

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БЕТОНА ЭЛЕМЕНТОВ  
ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ**

***В.Г. Штенгель***

*Ведущий научный сотрудник отдела «Диагностика сооружений, механического  
оборудования и сопровождение спецработ»,  
«РусГидро» ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», г. Санкт-Петербург,  
кандидат технических наук*

Гидротехнические сооружения обладают рядом индивидуальных особенностей, например, таких как:

- высокий уровень ответственности сооружений, разрушение которых могут сопровождаться значительными ущербами экономического, социального и экологического характера;
- длительность строительства, охватывающая различные календарные периоды времени;
- сочетание бетонов различных составов как монолитных, так и сборных конструкций при наличии значительного количества швов и сопряжений элементов;
- сложность учета всех особенностей напряженно-деформированного состояния сооружения на проектном этапе и, соответственно, фактическое отклонение его от проекта с изменением в процессе строительства, адаптации и длительной эксплуатации;
- сложность геометрии сечений многих конструкций и неблагоприятное сочетание нагрузок и воздействий внешних агрессивных факторов.

Теоретически по нормативным требованиям эти конструкции должны находиться под постоянным контролем с проведением профилактических ремонтных мероприятий для обеспечения долговременной надежной работы. На практике финансирование контроля и ремонта проводится по остаточному принципу, а техническое обследование проводится только при проявлении значительных нарушений эксплуатации установленного на конструкциях оборудования или при реконструкции сооружений в процессе технического перевооружения. Вместе с тем, вовремя проведенный превентивный ремонт позволяет экономить значительные средства, которые могут потребоваться для ликвидации развитых дефектов и усиления конструкций. Объем и оптимальная технология ремонтных мероприятий определяется на основании результатов комплексного технического обследования. Опасность появления аварийных ситуаций техногенного характера заставила обратить внимание на состояние длительно эксплуатирующихся ответственных сооружений.

Как показывает опыт эксплуатации гидротехнических сооружений в нашей стране и за рубежом, по истечении определенного периода (в

среднем 25 лет) процессы старения на ряде сооружений могут приобретать интенсивный характер, что, в свою очередь, может привести сооружение к полному разрушению.

Интенсивность старения сооружений зависит от следующих факторов:

- способ возведения и особенности конструкции;
- качество выполненных строительных работ;
- воздействия нагрузок на сооружение;
- качество эксплуатации: эксплуатационный уход, проведение профилактических ремонтных работ;
- длительность эксплуатации.

При многофакторном анализе состояния гидротехнических сооружений необходимо прежде всего обратить внимание на:

- изменение условий эксплуатации за прошедший период: нагрузки, уровни, расходы;
- соответствие сооружений современным требованиям и действующим нормативным документам;
- состояние и достаточность контрольно-измерительной аппаратуры (КИА);
- состояние дренажных и водоотводящих устройств;
- состояние тела плотины, видимые дефекты и нарушения, наличие просядок и трещин, необратимые деформации.

В бетонных гидротехнических сооружениях должна производиться проверка прочности бетона на участках, подверженных воздействию динамических нагрузок, фильтрующейся воды, минеральных масел, регулярному промерзанию и расположенных в зонах переменного уровня.



Рис. 1. Фильтрационное выщелачивание бетона в зоне дефектного шва между блоками бетонирования и через трещины в монолитном бетоне



Рис. 2. Разрушения монолитного бетона в узле опоры балки на массивную стену из-за протечек по швам между блоками бетонирования



Рис. 3. Фильтрационное выщелачивание бетона в служебную галерею ГЭС в зоне дефектного шва между ярусами бетонирования



Рис. 4. Разрушение бетона бычка плотины в зоне переменного уровня воды с обнажением и коррозией арматуры

При снижении прочности конструкций сооружений по сравнению с установленной проектом они должны быть усилены.

Помимо перечисленных выше основных требований, бетонные гидротехнические сооружения должны удовлетворять ряду специфических требований, определяемых особенностями бетона как строительного материала и условиями работы бетонных сооружений, главным образом, под воздействием скоростного потока воды.

Слабым местом напорных гидротехнических сооружений являются строительные швы; причины этого – некачественное сцепление бетона между блоками бетонирования и неблагоприятные условия для проработки бетона вблизи опалубки. Обычно цементация строительных швов осуществляется в ходе строительства. Однако и в дальнейшем необходимы и контроль за их состоянием, и своевременное омоноличивание.

