

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Наведена класифікація порушень бетонних покриттів гідротехнічних споруд та розглянуті методи й методика їх визначення, а також причини, що їх викликають.

THE HYDROENGINEERING STRUCTURES CONCRETE COVERINGS TECHNICAL STATEMENT ESTIMATION

Hydroengineering structures concrete coverings failures classification is presented. Failures estimation method and techniques, failures reasons are considered.

1. Введение.

Вторая половина 20 века характеризуется развитием и ростом строительства крупных хозяйственных объектов, к числу которых относится ряд гидротехнических сооружений: водопроводящие каналы, гидротехнические тоннели, плотины и водосбросные сооружения гидро- и теплоэлектростанций. Основным защитным конструктивным элементом этих сооружений является монолитные бетонные покрытия. В настоящее время весьма остро назрела проблема обследования и последующего ремонта и реконструкции многих сооружений данного типа.

Визуальное обследование и систематические наблюдения специалистов предприятий, эксплуатирующих гидротехнические сооружения, показывают, что долговременная эксплуатация объектов приводит к негативному воздействию комплекса факторов на состояние монолитных бетонных конструкций, выражающемся в повреждении бетона на отдельных участках, нарушению температурно-деформационных швов, развитию трещин и локальных расслоений бетона, разрушению арматуры, нарушению связи между бетоном и подстилающими вмещающими бетонную конструкцию грунтами. Это приводит к возникновению законтурной фильтрации и образованию пустотности за бетонной оболочкой, просадочным явлениям в грунтовых толщах и по бетону. Все это свидетельствует о том, что с целью недопущения бетонных конструкций до критического состояния и предупреждения развития факторов повышенного экологического и инженерного риска в их эксплуатации, целесообразно выполнять комплекс мероприятий по обследованию, включающих приборную (геофизическую) диагностику, визуальный осмотр, метрические измерения, отбор проб бетона и получение деформационных и прочностных характеристик. Необходимость этого также вытекает из Постановления Кабинета Министров Украины № 409 от 05.05.1997 г «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» [1].

2. Теоретические исследования

В ходе проведенных нами обследований бетонных конструкций покрытий, откосов, оболочки тоннелей ряда гидротехнических сооружений (Кременчугская ГЭС, каналы – Северо-Крымский, Днепр-Донбасс, Каховский главный ма-

гистральный; плотины Криворожской и Старо-Бешевской ГРЭС и др.) выделено четыре модельных уровня анализа [2], приведенные в табл. 1: а) нульмерный (точечный); б) одномерный (линейный); в) двумерный (плоский); г) трёхмерный (объёмный).

Таблица 1. – Модельные уровни анализа повреждений бетонного покрытия

Модельный уровень анализа	Виды повреждений	Характер разрушения	Количественная оценка	Методы исследования
I нульмерный (точечный)	Поверхность плит, Стыки плит	Коррозия поверхностей бетона, кольцевые структуры разрушения, вскрытие арматуры, скол бетона, круговое (асимметричное) разрушение, прогиб, оседание, уступ	Глубина проникновения коррозии, высота обнажения крупного заполнителя, площадь корродированного бетонного покрытия	Визуальный осмотр, метрические измерения
II одномерный (линейный)	Температурно-деформационные швы, протяжённые трещины разрушения бетона в зоне волнобоя и переменного увлажнения	Относительное смещение, разнопрофильное разрушение, пунктирные, сплошные трещинообразования, лемни-скатное трещинообразование	Протяжённость, глубина, ширина разрушения швов, протяжённость и ширина раскрытия трещин	Визуальный осмотр, метрические измерения
III двумерный (плоский)	Нарушения сочленения бетонного покрытия и опорных плит	Опускание опорных плит, прогиб плит бетонного покрытия	Величина отставания опорной плиты	Визуальный осмотр, метрические измерения
IV трёхмерный (объёмный)	Пространственное нарушение системы «бетонное покрытие – подстилающее основание»	Гидромеханическая суффозия (локальный и протяжённый вынос грунта), искривление бетонного покрытия, проседания, разрушение бетона, разрывы плит, изгиб, кручение, фрактальные разрушения нижней части бетонного покрытия	Глубина и объём заоболочечных полостей	Геофизические методы: виброакустическая диагностика, пассивная электромагнитная диагностика, электрометрия и т.д.

