

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ И ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

ASSESSMENT OF TECHNICAL STATE OF LARGE-DIMENSION AND LENGTHY CONCRETE/REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

П.А. Знайченко

P.A. Znaichenko

При определении технического состояния крупногабаритных и протяженных конструкций из бетона и железобетона использование традиционных методов неразрушающего контроля связано с большими материальными и временными затратами, так как требуется большое число измерений.

Однако, трудоемкость и стоимость работ можно уменьшить, если использовать методы исследования, позволяющие быстро и достоверно дать оценку состояния конструкций. Такими методами являются геофизические методы неразрушающего контроля.

Assessment of technical state of large-dimension and lengthy concrete/reinforced concrete structures with the use of traditional non-destructive methods is connected with substantial expenditures of time and money, as large number of measurements is required.

However labour consumption and cost of works can be lowered if we use testing methods allowing to get a quick and certain assessment of structural state, for example geophysical methods.

Традиционные методы изучения состояния конструкций из железобетона, связанные в основном с разрушением образцов материала и отдельных элементов конструкции, не всегда способны в полной мере дать ответ на вопрос о действительном ее состоянии. Многие методы неприменимы для изучения состояния бетона эксплуатируемых сооружений, а именно с такого рода работами чаще всего приходится иметь дело. Кроме того, получение подобной информации в современных условиях требует значительных затрат средств и времени. Отсюда очевидно следует, что роль неразрушающих методов конструкций и сооружений все более возрастает. Арсенал этих методов достаточно велик, они в значительной степени дополняют друг друга, позволяют проводить взаимный контроль, повышать достоверность и информативность получаемых результатов.

В последние годы в диагностике состояния железобетона выделяется группа геофизических методов. Их использование отличается относительной оперативностью получения информации, что дает возможность быстрого изучения значительных объемов конструкции. Кроме того, геофизические методы позволяют изучать не только приповерхностную часть, но - в случае надобности -

весь бетонный массив в целом. Причем сооружения могут иметь как весьма значительные размеры, (например, гидротехнические сооружения), так и большую протяженность (например, тоннели).

Для увеличения результативности информации и повышения эффективности работ необходимо комплексное применение всех возможных вариантов исследований, основанных на использовании энергии механических (сейсмический, вибравакустический, ударно-акустический методы) и электромагнитных (георадиолокационный метод) колебаний.

Как известно, любое сооружение из бетона и железобетона требует периодической диагностики повреждений для принятия своевременных мер по ремонту и усилению конструкций. Крупные аварии, произошедшие в последнее время, настоятельно указывают на необходимость своевременного проведения оценки состояния конструкций [1].

Основной задачей диагностики состояния строительных элементов из бетона и железобетона является обнаружение скрытых дефектов: трещин, трещиноватых участков, нарушения сцепления арматуры с бетоном. Следует учитывать, что при больших размерах конструкции применение, например, ультразвукового метода (возможно изучение бетона толщиной до 1.5 м) не дает полного представления о ее состоянии.

В последнее время предпринимаются шаги по применению сейсмического метода исследования, основанного на распространении в бетоне упругих волн. Однако, в этом случае мы имеем более низкую, по сравнению с ультразвуком, разрешающую способность, обусловленную низким частотным диапазоном излучаемой энергии. Тем не менее, с появлением современных цифровых приборов с регистрацией частот до 8000-10000 Гц появилась возможность работать с более высокочастотными источниками колебаний. В зависимости от выбранной методики проведения сейсмических исследований могут быть зарегистрированы волновые поля различных типов: прямые, преломленные, рефрагированные, поверхность, отраженные, обменные, сдвиговые.

Наблюдения могут проводиться по методике сквозного прозвучивания, прозвучивания при одностороннем доступе к поверхности и прозвучивания по методике продольного профилирования. Наиболее достоверных результатов можно достичь, используя метод сейсмической томографии. Результатом таких исследований являются томографические разрезы конструкции, отображающие изолинии равных скоростей упругих волн. Участки с пониженной скоростью характеризуются наличием разнообразных скрытых дефектов.

Методика получения результатов при этом обычно заключается в следующем: по одной стороне конструкции размещаются приемники колебаний; возбуждение колебаний осуществляется по противоположной стороне с определенным шагом. Полученные «лучевые» скорости интерполируются в специализированных программах и по результатам строятся карты распределения скоростей. Используя эмпирические зависимости и оценочные шкалы, можно перейти от значений скорости к более понятным в инженерной практике значениям прочности.

Следует подчеркнуть, что при использовании сейсмотомографии необходимо обеспечить получение многократного перекрытия «лучей» и ис-

ключить образование «мертвых зон». Поскольку «лучевая скорость» является средней величиной (т.е. интегральной лучевой суммой), то для обеспечения достоверной картины количество лучей, пересекающих каждый выбранный квадрат интерполяции на томографической плоскости должно быть максимально возможным.