На гидротехнических сооружениях, как правило, устанавливаются оборудование и аппараты, использующие смазочные и электроизоляционные минеральные масла. Утечка масел и пропитка ими бетона (особенно швов между блоками) приводят к нарушению сплошности бетонного массива, что равносильно потере его несущей способности (рис.5). Места пропитки маслом должны быть поставлены под наблюдение. Бетон, пропитанный маслом и потерявший прочность, должен быть удален и заменен новым.

Массивные монолитные конструкции гидротехнических сооружений имеют свои особенности. Сложности практического исполнения технологических приемов при бетонировании таких конструкций приводят к наличию многочисленных трещин раскрытием более нормативной величины 0,3 мм, а также швов как между блоками бетонирования, так и внутри массивных блоков из-за нарушения цикличности процессов укладки бетона.



Рис. 5. Фильтрация масла через монолитный бетон массивного перекрытия (вид снизу)

Характер укладки, уплотнения и твердения массивного монолитного бетона в сооружениях типа ГТС отличается от таковых в большинстве конструкций гражданского назначения. При укладке массивного бетона с помощью мощных глубинных вибраторов происходит частичное расслоение бетонной смеси как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Поверхность укладываемого в блоки бетона, а также зоны, примыкающие к вертикальной опалубке, обогащаются цементным раствором, мелкими фракциями песка и обедняются крупным заполнителем. Это может существенно сказаться на показаниях контрольной аппаратуры, использующей эти слои в качестве источника информации о характеристиках бетона блоков. Часто при высоте блоков 1,5 м и более указанное расслоение особенно сильно проявляется в нижних слоях блоков вследствие двух-, трехкратной вибрационной проработки бетонной смеси.

Температурно-влажностные условия при твердении бетона в глубинных слоях массивных конструкций и в его слоях, примыкающих к поверхностям, существенно различаются между собой. Вследствие этого механические характеристики бетона в глубинных слоях могут быть выше, чем в поверхностных. Кроме того, на состояние наружных боковых граней элементов ГТС оказывают влияние атмосферные воздействия, перепад температур в направлении грань-центр блока, что обычно проявляется в образовании микро- и макротрещин в бетоне граней. Они существенно искажают результаты ультразвуковых испытаний бетона, полученные при поверхностном прозвучивании. Игнорирование этих особенностей может привести к существенному искажению акустических, и, соответственно, определяемых по ним механических характеристик массивного бетона.

Поверхностные наружные слои бетона конструкций постоянно подвергаются воздействию увлажнения, знакопеременным температурным воздействиям, инсоляции и другим внешним агрессивным влияниям внешних факторов. Например, при исследовании бетона низовой грани плотины Чиркейской ГЭС и того же бетона в служебных галереях-потернах в теле плотины выявлено, что наружные поверхностные слои из-за атмосферного влияния имеют деструкцию на глубину до 50 мм, в то время как в поверхностных слоях стен галерей деструктивный процесс отсутствует.

В гидротехнических сооружениях многие конструктивные железобетонные элементы имеют металлические облицовки или железобетон используется как опорный элемент для металлических конструкций из листового металла (напорные водоводы, водосбросы, спиральные камеры, пазовые конструкции и др.). Практика эксплуатации показала, что контакт металла с бетонным основанием часто нарушается под воз-

действием различных факторов как в ходе строительства, так и в процессе эксплуатации. Это приводит к образованию заоблицовочных полостей и к возможному дальнейшему развитию их до значительных размеров. В свою очередь, эти полости, как воздушные, так и водозаполненные, формируют условия для развития коррозии металла с внутренней стороны облицовки, контактирующей с бетоном, и способствуют созданию условий для возникновения локальных динамических нагрузок в металле. Имеются отдельные участки облицовки, находящиеся в особо тяжелых динамических условиях работы (тонкая упругая мембрана, колеблющаяся под действием значительной пульсационной нагрузки, генерируемой лопастной системой рабочего колеса или кавитационными процессами), что способствует быстрому накоплению локальных усталостных повреждений в металлоконструкциях и существенно снижает их надежность.

Примеры таких повреждений: вырывы участков облицовки камер рабочих колес (КРК), участков листов металла сопрягающих поясов КРК с опорным конусом, участков металлической облицовки закрытой части водосбросов на Саяно-Шушенской ГЭС (площадь вырыва до  $2 \text{ м}^2$ ). Выявлены крупноразмерные полости за металлической облицовкой сталежелезобетонных турбинных водоводов Саяно-Шушенской ГЭС, на внутренней стороне которой обнаружена активная коррозия (рис. 6-8). В частности, при ремонте в полости за облицовку участка водовода №3 было заинъектировано более  $5 \text{ м}^3$  ремонтного раствора.



