

МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ ПРИ РЕШЕНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

А.М.Кириленко, П.А.Знайченко, А.Ю.Бауков

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, эту ситуацию можно обойти, если использовать методы исследования, позволяющие быстро и достоверно дать оценку состояния конструкций. Такими методами являются геофизические методы неразрушающего контроля.

Традиционные методы изучения состояния строительных конструкций связаны в основном с разрушением образцов материала и вскрытием отдельных элементов. Методы неразрушающего контроля не всегда способны в полной мере дать ответ на вопрос о действительном их состоянии. Многие методы неприменимы для изучения состояния материала эксплуатируемых сооружений, а именно с такого рода работами чаще всего приходится иметь дело. Кроме того, полученная информация носит локальный характер и не дает полного представления о состоянии конструкции. Отсюда очевидно следует, что необходим поиск новых методов неразрушающего контроля, которые в комплексе с традиционными методами, позволят повысить достоверность исследований.

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 и в случае надобности весь бетонный массив в целом. Причем сооружения могут иметь как весьма значительные размеры, например гидротехнические сооружения, так и иметь большую протяженность, например тоннельные обделки.

Для увеличения результативности информации и повышения эффективности использования методов необходимо комплексирование всех возможных вариантов. Далее мы рассмотрим группу геофизических методов испытания железобетонных конструкций, основанных на использовании энергии механических колебаний: сейсмический метод, виброакустический метод, ударно- акустический метод. А также георадиолокационный метод, основанный на распространение в изучаемой среде электромагнитных колебаний.

Как известно, любое сооружение из бетона и железобетона требует периодической диагностики повреждений для принятия своевременных мер по ремонту и усилению конструкций. Крупные обрушения конструкций с человеческими жертвами произошедшие в последнее время настоятельно диктуют необходимость проведения оценки состояния [1].

Основной задачей диагностики состояния конструкций из бетона и железобетона является обнаружение скрытых дефектов: трещин, трещиноватых участков, нарушения

сцепления арматуры с бетоном. При больших размерах конструкции применение, например ультразвукового метода не дает полного представления о ее состоянии.

В последнее время предпринимаются шаги по применению к изучению конструкций сейсмического метода основанного на распространении в бетоне, как и в ультразвуке, упругих волн. Однако, камнем преткновения здесь выступает гораздо более низкая по сравнению с ультразвуком разрешающая способность обусловленная существенно более 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, поверхностные, 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 в конструкции. 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 же 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 обеспечение получения многократного перекрытия «лучей», и исключения образования «мертвых зон». Поскольку «лучевая скорость» является средней по лучу величиной (т.е. интегральной лучевой суммой) 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, пробуравив в бетоне скважину и из нее производить возбуждение колебаний, а прием сигнала осуществлять на сейсмоприемники, размещенные с определенным шагом на поверхности. 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.

Если рассматривать часть железобетонной конструкции над дефектом, как упругую пластину, то при ее возбуждении внешней силой (гармоническом или импульсном) будут возникать изгибные моды и на определенных частотах наблюдаться 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 таких дефектов, физическая сущность которого чрезвычайно проста и заключается в следующем. Если конструкцию возбуждать каким-либо образом в

диапазоне частот, в котором располагаются значения возможных резонансных изгибных мод участка конструкции над дефектом, и измерять амплитуду колебаний, на этом участке можно наблюдать увеличение амплитуды, что и будет служить информативным признаком наличия дефекта. Однако практическая реализация данной идеи связана с решением двух основных вопросов. Во-первых, необходимо знать степень увеличения амплитуды изгибных колебаний над дефектом, так как при малом отношении амплитуд надежность такого метода будет низкой. Во-вторых, необходимо практически решить вопрос о возбуждении изгибных колебаний в заданном диапазоне частот. Поэтому подбор методики здесь для каждого объекта особый. Зато когда подобрана система возбуждения и установлена величина изменения амплитуды сигнала возможно чрезвычайно быстрое обследование больших 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 предлагаются множество решений этой задачи. Однако все эти решения сводятся к следующим соображениям. В оголовке сваи возбуждаются упругие колебания, которые распространяются вниз вдоль сваи и отражаясь вновь возвращаются к вершине сваи с искажением, если встречаются 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 следующее: состояние верха головы 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 механический импульс, полученный от удара молотком либо другое ударное устройство.

Отражение, возникшее после распространения упругой волны вдоль сваи в одном направлении, а затем в обратном, затухает в 20—50 раз, поэтому его усиливают. Для того чтобы не исчез первый сигнал, а также, чтобы 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. Трудности, которые иногда возникают, следующие:

- 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 сваи [4].

