

Современный подход к разработке решений по ремонту железобетонных конструкций гидротехнических сооружений

ШИЛИН А.А., д-р техн. наук, проф., генеральный директор; КИРИЛЕНКО А.М., канд. техн. наук, руководитель департамента диагностики и мониторинга; ЗНАЙЧЕНКО П.А., начальник отдела, ЗАО «Триада-Холдинг», Москва

Аннотация

Рассмотрена методология разработки технических решений по ремонту железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, основанная на выборе методов диагностики, учитывающих особенности эксплуатации конкретного объекта. Анализ полученных при обследовании результатов с учетом факторов воздействия эксплуатационной среды дает возможность разработать и применить требуемые, экономически приемлемые технологии ремонта с использованием специально подобранных к условиям конкретного сооружения материалов.

Ключевые слова

Выбор принципов ремонта, гидротехнические сооружения, комплексное обследование

Abstract

Methodology of technical solutions development for reinforced concrete hydraulic structures repair based on diagnostics methods selected for particular site conditions are considered. Analysis of the obtained data with regard to operation environment makes it possible to develop and apply required and effective repair techniques with the use of specific products selected for particular site and structural conditions.

Keywords

Hydraulic structures, integrated diagnostics, repair principles selection

Специфика работы гидротехнических сооружений из железобетона предъявляет к бетону конструкций высокие требования по прочности, плотности, проницаемости и коррозионной стойкости. На сегодняшний день многие из этих сооружений имеют длительный срок эксплуатации и нуждаются в проведении различных видов ремонта.

Особенности эксплуатации гидротехнических сооружений, связанные с постоянным или периодическим контактом с водой, как правило, исключают возможность проведения работ по ремонту без остановки сооружения на продолжительный срок. Но с появлением совре-

менных ремонтных составов стало возможным проведение ремонтных работ в ограниченные сроки как по надводной части конструкций, так и в зоне переменного уровня воды или под водой. Однако качество ремонта, его долговечность и стоимость не всегда удовлетворяют требованиям заказчика.

Качество ремонта железобетона зависит не только от используемых материалов, но и от особенностей эксплуатации конструкции, а также фактического состояния бетона ремонтируемой конструкции. Совместимость ремонтного состава с бетоном конструкции, подготовка поверхности основания, технология выполнения и условия производства работ имеют решающее значение для качественного выполнения ремонтных работ [1].

Одним из важнейших факторов для выбора материалов и разработки технических решений по ремонту является выявление особенностей эксплуатации конкретного сооружения в целом и его отдельных частей с учетом внешних воздействий. Кроме того, необходимо иметь достоверные сведения о видах, объемах и качестве проведенных ранее ремонтных работ. С целью определения стратегии ремонта (материалов и технологий) для установления фактического состояния конструкции, видов и объемов повреждений проводится комплексное обследование, результаты которого анализируются с учетом истории ее эксплуатации. Такой подход позволяет выявить причины и условия появления дефектов, оценить скорость протекания износа конструкций.

Большой опыт обследования гидротехнических сооружений (Истринский и Можайский гидроузлы, Днепровская, Ирганайская, Нижнекамская, Зейская, Саяно-Шушенская ГЭС, во-



Рис. 1. Основные факторы, воздействующие на бетон и железобетон гидротехнических сооружений

допроводные станции и очистные сооружения в Москве и др.) показывает, что общей проблемой при ремонте является недостаточно обоснованный выбор ремонтных составов в части учета совместной работы системы «бетон – ремонтный состав», в том числе по проницаемости. Игнорирование проницаемости системы при принятии решений по ремонту связано со значительной сложностью и многофакторностью учета процессов массопереноса влаги в бетоне конструкций гидротехнических сооружений. На влагоперенос влияют перепады уровня воды в сооружении и уровня грунтовых вод, зависящие от природных и техногенных факторов; изменения разницы парциальных давлений паров воды на поверхности конструкций и в теле бетона, вследствие чего меняются направления их движения; разнонаправленные фильтрационные потоки по швам и трещинам в бетоне; температурные деформации и, наконец, широкий диапазон изменений пористости и паропроницаемости бетона. Эти весьма многочисленные факторы определяют изменения направления диффузионных и фильтрационных потоков в конструкциях, а также смещение в них зоны промерзания и конденсации влаги. Все это обуславливает сложное движение воды и ее паров в бетоне. Наличие в конструкции различных по проницаемости слоев бетона, раствора, защитных покрытий способствует

