаного раствора, которым обычно бетонируют полости между тьюбингом и грунтом. Его отсутствие приводит к ускоренному разрушению тьюбинга снаружи агрессивной грунтовой средой. Поэтому при строительстве тоннелей и после многих лет их эксплуатации такой контроль проводят с целью нахождения мест, которые необходимо ремонтировать заполнением найденных полостей дополнительным раствором. На рис.4 представлено место, где за тьюбингом полости хорошо забетонированы. На В- и D-томограммах донный

образ достаточно слабый, по сравнению с тем, который обычно бывает при свободной донной поверхности бетона. Более того, на удвоенной глубине еле заметен фантомный образ донной поверхности. Это означает, что за донной поверхностью тубинга хорошее бетонирование и граница тубинг – бетонующий раствор слабо отражает ультразвук.

На рис.5 представлены томограммы другого участка тубинга этого же туннеля. По ним можно судить, что в этом месте за тубингом бетонующий раствор отсутствует. Такой вывод основан на том, что на В- и D-томограммах рис.5 хорошо виден образ донной поверхности на глубине 400 мм и более бледные фантомные образы донной поверхности на удвоенной, утроенной и более глубинах. Это значит, что донная поверхность контактирует с воздухом или, в крайнем случае, с водой и хорошо отражает ультразвук.

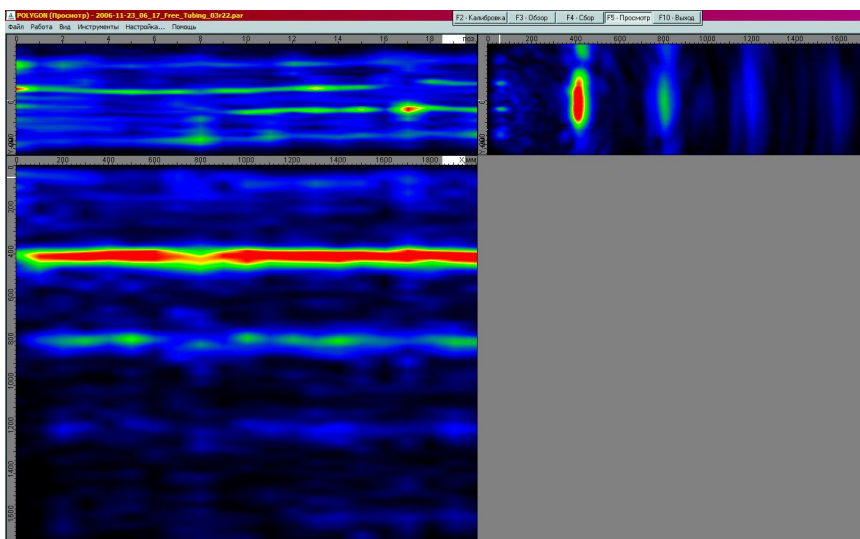


Рис. 5. Томограммы тубинга туннеля с силовой арматурой 12 мм.
Затубинговое пространство не забетонировано

Томограммы, приведённые на рис.5, сняты в той части тубинга, где силовая арматура имеет диаметр 12 мм. Бетон тубинга тот же самый, что и в предыдущем случае. Шаг сканирования антенным устройством был равен 100 мм. Линия сканирования, как и в предыдущем случае, была параллельна стержням арматуры. На рис. 5 показана В-томограмма №19, предпоследняя из записанных. С-томограмма отображает срез, лежащий на глубине 50 мм и содержащий арматуру. D-томограмма, как и на рис.4, реконструирована в плоскости $Y = 0$.

На В-томограмме рис.5, кроме образа донной поверхности, хорошо видны образы арматурных стержней на глубине 50 мм. Эти стержни в плане на С-томограмме также хорошо заметны. В левой части С-томограммы средний и нижний по рис.5 арматурные стержни видны плохо. Это вызвано их провисанием на большую глубину и выходом вследствие этого из плоскости реконструкции. Стержни арматуры на глубине 350 мм на В-томограмме не видны, так как их диаметр слишком мал, чтобы их образы можно было различить на фоне сильного образа донной поверхности. Однако при реконструкции С-томограммы с глубины 350 мм всё же удаётся эти стержни обнаружить.