К точечному уровню относятся повреждения на поверхности и стыках плит, выражающиеся в коррозии поверхностей бетона, кольцевых структурах разру-

шения, вскрытии арматуры. Коррозия бетонного покрытия по характеру воздействия воды и в зависимости от реакций, возникающих в бетоне и в цементном камне, оценивается согласно классификации В.М. Москвина [3], в которой выделяется три основных вида. К первому виду относятся явления выщелачивания агрессивной водой, связанные с фильтрацией и выносом составных частей цементного камня. При коррозии второго вида возникают обменные реакции, такая агрессия называется углекислой, магниезальной и общекислотной. Третий тип коррозии бетона связан с сульфатной агрессией, когда происходит образование и рост кристаллов солей, которые накапливаются в порах и трещинах бетона. Количественно точечный уровень анализа оценивается площадью и глубиной разрушения бетона. В случае, когда выявить глубину распространения разрушения сложно, можно воспользоваться величиной высоты обнажения крупного заполнителя.

Ко второму одномерно-линейному уровню анализа следует относить температурно-деформационные швы, протяжённые трещины разрушения бетона и другие дефекты. Количественно данные типы нарушений оцениваются протяжённостью, глубиной, шириной разрушения швов, протяжённостью и шириной раскрытия трещин. При оценке трещин важно выявить направление распространения для определения зависящих и наиболее напряжённых частей плит бетонного покрытия, что свидетельствует о наличии полостей и их расположении под бетонным покрытием.

Третий двумерный уровень анализ приурочен к нарушению сочленения бетонного покрытия и опорных плит, перекрывающих температурно-деформационные швы, а также вдоль протяжённых трещин. Характерным здесь является опускание опорных плит, прогиб плит бетонного покрытия. Количественная оценка нарушения заключается в величине отставания опорной плиты или смещения плит относительно друг друга. Методами исследования первых трёх уровней являются визуальный осмотр и последующие метрические измерения выявленных дефектов.

Четвёртым модельным уровнем анализа является трёхмерный или объёмный. Данный уровень определяет пространственное нарушение системы «бетонное покрытие – подстилающее основание», проявлением которого является гидромеханическая суффозия (локальный и протяжённый вынос грунта), искривление бетонного покрытия, проседания, разрушение бетона, разрывы плит, изгиб, кручение и др. Данные нарушения являются наиболее опасными, поскольку существенно снижают эксплуатационную надёжность объектов.

Нарушение системы «бетонное покрытие – подстилающее основание» требует особого внимания, поэтому наиболее важна его количественная оценка, которая заключается в определении объёмов полостей под бетонным покрытием. Определение данного параметра возможно прямыми и косвенными методами. Прямым методом является бурение шпуров или выдалбливание окон в бетонном покрытии по определённой сетке и выявление и замер полостей под бетонным покрытием. Этот метод хотя и является эффективным, но усиливает без того нарушенное состояние конструкции и обладает существенной трудоёмко-

стью. Наиболее перспективным в этом плане являются косвенные методы неразрушающего контроля, одним из которых является метод виброакустической диагностики, применяемый нами при оценке состояния системы «бетонное покрытие – подстилающее основание». Целью виброакустической диагностики бетонного покрытия является выявление нарушений контакта между бетоном и грунтом и косвенная оценка пустотности под покрытием в его надводной части. Принцип виброакустической диагностики заключается в предварительном возбуждении свободных колебаний, путем нанесения удара и одновременной регистрации их параметров [4].

3. Натурные исследования

Реализация теоретических и методических разработок осуществлена при оценке технического состояния левобережной земляной плотины Кременчугской гидроэлектростанции и примыкающего к ней Табурищанского мыса [5, 6].

Наблюдения выполнялись на доступных для обследования участках бетонного покрытия верхового откоса. Визуальный осмотр показал, что основными формами нарушенности являются: большие полости под плитами крепления (объёмный модельный уровень), пространственные деформации плит бетонного покрытия (двумерный модельный уровень), протяжённые продольные и поперечные трещины, разрушение температурно-деформационных швов (линейный модельный уровень), коржевание и скол кромок плит бетонного покрытия, поверхностная и глубинная коррозия, отслоения бетона (точечный модельный уровень). В местах неплотного прилегания к основанию бетонного покрытия в последнем возникают механические нагрузки, которые приводят к деформациям, крену и осадке плит и развитию в них трещинных зон. Повреждения бетона в основном связаны с разрыхлением структуры, ее поризованностью, повышением водопроницаемости, снижением прочности, отторжением защитного бетонного слоя. Первоначально прослеживается образование каверн на поверхности, а затем отмечается трещинообразование вглубь материала с разрушением глубинных слоев бетона и коррозией арматуры. Все это в условиях постоянного волнобоя и увлажнения частично снижают проектные характеристики охранной конструкции плотины. Данные дефекты следует рассматривать в ключе трёх основных аспектов: механическом, физико-механическом и физико-химическом.