Рис.6. Оценка состояния металла в зоне вырывов металлической облицовки сталежелезобетонного турбинного водовода Саяно-Шушенской ГЭС



Рис. 7. Отрыв листа металлической облицовки лотковой части секции горизонтального участка закрытой части водосброса.  
Фрагмент



Рис. 8. Разрушение бетона под оторванным листом металлической облицовки секции участка закрытой части водосброса на глубину не менее 8 см

При контроле крупногабаритных конструкций, характерных для энергетических и гидротехнических сооружений, наиболее эффективна ультразвуковая дефектоскопия. Это связано с тем, что особенностью ультразвукового контроля массивных конструкций является практически стопроцентная возможность обеспечить при сквозном прозвучивании условия распространения упругих волн в бетоне, как в неограниченной трехмерной среде (наименьший размер тела  $d \geq \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волн). На трассах, проходящих через бездефектный бетон, на приемном тракте ультразвуковой аппаратуры формируется практически неискаженный сигнал. Соответственно, если на осциллограмме принятого сигнала проявляется искажение, то это следствие внутренних нарушений структуры материала или конструкции. В зависимости от вида дефекта искажения могут иметь различную форму, например:

- при значительном дефекте, линейные размеры которого соизмеримы с длиной трассы сигнала, обход его удлинит общий путь прохождения сигнала, что при прочих равных условиях структуры бетона и контактов преобразователей с поверхностями конструкций приводит к увеличению времени прохождения сигнала на базе измерения, т.е. к условному локальному уменьшению скорости ультразвуковой волны в данном сечении элемента;
- наличие на трассе зон разуплотненного бетона или скопления мелких дефектов может привести к снижению амплитуды первой полуволны

или общей огибающей принятого импульса, а также к изменению формы сигнала из-за интенсивного затухания высокочастотного спектра сигнала, на неоднородностях, т. е. к изменению амплитудно-частотной характеристики принятого сигнала;

– отражения от дефектов в зоне трассы могут исказить форму отдельных колебаний импульса.

Таким образом, анализируя комплекс параметров осциллограммы принятого сигнала, можно выявить дефекты и повреждения бетона и оценить их характер. Естественно, что наиболее полный сравнительный анализ можно получить только на равных по длине трассах при определенном допущении идентичности общего состава бетона, характера армирования и контактных условий. При контроле элементов с переменным сечением информационным параметром является скорость прохождения ультразвука через материал.

Наиболее информативным является способ сквозного (соосного и диагонального) прозвучивания конструктивных элементов. При сквозном прозвучивании ультразвуковые преобразователи перемещаются по точкам узлов разметочной сетки на обеих плоскостях контролируемого изделия.

На первом этапе в стеновых или протяженных конструкциях линейные размеры ячеек сетки составляют 350-500 мм в зависимости от площади и толщины конструкций.

При оценке результатов первого этапа удобно использовать анализ гистограммы распределения результатов информационного акустического параметра. Обычно контролируется скорость прохождения через конструкцию ультразвукового сигнала (при постоянной базе измерения – время прохождения). Рассматривается максимум огибающей в области высоких скоростей, и оценивается средняя скорость ультразвукового сигнала по формуле

$$C_{cp} = \Sigma m c_i / \Sigma m,$$

где  $m$  – частота повторных значений скорости в интервале (рекомендуемый интервал 50 м/с);

$c_i$  – средняя скорость в интервале. Этот интервал характерен для бездефектного бетона, на котором определяются физико-механические характеристики бетона, как фактического расчётного материала конструкции.

Затем выделяются участки, на которых полученная при контроле скорость более, чем на 5% ниже  $c_{cp}$ . Эти участки характерны для бетона с нарушенной структурой, при которой прочность бетона снижается более чем на 20% (для тяжелого бетона характерна зависимость, при которой снижение прочности бетона на 4-6% приводит к уменьшению скорости ультразвука на 1%). На этих участках необходимо выполнить дефектоскопию конструкции. Сюда же входят ошибочные результаты измерений,



связанные с низким качеством подготовки поверхности или доступа к контролируемому участку, а также связанные с ошибками в определении баз измерения при разметке «в слепую».

Участки гистограммы, на которых скорости более чем на 5% выше  $c_{ср}$ , характерны для бетона с локальной концентрацией крупного заполнителя или металла. Сюда же входят ошибочные результаты измерений, связанные с ошибками в определении баз измерения при разметке «в слепую».

Для бездефектных конструкций характерен один максимум гистограммы, для конструкций с участком нарушенной структуры – 2 максимума (в верхнем и нижнем участках гистограммы), для конструкций с общим разрушением структуры ярко выраженный максимум не наблюдается.