В практике конструкции на эксплуатируемых объектах не всегда имеют открытые со всех сторон поверхности. Это затрудняет реализацию геометрической схемы измерений «поверхность-поверхность». Задачу можно решить, пробурив в бетоне скважину и из нее производить возбуждение колебаний, а прием сигнала осуществлять на сейсмоприемники, размещенные с определенным шагом на поверхности. Но такая геометрическая схема («скважина-поверхность») менее информативна. В случае еще более стесненного доступа к поверхностям конструкций возможно применение другого метода исследований, также основанного на распространении в бетоне упругих волн – ударно-акустического.

Для ударно-акустического или, как его называют по другому – эхо-импульсного, метода информативными волнами являются продольные Р-волны. Распространяясь внутри конструкции, они многократно переотражаются от границ раздела сред с различными значениями акустического сопротивления. Таким образом, происходит отражение волн либо от противоположных граней конструкции, либо от внутренних дефектов. Данный эффект получил название «толщинного резонанса». Отраженные колебания регистрируются измерительным преобразователем, а затем производится преобразование сигнала временной области в сигнал частотной области с использованием операции быстрого преобразования Фурье. Доминирующий спектральный выброс определяет центральную частоту спектра. Данная частота называется «частотой толщинного резонанса». С ее помощью можно оценить толщину конструкции «Т» (или глубину дефекта), исходя из следующего равенства:

$$T = \frac{C_p}{2f}, \quad (1)$$

где C_p – скорость продольной волны в исследуемой конструкции;

f – частота толщинного резонанса.

Метод не требует специальной подготовки поверхности бетона. Компактный датчик прикладывается к поверхности, а система возбуждения колебаний состоит из нескольких металлических шариков разной массы.

Границы применения этого метода достаточно широки. За рубежом накоплен большой опыт по применению метода для решения самых разнообразных задач. Возможна, например, оценка качества сцепления арматурных стержней с бетоном после значительного динамического воздействия на конструкции как в условиях, когда бетон еще не набрал требуемой минимальной прочности, так и в случае использования уже готовых конструкций [2].

Однако, ударно-акустический метод при кажущейся простоте измерений требует сложной интерпретации результатов. Более грубым, но более производительным инструментом по выявлению дефектов может служить вибраакустический метод неразрушающего контроля.

Если рассматривать часть железобетонной конструкции над дефектом как упругую пластину, то при гармоническом или импульсном возбуждении ее внешней силой будут возникать изгибные моды и на определенных частотах наблюдать резонансные явления. С другой стороны, видно, что в случае отсутствия дефектов в конструкции амплитуда ее колебаний на тех же резонансных частотах будет меньше, чем при колебаниях ее части в свободном состоянии (над дефектом) вследствие демпфирования изгибных колебаний. На основании этого можно предложить метод определения дефектов, физическая сущность которого чрезвычайно проста и заключается в возбуждении резонансных изгибных мод участка конструкции над дефектом. После этого можно измерять амплитуду колебаний на этом участке и наблюдать увеличение амплитуды, что и будет служить информативным признаком наличия дефекта. Однако практическая реализация данной идеи связана с решением двух задач. Во-первых, необходимо определить степень увеличения амплитуды изгибных колебаний над дефектом, так как при малом отношении амплитуд надежность такого метода будет низкой. Во-вторых, необходимо решить каким образом можно вызвать изгибные колебания в конструкции в заданном диапазоне частот. Подбор методики измерений для каждого объекта особый. Однако, при подобранный системе возбуждения и установленной величине изменения амплитуды сигнала возможно чрезвычайно быстрое обследование значительных объемов строительных конструкций [3].

Еще более проблематично исследование протяженных конструкций, длинные грани которых недоступны – различных бетонных и железобетонных свай и подпорных стен. Контроль их качества – важная практическая проблема, решить которую пытаются разными методами. В мировой практике предлагается множество решений этой задачи. Однако все они сводятся к следующему. В оголовке сваи возбуждаются упругие колебания, которые распространяются вниз вдоль сваи и, отражаясь, вновь возвращаются к вершине сваи с искажением, если встречают на своем пути препятствия (трещины и т.п.). Этот метод до известной степени аналогичен методу, который применяется для проверки металла с помощью отраженного импульса. Для применения описанного метода следует учитывать состояние верха сваи, где происходит наибольшее затухание импульса в трещиноватом бетоне и потерю энергии ввиду излучения в окружающий грунт. В качестве источника упругих волн может быть использован какой-либо механический импульс.