При контроле эксплуатирующихся железобетонных сооружений очень полезен бывает внимательный осмотр их поверхностей. Часто малозначительные внешние детали помогают правильно интерпретировать внутреннее состояние обследуемой конструкции.

На рис. 6 приведены томограммы пилона канатной дороги, построенной в Москве на Воробьёвых горах в 2002 году. Пилон представляет собой наклонно установленную массивную колонну поперечными размерами приблизительно 700×900 мм с небольшим слоем окрашенной штукатурки. Толщина бетонного массива в той части пилона, где проводили контроль, близка к 700 мм. При проведении контроля на поверхности сканирования никаких видимых нарушений сплошности бетона не было. Однако на боковой поверхности пилона на расстоянии приблизительно 100-120 мм от ребра была видна трещина, параллельная поверхности, по которой было выполнено сканирование пилона антенным устройством. Было пройдено 1400 мм (29 позиций антенного устройства) с шагом 50 мм.

Анализ томограмм (см. рис.6) показал, что на расстоянии 550 мм от начальной точки сканирования внутри массива есть трещина, не выходящая на поверхность и ориентированная перпендикулярно внешней поверхности пилона. Она расположена на глубинах от 50 до 250 мм (см. рис.6, С- и D-томограммы). Кроме того, на С-томограмме, которая реконструирована с глубины 130 мм, где расположена силовая арматура (она наклонена на 300 к линии сканирования) видно, что один из стержней арматуры дал очень яркий протяжённый образ. Этот образ находится на расстояниях 1050-1350 мм от начальной точки сканирования (в правой по рис.6 части С-томограммы). В-томограмма №26, представленная на рис.6, отображает В-срез, проходящий через этот арматурный стержень. Поскольку при просмотре других томограмм вся силовая арматура даёт образы, в среднем, голубого цвета (не выше зелёного), можно предположить, что обнаруженная аномалия ничто иное как корродированный участок арматуры. Найденная при осмотре пилона поверхностная трещина на его боковой поверхности расположена недалеко от этой аномалии. Повидимому через неё влага проникает внутрь конструкции и вызывает коррозию арматуры.

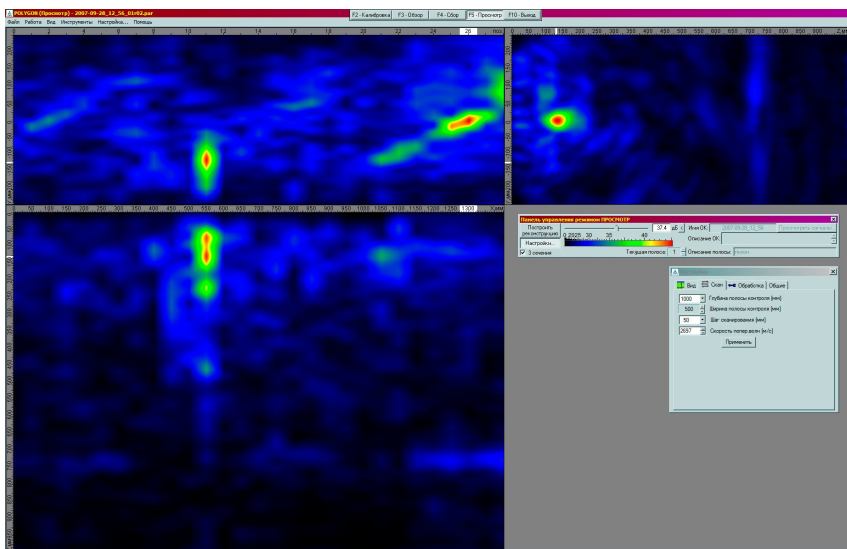


Рис. 6. Томограммы пилона канатной дороги. Толщина массива бетона 700 мм.
Внутренняя трещина на глубинах 50-250 мм, коррозия силовой арматуры
на глубине 130 мм

Ещё пример применения томографа А1040 «Полигон» для контроля уже много лет эксплуатирующегося сооружения. Нагатинский мост, построенный в Москве в 1969 году, совмещает в одном уровне линию метрополитена и полотно для движения автомобильного транспорта. Его пролётное строение выполнено в виде неразрезной железобетонной балки коробчатого сечения, состоящей из блоков, соединённых эпоксидным клеем. Верхняя горизонтальная часть коробчатой балки усилена натянутой тросовой арматурой и защищена от влаги слоем стеклопластиковой гидроизоляции толщиной порядка 5 мм. Поверх гидроизоляции находится защитный слой бетона, на котором смонтированы рельсы метрополитена и уложено покрытие проезжей части.