Для «оконтуривания» границ дефектных зон на втором этапе используется методика нанесения на схему измерений линий равных скоростей (изоспиды) с выделением областей пониженных скоростей, для которых проводится повторный контроль по сетке с меньшей ячейкой (50-100 мм).

Однако, несмотря на то, что сквозной метод является самым информативным применительно к бетону массивных сооружений, он используется сравнительно редко, что обусловлено значительными размерами конструктивных элементов и ограниченным доступом к ним. В этих условиях наиболее приемлемым, а часто и единственно возможным, является способ поверхностного прозвучивания, при котором излучатель и приемник устанавливаются на одной грани элемента.



Рис. 9. Сквозное прозвучивание при контроле сплошности композитной системы: металлическая камера рабочего колеса турбины гидроагрегата – штрабной бетон заливки шахты камеры – монолитный бетон опорного конуса (вид со стороны опорного конуса)

Большие линейные размеры конструкций позволяют рассматривать прохождение сигнала в них при поверхностном прозвучивании как распространение волн в полупространстве. Отсутствие отражающего влияния боковых и противоположных (если не используется эхо-метод по специальной методике) поверхностей, относительно небольшой процент армирования при значительной толщине защитного слоя бетона улучшают условия формирования чистого принятого сигнала (на бездефектном участке конструкции). Это позволяет на осциллограмме, наблюдаемой на экране ультразвукового прибора, достаточно четко выделить на фоне общего сигнала не только время и амплитудно-спектральные параметры основного информационного источника – продольной волны, но дополнительно также время прихода поперечной и поверхностной волн. Полученные данные расширяют рамки возможности ультразвукового метода, позволяют получить дополнительные физико-механические характеристики бетона (например, коэффициент Пуассона) и использовать информацию в целях дефектоскопии. Однако корректное применение способа возможно с учетом особенностей технологии укладки бетона и условий созревания и эксплуатации поверхностных слоев. При этом в стандартную технику измерений рекомендуется внести разработанные методические изменения.

Инструментальный контроль состояния бетона обычно состоит из двух смежных блоков: оценка физико-механических характеристик материала (прочность, статический и динамический модули упругости, коэффициент Пуассона), которая проводится в бездефектных, ненапряженных участках конструкций и дефектоскопии конструкций, то есть выявление участков аномальных результатов визуального характера и инструментальных измерений с дополнительными исследованиями этих участков для выявления характера дефекта, его расположения в конструкции, оценки возможных размеров. При этом необходимо осознавать, что наличие нескольких незначительных дефектов в совокупности при определенных неблагоприятных условиях эксплуатации и нагрузок может привести к разрушению конструкций.

Дополнительно можно исследовать факторы, косвенно влияющие на текущее состояние конструкций и потенциально – на развитие негативных факторов, влияющих на долговременную надежную эксплуатацию конструктивных элементов (непроектные плотность, влажность, армирование, толщина защитного слоя бетона и др.).

Общая прочность бетона определяется по корреляционным зависимостям косвенного информационного параметра использованного метода неразрушающего контроля от прочности отобранных из тела конструкций образцов бетона, испытанных на прессе.

При оценке прочности гидротехнического бетона ГТС необходимо учитывать следующий момент. Согласно п. 2.2 СНиП 2.06.08-87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений»

классы бетона по прочности на сжатие отвечают значениям гарантированной прочности бетона с обеспеченностью  $q = 0,95$ . При этом класс рассчитывается по формуле

$$B = \bar{R}(1 - 1,64C_v),$$

где  $\bar{R}$  - средняя кубиковая прочность бетона при количестве контрольных кубов более 30 штук;

$C_v$  - коэффициент вариации прочности бетона (допустимый 13,5%).

В массивных гидротехнических сооружениях применяется монолитный бетон со значениями гарантированной прочности с обеспеченностью  $q = 0,90$  с соответствующим пересчетом класса по формуле

$B = \bar{R}(1 - 1,28C_v)$  - допустимый коэффициент вариации - 17%.

Для внутренней зоны бетона гравитационных плотин допускается применение бетонов со значениями гарантированной прочности с обеспеченностью  $q = 0,85$ .