Отражение, возникшее после распространения упругой волны вдоль сваи в прямом и обратном направлении, затухает в 20–50 раз, поэтому его усиливают. Для того чтобы не исчез первый сигнал и его не перекрыл отраженный сигнал, применяется экспоненциальный усилитель. Наконец, после прохождения фильтра высоких частот благодаря резонансу верхушки сваи сигнал фиксируется прибором.

Метод позволяет обнаружить разрушение для свай длиной от 0 до 15 м. Иногда возникают следующие трудности:

- сваи «без дна», в которых не возникало отражение. В этом случае не представляется возможным утверждать о глубине заложения сваи и состоянии бетона в ней;

- сваи «резонансные». От указанных свай возникает резонанс, который «забивает» сигнал от ударного импульса и препятствует различению отражения, возникшего в результате разрушения свай [4].

Использование в изучении строительных конструкций электромагнитного излучения известно с 60-70-х годов прошлого века, когда появились приборы, в основе работы которых лежит распространение электромагнитных волн в бетоне. Однако, все они ориентированы на работу с железобетоном, т.е. принцип их действия построен на отражении от металла. Соответственно назначение таких приборов - поиск арматуры и определение ее диаметра, установление толщины защитного слоя бетона, прогнозирование коррозионного состояния арматурного каркаса.

Изучение с помощью электромагнитных волн непосредственно тела бетона — новый метод, связанный с появлением высокочастотных антенн в георадиолокационном методе исследований.

Георадиолокация — молодой, динамично развивающийся во всем мире метод изучения геологических сред, который по мере развития аппаратурной базы переносится на изучение строительных конструкций. При этом возможно как применение многоцелевых приборов с набором антенн, работающих в разных диапазонах частот, так и использование узкоспециализированных аппаратов для решения конкретных задач.

Возможности применения метода георадиолокации обусловлены электрофизическими свойствами среды: удельным затуханием и скоростью распространения электромагнитных волн и, в конечном итоге, определяются ее диэлектрической проницаемостью [5].

Выделение дефектов в бетоне - задача не всегда решаемая, но при определенных условиях (например, при высокой влажности тела бетона) можно получить убедительные результаты. Интерпретация материалов георадиолокационных исследований по бетонным и железобетонным конструкциям заключается в определении их строения и выделении локальных объектов: дефектов и трещин, металлических элементов (арматурный каркас, закладные элементы), трещиноватых и дефектных участков. Металлические элементы конструкции определяются в любом бетоне и при любых условиях по наличию дифракционных гидографов, имеющих гиперболическую форму. Отдельные трещины и дефекты определяются в виде субвертикальных нарушений осей синфазности отраженного сигнала.

Трещиноватые и дефектные участки выделяются по признаку уменьшения частоты сигнала, имеющего на верхней отражающей границе, как правило, резонансный характер.

Для выделения участков повышенного увлажнения конструкций, имеющих постоянный контакт с водой, обычно применяют математическую обработку сигнала - преобразование Гильберта для мгновенных амплитуд. Эта процедура обработки предназначена для преобразования каждой трассы записи в новый вид в соответствии с комплексным преобразованием Гильберта, сводящимся к тому, что трасса — действительная функция времени — представляется в виде комплексной функции со своим модулем и фазой.

Примечателен в плане использования геофизических методов опыт лаборатории «Контроль строительства и эксплуатации инженерных соору-

жений» ЗАО «Триада-Холдинг». Без «геофизики» сейчас не обходится практически ни одно обследование. Хорошее аппаратурное оснащение лаборатории позволяет решать сложные задачи, большинство из которых уникально. Везде, при обследовании сооружений, когда речь идет о больших размерах и объемах строительных конструкций - будь то определение заобделочных пул-

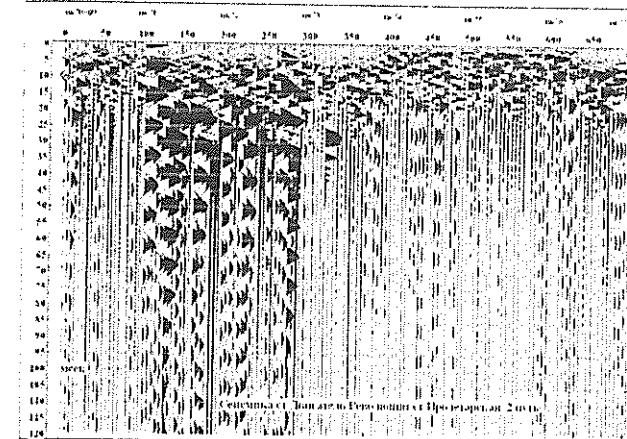


Рис. 1 Пространственно-временной разрез, полученный в результате сейсмических исследований обделки тоннеля метрополитена, отображенный методом отклонений с зачернением