После почти 40 лет эксплуатации моста внутри коробчатой балки появились протечки, свидетельствующие о нарушениях гидроизоляции. Для оценки объёма работ по ремонту моста важно обнаружить эти места нарушений гидроизоляции, которые вероятнее всего могли возникнуть там, где слой гидроизоляции отслоился от бетона. В таких местах скачок характеристического импеданса на границе между несущим и защитным слоями бетона неизбежно должен быть существенно большим, чем там, где отслоения нет. Используя сплошное сканирование верхней части коробчатой балки УЗ томографом А1040 «Полигон», вполне реально все эти аномальные места зафиксировать. Возможность такой диагностики

моста была проверена путём пробной съёмки нескольких лент данных в разных местах коробчатой балки, как вблизи явно видимых протечек, так и в стороне от них. Сканирование вели изнутри балки по её потолку (рис.7). Полученные результаты показали, что наибольшее количество аномалий расположено именно вблизи видимых протечек.

На рис.8 показаны изображения одной из записанных лент, снятой вдоль моста в той части, где тросовая арматура отсутствует. Толщина основного слоя бетона М500 здесь, согласно чертежам, равна 300 мм. Внутри него есть три слоя силовой арматуры из стержней диаметром 12 мм. Ближайший к поверхности доступа слой находится на глубине 50-60 мм. На этих изображениях только этот слой арматуры виден вполне адекватно. На томограммах типа С и D можно выявить его протяжённые образы зелёного цвета, идущие слева направо. Стержни явно хорошо сцеплены с бетоном (их образы не очень яркие) и не мешают обнаружению аномалий в конструкции. Как видно из рис.8, D-томограмма реконструирована в плоскости $Y = 0$, а С-томограмма отображает срез с глубины 90 мм, где находится какая-то несплошность, давшая яркий образ красного цвета. В-томограмма №36, выведенная на экран, также содержит образ этой несплошности, которая, судя по яркости и виду образа, является сосредоточенной полостью под первым слоем арматуры.

Что касается обнаружения мест отслоений гидроизоляции от основного несущего слоя бетона, то D-томограмма на рис.8 хорошо иллюстрирует эту возможность. В её левой части до координаты $X = 1100$ мм совершенно не виден образ донной поверхности бетона, что свидетельствует о целостности и хорошем сцеплении слоя гидроизоляции как с основным высокопрочным бетоном, так и с верхним защитным слоем бетона, лежащим на слое гидроизоляции. Практически вся энергия УЗ волн проходит через гидроизоляцию в защитный слой менее прочного бетона и рассеивается в нём, отражаясь от акустически нерезкой границы с покрытием проезжей части моста.



Рис. 7. Процесс сканирования конструкции антенным устройством томографа

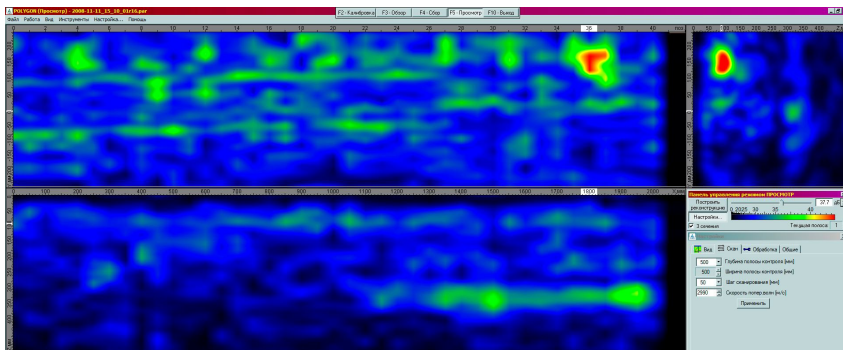


Рис. 8. Томограммы верхней части короччатой балки Нагатинского моста. Сосредоточенная несплошность на глубине 80-100 мм в области нарушенной гидроизоляции