Согласно п. 2.5 того же СНиПа срок твердения (возраст), отвечающий классам бетона по прочности на сжатие, на осевое растяжение и марке по водопроницаемости, принимается, как правило, для конструкций речных гидротехнических сооружений - 180 суток, для сборных и монолитных конструкций морских и речных транспортных сооружений - 28 суток, то есть на многих ГТС могут одновременно существовать конструкции из бетонов класса для 180 и 28 суток. В то же время на многих приборах неразрушающего контроля прочности используются универсальные зависимости «информационный параметр - прочность бетона» для 28-суточного срока твердения, соответственно, при переходе к возрасту 180 суток необходимо вводить коэффициенты возраста бетона.

Специфическим элементом ГТС является бетонная облицовка грунтовых сооружений. Известно, что полости за железобетонными элементами грунтовых гидротехнических сооружений (крепления напорных откосов водохранилищ, крепления участков берега в нижнем бьефе, облицовки стен и днища каналов, камеры шлюзов, водоводы, туннели и др.), появляющиеся при их строительстве и эксплуатации, являются серьезными дефектами, препятствующими нормальной эксплуатации сооружений.

В частности, крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений являются важным конструктивным элементом, от прочности и устойчивости которого в значительной мере зависит надежность всего сооружения.

Научное обоснование методов расчетов прочности и устойчивости креплений, рекомендуемых в СНиП 2.06.04-82 «Нагрузки и воздействия

на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)», не гарантирует безусловной надежности их работы по следующим причинам:

- невозможность точного, надежного прогнозирования расчетных параметров ветровых волн, характеристик ледового режима при периодических колебаниях уровня воды в водохранилище, катастрофические паводки и т.п. ввиду вероятностного характера изменения указанных факторов;
- потеря устойчивости грунтового основания под креплением по истечении длительного периода их эксплуатации вследствие изменения геотехнических характеристик грунтов тела сооружений (вынос мелких фракций из слоя обратного фильтра, кольматаж фильтра, разжижение мелкозернистых песков при динамическом воздействии волн на крепление и т.п.);
- потеря прочности бетона крепления при продолжительной работе сооружения в условиях периодического изменения уровня воды в водохранилище, замораживания и оттаивания воды в порах и трещинах материала, выветривания, выщелачивания, воздействия знакопеременной волновой нагрузки и др.

Учет указанных выше факторов при проектировании креплений весьма затруднен, а иногда и вообще невозможен.

Это обстоятельство в ряде случаев становится причиной серьезных повреждений, а иногда и разрушения бетонных креплений, приводящих к полному выходу сооружения из строя. Примером этого может служить авария на деривационном канале Земо-Авчальской ГЭС (Грузия), на котором в 1987 году в результате вымывания грунта из-под бетонной облицовки произошло спонтанное разрушение насыпи между ложем канала и рекой Курой (рис. 10), приведшее к быстрому опорожнению канала через проран. Это вызвало создание серьезной обстановки в зоне прорыва и на длительный срок вывело станцию из эксплуатации. При последующем техническом обследовании плит монолитной бетонной облицовки откосов канала были выявлены многочисленные отслоения плит от грунтового основания и значительные подплитные полости как на участках старого покрытия, так и на участках отремонтированной облицовки.

Разрушение крепления откосов в нижнем бьефе приводит к размыванию берегов, что произошло, например, на Троицкой ГРЭС (рис. 11) и Воркутинской ТЭЦ-2.

Обычно контроль состояния плит креплений и основания выполняется визуально по наличию характерных системных трещин на плитах или через раскрытые межплитные швы с помощью зондирования основания тонким шупом. Кроме того, для выявления заоблицовочных полостей и определения их плановых размеров применяется простукивание облицовок молотком с выявлением «бухтящих» зон. Такой способ весьма ненадежен и субъективен, его эффективность в значительной степени определяется толщиной облицовки и опытом исследователя.



Рис. 10. Разрушение участка деривационного канала  
Земо-Авчальской ГЭС (Грузия)

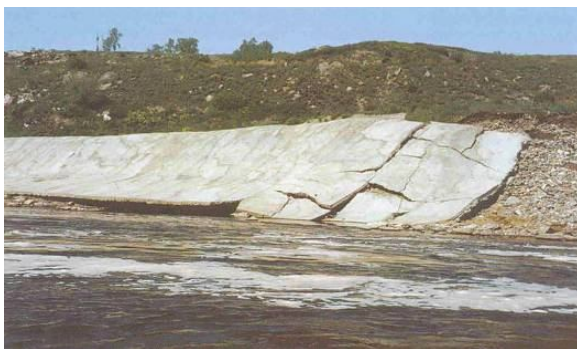


Рис. 11. Разрушение участка бетонного крепления грунтового откоса  
водохранилища Троицкой ГРЭС