задерживанию в более плотной зоне воды и ее паров, что приводит к возникновению барражного эффекта. Наличие местного избыточного скопления влаги в конструкции определяет более интенсивное разрушение этого участка под воздействием циклов замораживания/оттаивания. Примеры подобного ремонта наблюдаются довольно часто как в нашей стране, так и за рубежом [2].

Помимо требований совместности системы «бетон – ремонтный состав» по проницаемости, существует ряд обязательных требований, предъявляемых к материалам для локального ремонта, которые приведены в [1]. Отсюда следует, что при

ремонте бетона ремонтный состав должен обладать низкой усадкой и деформацией ползучести, одинаковым с ремонтируемым бетоном коэффициентом теплового расширения, совпадать по модулю упругости и коэффициенту Пуассона. Также одной из основных характеристик при ремонте бетона является прочность сцепления на границе раздела материалов (адгезионное соединение контактной зоны).

На основании изложенного можно утверждать, что эффективность и долговечность ремонтных работ основываются в первую очередь на подборе совместимых с бетоном конструкции ремонтных составов и разработке подходящей для конкретных условий технологии их нанесения, выбранной по результатам проведенных обследований конструкций.

Рассмотрим различные подходы к разработке решений по ремонту гидротехнических сооружений на примере результатов обследования шлюза № 9 Карамышевского гидроузла в г. Москве, проведенного в 2017 г. в соответствии с требованиями [3]. За долгое время эксплуатации шлюза произошли естественное старение его конструкций, накопление повреждений и проявление дефектов. Планирование обследования осуществлено с учетом анализа воздействия основных внешних факторов на конструкции и особенностей их эксплуатации (рис. 1).

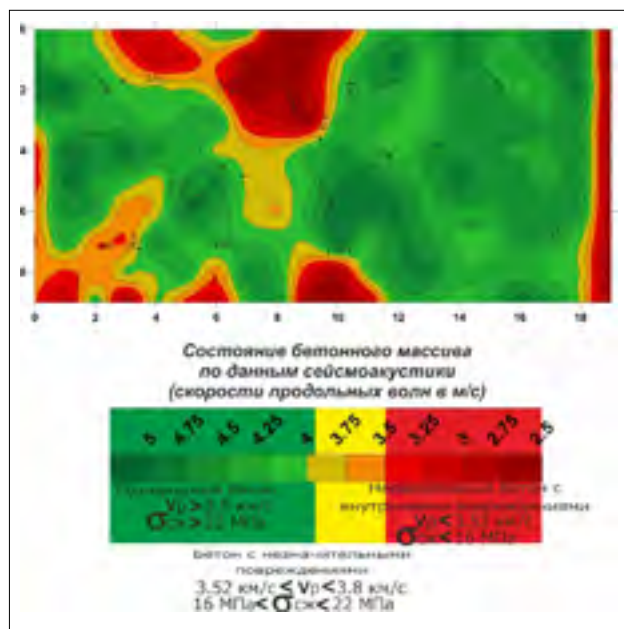


Рис. 2. Томографические исследования бетона конструкций камеры шлюза № 9 Карамышевского гидроузла канала им. Москвы. Карта распределения скоростей продольных упругих волн в бетоне секции № 5 по Северной стороне

Обследование выполнено комплексными методами диагностики, которые позволяют детально оценить состояние как отдельных участков конструкций, так и бетонного массива в целом. Проведен осмотр конструкций, выявлены основные повреждения и дефекты. Для диагностики состояния массивных гидротехнических конструкций применен метод сейсмоакустического прозвучивания.