Правее координаты $X = 1100$ мм образ донной поверхности силового бетона становится всё заметнее и при $X = 1350$ мм он уже хорошо виден как полоса зелёного цвета. В этой зоне граница основного бетона и слоя изоляции хорошо отражает ультразвук. Здесь сцепление гидроизоляции с бетоном плохое. При просмотре соседних D-томограмм картина приблизительно такая же, поэтому можно сказать, что ширина отслоения гидроизоляции не менее 0,5 м.

По-видимому, это отслоение имеет ещё и разрыв изоляции, пропускающий влагу в силовой слой бетона. Неизвестная несплошность, яркий образ которой виден на рис.8, вполне могла появиться за долгие годы эксплуатации моста из-за действия, проникшей в бетон, воды, периодически замерзающей и оттаивающей внутри его пор и микротрещин. Точно определить, что это за несплошность можно, конечно, только после выбуривания керна в этом месте. А действительное состояние гидроизоляции можно установить лишь при вскрытии сверху защитного слоя бетона. Радиоволновый метод неразрушающего контроля вследствие сильного армирования бетона здесь бессилён.

Возможность решения ещё одной важной задачи дефектоскопии железобетонных сооружений проиллюстрируем с помощью результатов, полученных нашими зарубежными коллегами. Известно, что многие бетонные конструкции в виде консолей и балок усиливают преднапряжённой арматурой. Пролёты мостов, эстакад обычно содержат десятки нитей такой арматуры, протянутой от одного конца моста к другому. Чаще всего – это стальные тросы, натянутые между опорами пролёта. В частности, в Нагатинском мосту в Москве использованы тросы диаметром 52,5 мм. Тросы обычно располагают пучками в специальных тросовых каналах, которые при строительстве моста после натяжения тросов заполняют бе-

тонным раствором. Это необходимо для защиты тросов от коррозии. В незаполненных местах неизбежно конденсируется влага, и тросы ускоренно ржавеют. Задача состоит в том, чтобы в процессе строительства или уже при эксплуатации сооружения найти в монолите конструкции эти незаполненные бетоном полости в тросовых каналах для последующего заполнения их раствором через просверливаемые отверстия.

Для оценки возможности поиска таких полостей в тросовых каналах наши коллеги из компании Germann Instruments Inc., Эванстон, США (<http://www.germann.org>), изготовили специальный бетонный блок размерами 1000×500×400 мм с цилиндрическим каналом диаметром около 100 мм. Ось канала находится на глубине 190 мм. В канал они поместили пучок тросов и заполнили часть канала длиной 600 мм бетонным раствором. Фотография этого блока приведена на рис.9. Заполненная раствором часть канала находится слева (по рис.9). В левом нижнем углу фотографии показан вид на незаполненную раствором часть канала.



Рис. 9. Экспериментальный блок из бетона с моделью тросового канала. Незабетонированная часть канала справа

Блок просканировали антенным устройством томографа А1040 (экспортный вариант томографа называется «MIRA») по верхней грани слева направо (по рис.9) с шагом 50 мм. Полученные изображения сечений блока показаны на рис.10. На С- и D-томограммах хорошо виден протяжённый образ канала в виде зелёной полосы. Правая (по рис.10) часть образа, отображающая незаполненную бетоном часть канала при X более 600 мм, окрашена красным цветом. На томограмме типа В №15 (X = 750 мм) образ незаполненной бетоном части канала отображён красным пятном с зелёным ореолом.

Из анализа приведённых на рис. 10 изображений следует, что незабетонированные участки тросовых каналов можно отличить от заполненных бетоном участков по более ярким их образам, заметно превышающим по уровню остальные образы «здоровых» участков.