В настоящее время применяются различные инструментальные неразрушающие методы выявления и оценки параметров заоблицовочных полостей. В виброакустическом методе для получения необходимой информации используются параметры вынужденных колебаний участков плит крепления, возбуждаемых электроакустическими вибраторами переменной частоты. Сейсмоакустические и ударные методы используют параметры свободных колебаний участков крепления под воздействием микросейсмических волн ударов. Эти методы трудоемки и малопроизводительны, анализируются аномалии результатов испытаний идентичных участков крепления. В ряде случаев для контроля возможно использование ультразвукового 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  $h \leq \lambda / (8 \cos \alpha)$ , где  $h$  – высота неровности;  $\lambda$  – длина акустической волны;  $\alpha$  – угол падения волны на поверхность. В геофизике условно зеркальной поверхностью 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.

Ультразвуковые методы, использующие для информации параметры эхо-сигналов от донной поверхности плит крепления, могут быть применены, если облицовки выполнены из сборных железобетонных плит, что встречается редко. В настоящее время ведется работа над методикой использования принципиально новых разработок фирмы АКС (г. Москва) – ультразвукового дефектоскопа А1220 Монолит и ультразвукового томографа А1040 М.



Рис. 12. Керн из монолитной бетонной плиты крепления грунтового откоса водохранилища. Состояние донной поверхности плиты – при бетонировании обратный фильтр вошёл в состав структуры плиты

Достаточно эффективно использование тепловых методов, дающих возможность выявить на термограммах контрастные участки теплового поля над зонами отслоений разогревающейся или остывающей бетонной облицовки от грунтового основания. Однако точность результатов при этом зависит от ряда факторов: толщины плит, физических свойств материалов облицовки и основания, географического расположения объекта, сезонной ограниченности контроля, так как в качестве естественного источника нагрева используется солнце. Все эти методы дают возможность выявить места положения участков расслоения железобетонных конструкций и грунтового основания. При этом только тепловой метод позволяет выполнить это без предварительного визуального обследования. Однако все вышеперечисленные методы не позволяют оценить глубину полостей по всей площади расслоения и, соответственно, оценить опасность потенциального провала элементов железобетонных конструкций. Применимость того или иного метода определяется конкретными задачами и обусловлена конструктивными особенностями сооружений и облицовок.

Во многих случаях достоверный инструментальный контроль качества контакта железобетонных конструкций с грунтовым основанием практически невыполним.

В последнее время для исследований состояния плотин и шлюзов разработаны и активно внедряются новые геофизические технологии, основанные на применении метода георадиолокации.

Метод георадиолокации позволяет получить информацию о состоянии грунтов, а также локализовать и оценить объемные размеры полостей, сформировавшихся за железобетонными конструкциями.

Этот метод основан на изучении распространения в контролируемой среде сверхширокополосных электромагнитных импульсов, излучаемых и принимаемых георадаром. Центральная рабочая частота спектра импульсов, требуемая для изучения грунтов под железобетонными элементами, обычно лежит в пределах от 500 МГц до 2 ГГц. В результате георадарной съемки регистрируется электромагнитный образ изучаемой среды – георадарограмма, которая отражает радиофизическую структуру железобетонных плит и грунтов, которые располагаются за ними.

Важным достоинством георадиолокационного обследования является возможность проведения наблюдений на некотором удалении от поверхности объекта. Дистанционное расположение антенн обеспечивает проведение георадиолокационной съемки при непрерывном движении антенн. Это существенно повышает детальность, а, следовательно, и пространственную разрешающую способность исследований. Электромагнитная антенна имеет узкую диаграмму направленности, что также увеличивает пространственное разрешение метода георадиолокации. Расслоения бетона и наличие полостей не препятствуют распространению

электромагнитных импульсов. Поэтому метод георадиолокации позволяет не только локализовать, но и оценить пространственные и объемные параметры полостей.

Исторически неразрушающий контроль бетона ГТС стал складываться в 50-х годах прошлого столетия. Во ВНИИГе был разработан механический прибор для экспертной оценки прочности бетона – маятниковый диск Губбера (его теперь даже в Интернете сложно найти). С его помощью прочность поверхностных слоев бетона оценивалась по длине отпечатка на поверхности после удара по ней ребром стального закаленного диска при свободном падении его с определенной высоты, что обеспечивало постоянство удара. При этом тщательной шлифовки поверхности не требовалось. По опыту прибор обеспечивал 10-20% ошибку определения прочности поверхностного слоя бетона.