По результатам сейсмоакустических исследований построены карты распределения скоростей упругих волн в массивных железобетонных конструкциях (рис. 2), выявлены участки бетона с наибольшим количеством повреждений и дефектов, намечены места отбора кернов.

По кернам, отобранным из конструкции на глубину до 1,5–2,0 м, установлено, что на ранее отремонтированных участках конструкций, под слоем восстановленного ремонтным составом бетона основной бетон имеет серьезные нарушения, характеризующиеся повышением трещиноватости, снижением прочности на глубину 200–300 мм. Это еще раз подтверждает факт разрушения бетона под воздействием низких температур при скоплении влаги под более плотным водонепроницаемым ремонтным составом/покрытием.

В ходе обследования выявлены многочисленные нарушения поверхности конструкций. Поверхностные слои бетона, подлежащие удалению, были определены ультразвуковым импульсным методом диагностики в варианте поверхностного профилирования, что позволило подсчитать приблизительные объемы ремонтных материалов.

По результатам обследования сделаны выводы о состоянии конструкций шлюза в соответствии с выявленными дефектами, причинами (или сочетанием причин) их возникновения, определены объемы повреждений, скорость их возникновения, оценен остаточный срок службы конструкций. Все это позволило произвести выбор принципов ремонта, защиты и усиления конструкций в соответствии с [4].

На основании выбранных принципов и определения объемов работ для восстановления бетона можно использовать следующие методы ремонта: нанесение вручную растворной смеси; укладка (залитка) бетонной, набрызг-бетонной или растворной смеси. Замена элементов конструкций не предполагается. Для ремонта глубинных повреждений бетона конструкций шлюза, а также для их усиления можно использовать следующие методы: инъектирование и/или заполнение трещин, пустот, полостей; добавление или замена арматурных стержней; внешнее армирование с монтажом сеток, в том числе с использованием композитных сеток активного типа в цементной матрице [4].

Ремонт бетонного массива конструкций включает уплотнение трещин и холодных швов по захваткам бетонирования. Большинство трещин значительного раскрытия в конструкциях шлюза, по результатам бурения через них, прослеживаются на всю глубину. Поэтому требуется разработка специальных способов их уплотнения. Технология инъектирования трещин подразумевает подбор ремонтного материала в зависимости от ширины и динамики их раскрытия, состояния бетона конструкции по прочности, плотности и пористости (проницаемости). На основании результатов обследования и определения зон, требующих ремонта в наибольшей степени, осуществляют выбор материалов и технологии.

Для ремонта поверхностных повреждений бетона шлюза главным образом могут использоваться следующие материалы, совместимые с ним по физико-механическим характеристикам и проницаемости:

1. Торкретируемые цементные растворные или бетонные смеси, для нанесения которых методом торкретирования или набрызга при выборе материала руководствуются [5]. Обычно для нанесения этих составов мокрым или сухим способом в условиях локального ремонта или ремонта по всей площади используют мелкощебенистые составы с крупностью щебня до 16 мм. Толщина нанесения слоев может варьироваться. Возможно использование дополнительной арматурной сетки и анкеров.

2. Цементные растворные или бетонные смеси, для которых максимальный размер зерен заполнителя ограничен 4 мм, а толщина наносимых слоев составляет от 20 до 40 мм. Нанесение бетона или раствора осуществляют вручную, а также путем заливки в опалубку.

3. Материалы на основе модифицированного полимером цемента. Наносят их вручную, укладывают в опалубку или наносят способом торкретирования.

Для заполнения трещин следует использовать инъекционно-уплотняющие составы на цементной или полимерной основе. В соответствии с [6] заполнение трещин осуществляют одним из методов:

- под принудительным давлением;
- под действием гравитации и капиллярного впитывания.