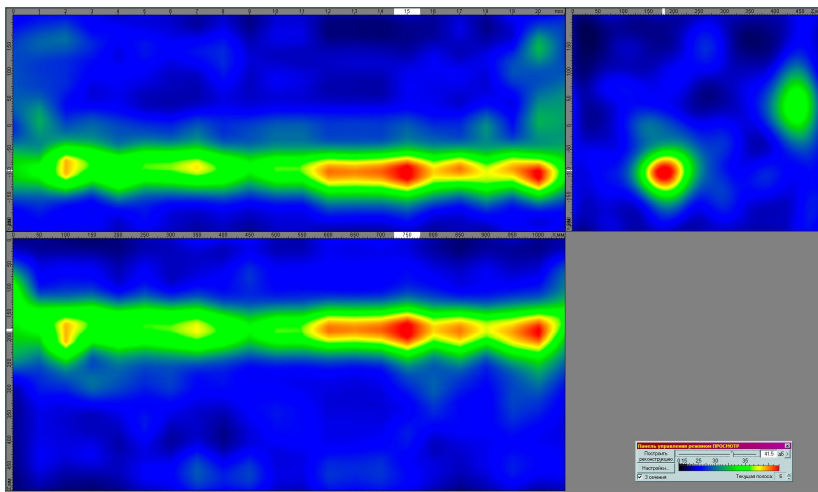


Рис. 10. Томограммы экспериментального блока с моделью тросового канала. Сканирование блока выполнено слева направо по рис. 9

Таким образом, томографический контроль железобетонных конструкций даёт достаточно много информации о размерах конструкции, расположении в ней арматуры, её состоянии, внутренних нарушениях бетона, о наличии какой-либо среды за донной поверхностью конструкции и т.д. Эту информацию вполне можно использовать не только для оценки необходимости ремонта конструкции, но и для прогноза её долговечности.

Некоторый опыт УЗ томографии железобетонных конструкций, накопленный нами и нашими коллегами, активно применяющими в своей практике томограф А1040 «Полигон» и предшествующие ему разработки, показал, что для интерпретации полученных изображений, для оценки степени нарушений сплошности бетона нельзя напрямую использовать методы высокочастотной УЗ дефектоскопии. Бетон и тем более железобетон настолько неоднородные и непредсказуемые по своей структуре материалы, что методы сравнения амплитуд (яркостей) выявленных образов с заданным опорным уровнем от контрольного отражателя в стандартном образце здесь малоприменимы. И стандартный образец сделать проблематично, и никакой контрольный отражатель не позволит смоделировать реальное нарушение сплошности конструкции, например, область рыхлого бетона или полость с остатками корродированной арматуры. Поэтому основными критериями качества внутренней структуры конструкции из бетона являются общий уровень структурного шума томограммы и степень превышения над ним яркостей образов различных неоднородностей, как конструктивных, известных априори, так и неизвестных, которые могут быть опасными дефектами конструкции.

Библиографический список

1. Зашук И.В. Электроника и акустические методы испытания строительных материалов. – М.: Высшая школа, 1968. 248 с.
2. Импульсный эхо-метод при контроле бетона. Помехи и пространственная селекция / А.В. Ковалёв, В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин, Н.Н. Яковлев // Дефектоскопия, 1990, №2, с. 29-41.
3. Corl P.D., Grant P.M., Kino G.S. A Digital Synthetic Focus Acoustic Imaging System for NDE. – Proc. IEEE Ultrasonics Symp., 1978, pp. 263-268.
4. Gaydecki P. A., Burdekin F. M. Nondestructive Testing of Reinforced and Pre-stressed Concrete Structures. // Nondestructive Testing and Evaluation., 1998, Vol. 14, pp. 339-392.
5. Azar L., Wooh S-C. Experimental Characterization of Ultrasonic Phased Arrays for Nondestructive Evaluation of Concrete Structures. // Materials Evaluation, 1999. No.2. pp. 134-140.
6. Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы. // В мире неразрушающего контроля. 2002. №2 (16). С. 6-10.
7. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н. Ультразвуковые низкочастотные пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для неразрушающего контроля. // Контроль. Диагностика. 2003. №2. С. 30-39.