Оценка прочности бетона глубинных слоев и дефектоскопия массивных конструкций ГТС стали проводиться на основании анализа прохождения ультразвукового сигнала через элемент. Первоначально базой для разработки методик по контролю бетона служили ультразвуковые и сейсмоакустические исследования горных пород. Первые ультразвуковые приборы предназначались для контроля бетонирования и оценки состояния массивных бетонных и железобетонных элементов гидротехнических, энергетических и военных объектов.

Разрабатываемая аппаратура была многофункциональной, предназначенной именно для дефектоскопии с визуализацией принятого сигнала, фиксацией и регулировкой фрагментов осциллограммы принятого сигнала. Примером такой аппаратуры может служить серийный низкочастотный дефектоскоп ДУК-20. Его мощный генератор давал возможность прозвучивать железобетонные конструкции толщиной до 6-7 м. Но это чудо ультразвуковой ламповой техники весило 50 кг при габаритах основного электронного блока 560×550×575 мм. Естественно, к работе в натуральных условиях на эксплуатируемых сооружениях прибор был практически непригоден. На смену ему пришли удачные разработки УКБ-1м и позднее УК-10П. Всего в СССР (в основном, в Кишиневе) было выпущено до 10 тысяч низкочастотных дефектоскопов различного типа. Из несерийной аппаратуры тех лет можно отметить разработку Киевского НИИСКа – дефектоскоп УК-30М, использующий акустическую ударную волну который позволял, в принципе, при сквозном прозвучивании обеспечивать базу измерения до 9,0 м, при поверхностном – до 3,0 м и при эхо-методе (при экспериментальных исследованиях) толщину конструкции до 1,5 м.

В настоящее время из относительно простых приборов можно рекомендовать довольно мощный прибор «Пульсар 1.2», позволяющий визуально контролировать принимаемый сигнал (Челябинский НПП «Интерприбор»), а для более тонких дефектоскопических исследований с



## Предотвращение аварий зданий и сооружений

возможностью использования эхо-метода – разработки фирмы АКС (г. Москва) – ультразвуковой дефектоскоп А1220 Монолит и ультразвуковой томограф А1040 М [9-11].

В последнее время расширяется применение метода электромагнитной радиолокации – подповерхностного зондирования, типичным представителем которого является прибор георадар ОКО-2.

Метод георадиолокации и ультразвуковой эхо-метод сходны по получаемым результатам. Чихуновым Д.А. [8] проанализированы преимущества и недостатки обоих методов применительно к конструкциям из бетона и из железобетона (см. таблицу).

Преимущества УЗ-метода	Недостатки УЗ-метода	Преимущества георадиолокации	Недостатки георадиолокации
Возможность работы на густоармированных конструкциях, в том числе на конструкциях с частым шагом арматурной сетки. Хорошее отображение низлежащих слоев арматуры			Плохо работает на густоармированных конструкциях (с частым шагом арматурной сетки). Нечетко, а зачастую невозможно отображение низлежащих слоев арматуры
Возможность работы на сырых (свежезалитых) бетонах			Плохая интерпретация данные на сырых (свежезалитых) бетонах
Возможность контроля экранированного металлом бетона, например, контроль заполнения бетоном пространства за металлическим тубингом			Невозможность контроля экранированных металлом объектов
Более высокая разрешающая способность для небольших по ширине раскрытия протяженных трещин других полостей		Более высокая разрешающая способность для тонких протяженных электропроводящих неоднородностей (проволочная арматура, электропроводка и т.д.).	

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

Окончание таблицы

Преимущества УЗ-метода	Недостатки УЗ-метода	Преимущества георадиолокации	Недостатки георадиолокации
В подавляющем большинстве случаев – четкое отображение донного сигнала при толщинометрии бетона			Интерпретация донного сигнала во многих случаях затруднена из-за нечетких границ
Более точное определение глубины расположения объектов			Менее точное определение глубины расположения объектов из-за затрудненной процедуры определения скорости распространения волны
	Невозможность контроля объектов, состоящих из нескольких слоев различных материалов	Возможность контроля объектов, состоящих из нескольких слоев различных материалов	
	Невысокая по сравнению с методом георадиолокации производительность контроля.	Более высокая по сравнению с УЗ-методом производительность контроля.	
	Необходим плотный контакт датчиков с поверхностью объектов контроля	Возможность проведения контроля при отсутствии контакта антенны с поверхностью контроля	

Как видно из данной таблицы, наилучшие результаты могут быть получены при комплексировании ультразвукового метода с методом георадиолокации.