Механический аспект. В местах неплотного прилегания к основанию бетонного покрытия в последнем возникают механические нагрузки, которые приводят к деформациям бетонных карт и развитию в них трещинных зон. Характер трещиноватости на откосе имеет свои особенности: продольные трещины расположены вблизи уровня поверхности воды при длительном её пребывании в водохранилище; поперечные трещины наблюдаются в срединной части карт бетонного покрытия, которые испытывают волнобой. Величина раскрытия трещин – от нескольких миллиметров до 1-2 сантиметров. На некоторых участках верхового откоса канала сформировался грунтовый слой с растительностью.

Физико-механический аспект. Типичным для верхового откоса плотины является разрушение деревянных прокладок температурно-деформационных

швов и последующее коржевание и скол кромок примыкающего к ним бетонного покрытия, вследствие чего образуются щели между отдельными плитами бетонного покрытия на всю его толщину. Наибольшая динамика разрушения примыкающих к температурно-деформационным швам кромок бетона наблюдается на стыке четырех плит, т.е. на углах плит. Данное явление объясняется наличием наибольшего количества свободных поверхностей в этой части бетонной плиты. Эти разрушения являются следствием попеременного увлажнения и высыхания, которые сопровождаются деформациями усадки и набухания материала, набуханием растворимых солей в порах цементного камня, попеременное замерзание и оттаивание бетона, особенно в водонасыщенном состоянии, каковым является постоянное состояние бетонного покрытия верхового откоса.

Физико-химическое воздействие окружающей среды на бетонное покрытие проявляется в корродировании бетона. По данным визуального осмотра выделены участки корродированного бетонного покрытия. На данном объекте выделяется два типа коррозии бетона поверхностная и глубинная. Количественно поверхностную коррозию бетонного покрытия можно охарактеризовать высотой обнажения крупного заполнителя (щебня). Таким образом, на верховом откосе выделяются участки с нулевым обнажением (четко виден щебень) и участки с высотой обнажения до 2 см. Глубинная или точечная коррозия на данном объекте проникает вглубь до 10-15 см и является следствием, как поверхностной коррозии, так и особенностями приготовления бетонной смеси при формировании бетонного покрытия. При активном воздействии атмосферных агентов глубинная коррозия достигает арматуры, что является крайне негативным фактором для долговременной прочности железобетона. На отдельных участках выявлены отслоения бетона, что также может быть причиной глубинных дефектов.

После визуального обследования была проведена приборная диагностики бетонного покрытия. Виброакустические измерения проводились аппаратурой ДИКОН. Шаг профиля был равен 4 м. Для каждой точки выполнялось по три замера и результаты усреднялись. Для индикатора ДИКОН приводится усредненное значение количества свободных колебаний.

Особенность виброакустического метода и применяемой аппаратуры заключается в том, что не существует универсальных критериев оценки пустотности, трещиноватости и других аномалий. При анализе данных следует руководствоваться следующими критериальными оценками, установленными путем контрольного бурения на аналогичных объектах и закачкой строительной смеси, представленными в табл. 2.

По результатам вибродиагностики построены карты изменения информативного параметра по поверхности бетонного покрытия. По картам определены площади участков слабой (S_1), средней (S_2) и сильной (S_3) нарушенности и вычислены объемы полостей под бетонным покрытием. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведена карта пустотности под бетонным покрытием с наложенной картой визуального осмотра в интервале пикетов 49 - 51.



1 – участки со слабой нарушенностью (см. табл. 2); 2 – участки со средней нарушенностью; 3 – участки с сильной нарушенностью; дробные числа показывают параметры температурно-деформационных швов (числитель – глубина шва, знаменатель – ширина шва)
 Рис. 1 – Совмещённые карты информативного признака виброакустической диагностики и визуального осмотра на ПК 49 – ПК 51

Таблица 2 – Критериальные оценки пустотности, определяемые виброакустическим методом, и характерные значения числовых параметров пустотности для различных категорий участков

№ п/п	Значение информативного параметра	Категория участка	Относительная площадь пустот на участке, k	Характерная глубина пустот h , м
1	менее 10	Слабая нарушенность	0,10	0,05
2	10-14	Средняя нарушенность	0,30	0,10
3	более 14	Сильная нарушенность	0,60	0,15

Карты информационного признака виброакустической диагностики выполнялись с применением программного продукта Surfer седьмой версии с использованием интерполяционного метода Kriging, который наиболее полно отражает реальную картину.