В результате нагнетания в трещине образуются уплотнения трех групп:

- 1) уплотнение конструктивное с адгезионно-силовым замыканием (группа АС);
- 2) уплотнение неконструктивное с адгезионно-герметизирующим замыканием (группа АГ);
- 3) уплотнение неконструктивное с компрессионно-герметизирующим замыканием (группа КГ) [6].

Для инъекционных работ с целью восстановления целостности бетонного массива могут применяться следующие материалы:

1. Составы на цементной основе, в том числе модифицированные полимером, а также микро-

цементные составы, используемые для жесткого заполнения трещин (уплотнение группы АС по [6]). При проведении ремонта необходимо учитывать, что для инъекционно-уплотняющих составов на цементной основе важно обеспечить максимально возможную проникающую способность, главным ограничением которой при проникновении в трещину является процесс седиментации частиц цемента в воде затворения с образованием непроницаемого осадка. Для подбора составов проводятся их испытания на проникающую способность по [6] в лаборатории и в условиях стройплощадки.

2. Эпоксидные смолы, используемые для силового замыкания трещин шириной свыше 0,1 мм. Они представляют собой двухкомпонентные составы, которые не содержат растворители и имеют достаточно низкую вязкость в диапазоне примерно от 150 до 400 мПа·с. При нагнетании в трещины со значительным раскрытием, более 0,8 мм (расщелины), эпоксидные составы имеют большую вязкость и могут нагнетаться в виде паст. Тип эпоксидного состава выбирается с учетом минимальной ширины трещин, а также максимальной рабочей температуры. Составы обеспечивают уплотнение трещин группы АС по [6].

3. Полиуретановые смолы, представляющие собой реактивные полимеры и используемые для жесткого или эластичного заполнения трещин, могут применяться во влажных трещинах и трещинах с активным протеканием воды (уплотнение групп АС и АГ по [6]).

4. Акриловые гели, применяемые для инъекционных работ в неармированных конструкциях в целях снижения переноса воды в тонких, находящихся под постоянным воздействием воды и влаги трещинах и порах (уплотнение группы КГ по [6]).

Выводы

1. Выбор методов обследования зависит от объекта контроля и конкретных задач, но при этом, безусловно, требуется комплексный подход для анализа и сопоставления результатов с целью их использования в процессе формирования рекомендаций по дальнейшей эксплуатации сооружений и конструкций и (при необходимости) по технологии ремонтно-восстановительных мероприятий.

2. Развитие современной аппаратной базы и программного обеспечения позволяет существенно повысить оперативность исследований, качество визуализации полученных и обработанных результатов, а также проводить исследования как больших объемов массивных конструкций, так и расширить детализацию локальных испытаний. Своевременная диагностика состояния конструкций позволяет выбрать стратегию управления эксплуатацией сооружений, сформировать принципы и методы защиты и ремонта.

3. При проведении ремонтов, как правило, не учитывается совместная работа системы «бетон – ремонтный состав», что является причиной преждевременного разрушения отремонтированных участков. Поэтому ремонтные мероприятия следует проводить с учетом текущего состояния каждой конструкции по прочности, плотности и пористости (проницаемости), а также с индивидуальным подбором технологии и материалов. Применение более прочных и плотных по сравнению с основным бетоном ремонтных составов

недопустимо, поскольку это будет способствовать более интенсивному разрушению бетона на отремонтированных участках.

Литература

1. Шилин А. А. Ремонт железобетонных конструкций. – М.: Горная книга, 2010.
2. Gore Jan W., Bickley John A. *Big Eddy Dam. Repairs of Concrete Structures – Assessment, methods and risks/Seminar Course Manual ACI*, 1989. – P. 73–79.
3. ГОСТ Р 55260.1.3–2012. Сооружения ГЭС гидротехнические. Конструкции бетонные и железобетонные. Требования безопасности.
4. ГОСТ 32016–2012. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Общие требования.
5. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
6. ГОСТ 33762–2016. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин.

Для связи с авторами:

Павел Александрович Знайченко, 8-916-211-23-16,
znajchenko@triadaholding.ru