Особенностью построенных гидротехнических сооружений является то, что их практически невозможно разобрать. Они даже при выведении из эксплуатации продолжают оставаться частью окружающей среды, влияющей на состояние экологической системы. Они строятся «на века», и при проектировании их конструкций вкладываются большие запасы прочности. Поэтому у многих сложилось мнение, что при необхо-

димости ремонта, модернизации или замене оборудования, на строительные конструкции ГТС можно практически не обращать особого внимания. Это привело к тому, что в период перестройки, да и в наше время, службы наблюдения за ГТС на небольших сооружениях вообще исчезли, на других численность служб значительно сократилась, а ремонтные подразделения были выведены за штат работников. Дошло до парадокса. На одной из станций наблюдение в виде дополнительной нагрузки возложено на неквалифицированного сотрудника архива.

В настоящее время на многих сооружениях ведется модернизация оборудования. После аварии на Саяно-Шушенской ГЭС собственники ГТС обратили внимание (на долго ли?) на техническое состояние строительных конструкций. В первую очередь, это диктуется тем, что после дорогостоящих мероприятий по капитальным ремонтам или по реконструкциям необходима надежная и безопасная его эксплуатация с учетом всех современных требований долгие годы. И тут неожиданно (опять, как всегда, неожиданно) выяснилось, что многие конструктивные элементы ГТС еще на стадии проекта не приспособлены к серьезным обследованиям и качественным ремонтам. На объектах отсутствует инвентарное оборудование, позволяющее обеспечивать безопасный доступ к проблемным участкам, а организации, которые бы имели возможность выполнять многофакторные специализированные обследования и исследования в полном объеме на любых ГТС, не созданы. Такие организации должны обладать штатом сертифицированных специалистов, в том числе альпинистов, максимальным набором различной аппаратуры контроля, вспомогательным оборудованием для обеспечения безопасного доступа к конструкциям, иметь лицензии Ростехнадзора. Предлагаемые Заказчиком сроки проведения обследований часто неоптимальны ни по длительности, ни по возможностям получения максимальной информации с учётом обеспечения безопасного доступа (остановка гидроагрегатов, доступ к водопроводящим трактам или к элементам сооружений в зонах повышенного электрического напряжения, уровень бёфов и прозрачность воды и т.д.).

В данной статье рассматриваются проблемы обследования бетона надводной части сооружений. Ситуация с обследованием подводной части ГТС ещё более сложная, особенно с выявлением и определением параметров трещин. Поэтому информация о состоянии подводного бетона и швов или очень скудная и общая или вообще отсутствует.

Учитывая уникальность каждого сооружения и конкретные требования по эксплуатации, обеспечить все ГТС полной системой контроля и обслуживания в территориальных условиях РФ сложно и затратно. По всей вероятности, целесообразно организовать региональные центры с привлечением по субподряду сил специализированных организаций для проведения сложных многофакторных исследований и получения достоверной комплексной информации о состоянии материалов и конструкций.

### Библиографический список

1. Штенгель В.Г. О методах и средствах НК для исследования эксплуатируемых железобетонных конструкций / В мире НК, 2002, №2. – С.12-15.
2. Штенгель В.Г. О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений / В мире НК, 2009, №3. – С. 56-62.
3. Почтовик Г.Я., Липник В.Г., Филонидов А.М. Дефектоскопия бетона ультразвуком в энергетическом строительстве. – М.: Энергия, 1977. 121 с.
4. Коршунов Д.А. Оценка прочности бетона в конструкциях при их возведении и эксплуатации / В мире НК, 2006, №2. – С. 40-42.
5. Штенгель В.Г. Ультразвуковой контроль структуры бетона / В мире НК, 2004, №1. – С. 4-7.
6. Штенгель В.Г., Евдокимов Б.А., Иванов П.М. Неразрушающий ультразвуковой контроль системы камера рабочего колеса – опорный конус / Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2004. Т. 244. С. 159-165.
7. Беллендир Е.Н., Семёнов Ю.Д., Штенгель В.Г. Вопросы совершенствования системы диагностирования состояния энергетического и гидротехнического оборудования. Предотвращение аварий зданий и сооружений. Сб. науч. тр. под ред. Еремина К.И. вып. 9. – М., 2010. – С. 476-482.
8. Чихунов Д.А. Методика и техника дефектоскопии бетонов и других искусственных каменных материалов. ООО«Промтехприбор» – Взрывозащищённое оборудование. Приборы неразрушающего контроля, 2010.
9. Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы / В мире НК, 2002, №2(16). С.6-10.
10. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая толщинометрия бетона / В мире НК, 2008, №2(40). С.16-20.
11. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. «Акустография» бетона: не виртуальная реальность / В мире НК, 2008, №4(42). С.8-12.