Использование в изучении строительных конструкций электромагнитного излучения - не новость в диагностическом деле. Еще в 60-70-х годах прошлого века 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. Назначение таких приборов, соответственно, 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 аппаратной 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 голограмм, 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 в новый вид в соответствии с комплексным преобразованием Гильберта, сводящимся применяют математическую обработку сигнала - преобразование Гильберта для мгновенных амплитуд. Эта процедура обработки предназначена для преобразования каждой трассы записи 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 сооружений" ЗАО "Триада-Холдинг". Без «геофизики» сейчас не обходится практически ни одно обследование. Хорошее аппаратное оснащение лаборатории позволяет решать сложные задачи, большинство из которых уникально. Везде, где речь идет о больших размерах и объемах будь то определение заобделочных пустот в деривационном тоннеле протяженностью более 4000 м или диагностика состояния обделки перегонных тоннелей метрополитена общей протяженностью более 6700 м или уточнение строения и состояния днища резервуаров для хранения воды площадью от 6400 до 10000 м² – геофизические методы приходят на помощь.

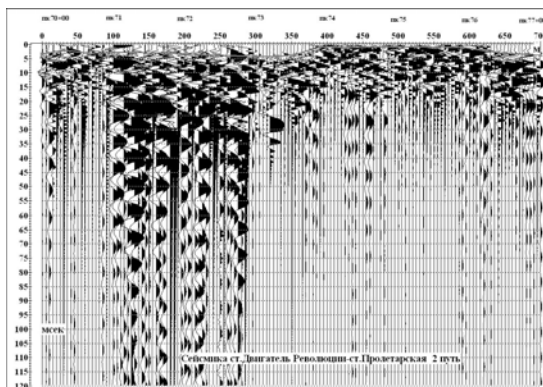


Рис.1 Пространственно-временной разрез, полученный в результате сейсмических исследований обделки тоннеля метрополитена, отображенный методом отклонений с зачернением

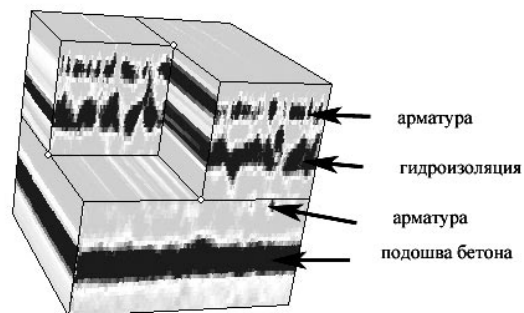


Рис.2 Трехмерное представление строения дна резервуара чистой воды, полученное по результатам георадиолокационных исследований

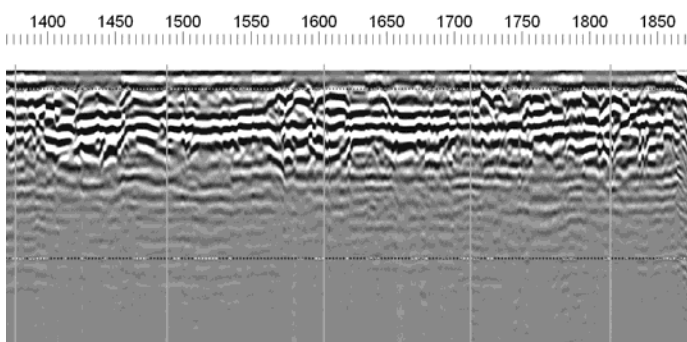


Рис.3 Пространственно-временной разрез, полученный в результате георадиолокационных исследований обделки канализационного коллекторного тоннеля, отображенный методом переменной плотности

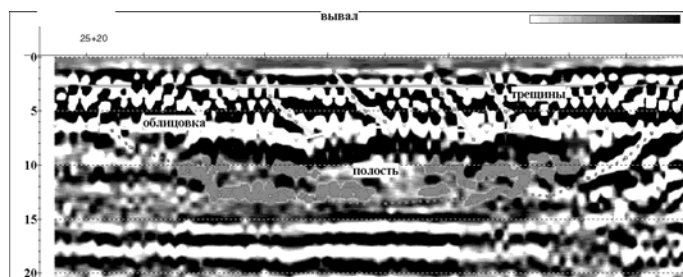


Рис.4 Результаты интерпретации заобделочных пустот и трещин в обделке деривационного тоннеля (георадиолокационные исследования)

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.Ямщиков, Ю.Н.Бауков, Е.Е.Сидоров Горная геофизика. Виброакустический метод.- Издательство Московского горного института, Москва, 1991 г.
4. Джонс Р., Фэкзоару 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.