На ряде участков метрическими измерениями удалось зафиксировать аномальную глубину пустот под бетонным покрытием, что позволило уточнить результаты виброакустической диагностики.

Виброакустической диагностикой выявлена пустотность под бетонным покрытием и подтверждена в доступных местах метрическими измерениями. Величина пустот в отдельных местах достигает глубины 50-75 см. Относительная пустотность под бетонным покрытием колеблется от 0,008 до 0,040 и в среднем по всей обследованной поверхности составляет $0,020 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

Таким образом, данные, полученные при оценке технического состояния различных гидротехнических сооружений, позволяют рационально выбрать мероприятия по ремонту конструкций.

4. Выводы

1. В настоящее время остро назрела проблема обследования и последующего ремонта и реконструкции бетонных конструкций различных гидротехнических сооружений.

2. При оценке технического состояния бетонных покрытий целесообразно пользоваться четырьмя модельными уровнями анализа: а) точечный; б) линейный; в) плоский; г) объёмный. Каждый уровень изучает определённые виды повреждений и соответствующий им характер разрушения.

3. Дефекты бетонного покрытия, выявляемые при визуальном осмотре, следует рассматривать в ключе трёх основных аспектов: механическом, физико-механическом и физико-химическом.

4. Нарушение системы «бетонное покрытие – подстилающее основание» требует особого внимания, поскольку снижают проектные параметры гидротехнического сооружения, поэтому определение полостей под бетонным покрытием является первоочередной задачей.

5. Доказано, что положительные результаты по определению зон пустотности под бетонным покрытием даёт применение виброакустической диагностики.

Объективную оценку технического состояния бетонных покрытий гидро-

технических сооружений даёт комплексное визуальное и приборное обследование. Дальнейшую работу по повышению эффективности оценки технического состояния объектов данного типа следует сосредоточить на расширении методической и приборной базы по оценке нарушенности грунтов, подстилающих бетонное покрытие. Нами проводятся исследования по применению методов пассивной электромагнитной и электрометрической диагностики в решении рассматриваемой проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 409 "Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж".
2. Степанов И.Н. Формы в мире почв. – М.: Наука, 1986 – 192 с.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
4. Яланский А.А. и др. Теоретические и аппаратурные разработки виброволнового контроля строительных конструкций и материалов. /Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н., Усаченко В.Б. //Тезисы докладов IV-ой международной научной конференции «Материалы для строительных конструкций». - Днепропетровск, 1996 - С. 73.
5. Инструментальное виброакустическое обследование системы «бетонное покрытие – грунт» верхового откоса левобережной плотины Кременчугской ГЭС: Отчет о НИР / НПП Технополис «Экоиндустрия», руководитель Б.Усаченко, 2005. – 50 с.
6. Инструментальное виброакустическое обследование системы «бетонное покрытие – грунт» опытного участка Табурищанского мыса Кременчугской ГЭС: Отчет о НИР / НПП Технополис «Экоиндустрия», руководитель Б.Усаченко, 2005. – 46 с.

УДК 622.83

В.Н. Сергиенко, С.П. Мусяенко, В.Б. Усаченко

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Розглянуто проблему виявлення порожнин під бетонним покриттям. Встановлено можливість використання вібраційної діагностики зі змінною базою для контролю підводних об'єктів. Наведено приклад практичного використання методики.

THE METHODOICAL DEVELOPMENTAL WORKS AND PRACTICAL APPLICATION OF AN UNDERWATER VIBRATION DIAGNOSTICS

The problem of revealing of emptiness under a concrete covering is considered. The opportunity of use of vibrating diagnostics with variable base for the control of underwater objects is established. The example of practical use of a technique is given.

Значительная часть искусственных водохранилищ на территории Украины была сооружена в середине прошлого столетия. Под влиянием естественных факторов покрытие верховых откосов плотин водохранилищ в большой мере утратило свои первоначальные эксплуатационные качества. Основным следствием этого является образование пустот под плитами противодиффузионного покрытия, площадь которых достигает в отдельных случаях десятки квадратных метров. Под влиянием силы тяжести происходит первоначальная осадка плит покрытия с образованием в нем трещин, за счет чего значительно усиливается фильтрация воды сквозь тело насыпной плотины. Процесс разрушения