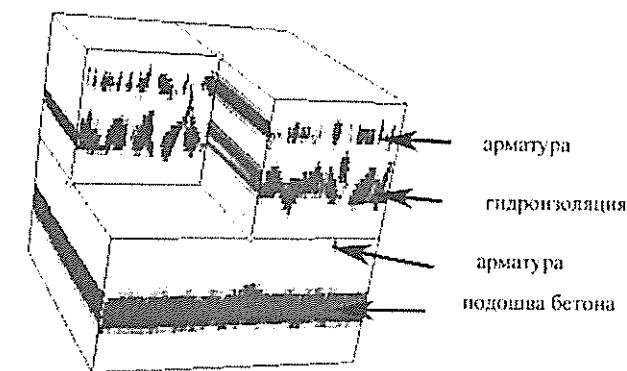


Рис. 2 Трехмерное представление строения днища резервуара чистой воды, полученное по результатам георадиолокационных исследований

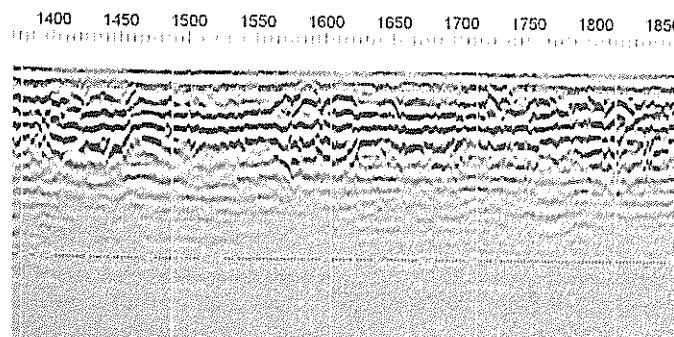


Рис. 3 Пространственно-временной разрез, полученный в результате георадиолокационных исследований обделки канализационного коллекторного тоннеля, отображенный методом переменной плотности

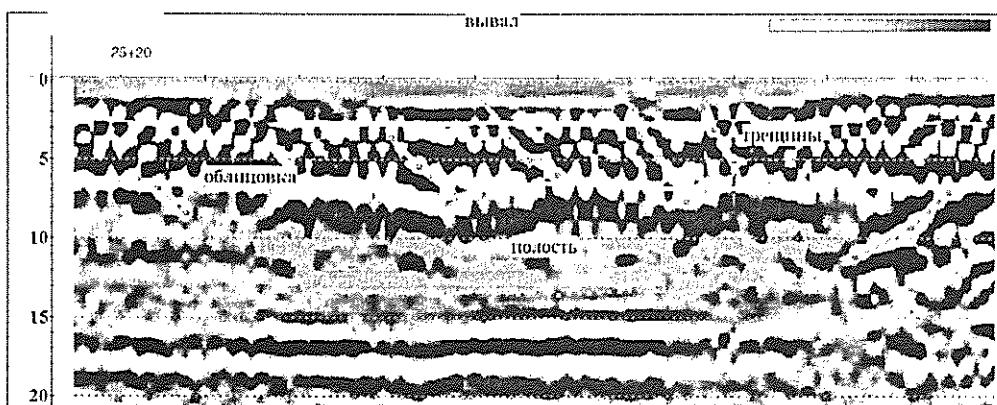


Рис.4 Результаты интерпретации заобделочных пустот и трещин в обделке деривационного тоннеля (георадиолокационные исследования)

стот в деривационном тоннеле протяженностью более 4000 м или диагностика состояния обделки перегонных тоннелей метрополитена протяженностью более 6000 м или уточнение строения и состояния днища резервуаров для хранения воды площадью от 6400 до 10000 м² — геофизические методы приходят на помощь.

Литература

1. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций. — Издательство Ассоциации строительных вузов, - Москва, 2001
2. Yu-Feng Lin, Yiching Lin, Bo-Yau Tsai Evaluating Bond Quality at Interface between Reinforcing Bars and Concrete Using Impact-Echo Method, ACI Materials Journal/ March-April 2004
3. В.С.Ямщикков, Ю.Н.Бауков, Е.Е.Сидоров. Горная геофизика. Вибраакустический метод.- Издательство Московского горного института, Москва, 1991 г.
4. Джонс Р., Фэксаору И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. — Стройиздат, Москва, 1974
5. Владов М.Л, Старовойтов А.В. «Георадиолокационные исследования верхней части разреза» - Издательство Московского Университета., Москва, 1999.

Автор

Знайченко Павел Александрович

ЗАО «Триада-Холдинг», Москва, Россия

Старший инженер

123308 Москва, пр-т Маршала Жукова, д.6, стр.2

Тел. (095)956-1504, 956-1852, 234-1610 Факс (095)234-3884

E-mail: trhold@comail.ru