

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЛОСТЕЙ ПОД БЕТОННЫМИ ПЛИТАМИ КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

В.Г. Штенгель

Ведущий научный сотрудник отдела «Диагностика сооружений, механического оборудования и сопровождение спецработ» ОАО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева, кандидат технических наук

В.С. Недялков

Инженер отдела «Диагностика сооружений, механического оборудования и сопровождение спецработ» ОАО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева»

В гидротехническом строительстве (и не только) достаточно часто для крепления и защиты откосов грунтовых сооружений применяют покрытия из монолитных или сборных бетонных и железобетонных плит. В процессе длительной эксплуатации под плитами могут образовываться значительные полости. Это происходит, в основном, вследствие развития дефектов, возникших из-за нарушения строительной технологии, нарушений дренажа гребня и тела грунтового сооружения, осадок основания, фильтрации воды через межплитные швы, естественной просадки грунта из-за уплотнения при увлажнении (бетонные крепления откоса по всей площади конструкции не бывает идеально герметичны), при колебаниях крепления из-за волнового воздействия и других причин. Эти полости могут привести к деформациям и обрушению провисшего крепления и к последующему разрушению откоса [1] (рис. 1, 2).



Рис. 1. Разрушение насыпного борта деривационного канала Земо-Авчальской ГЭС над дюкером



Рис.2. Разрушение ложа деривационного канала
Земо-Авчальской ГЭС

Оценку состояния плит крепления можно выполнить на основании анализа двух блоков информации:

- информации о наличии и размерах полостей под плитами, об их расположении относительно центров плит и швов между плитами;
- информации о характеристиках плит над полостями, позволяющих выдерживать внешнюю нагрузку без деформаций. В комплекс характеристик включаются фактические геометрические размеры плит с конкретизацией толщины участка над полостью, наличие, расположение и глубина трещин в плите, толщина разрушения поверхностного слоя, фактические физико-механические характеристики бетона, пространственное расположение арматуры, состояние межплитных швов. Частично эти вопросы регламентированы в СТО 17330282.27.140.003-2008 [2].

При этом для оценки состояния плит используется диагностический синергизм (синергизм в данном случае означает превышение совокупным результатом суммы слагающих его факторов при совместном использовании комплекса методов контроля). Отметим, что для неметаллических конструкций наиболее широко применяемые методы контроля – это методы неразрушающего контроля (МНК), использующие, прежде всего, качественный анализ аномалий косвенных информационных параметров.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с оптимизацией технологии выявления полостей под плитами крепления надводной части сооружений.

Обычно выявление полостей проводится акустическим методом путем простукивания плит. Выбор зоны простукивания осуществляется после анализа результатов визуального обследования (рассматриваются наличие, расположение, системность и концентрация ориентированных трещин на внешней поверхности плит; локальные изменения профиля крепления в виде внешнего прогиба или выпучивания, разновысотности соседних плит в швах, рис. 3-5).



Рис.3. Просадка плиты крепления откоса.
Образование трещин на поверхности плиты



Рис. 4. Просадка плит участков крепления откоса, изменение профиля откоса



Рис.5. Осадка грунтового основания под плитой. Образование полости между плитой и основанием.

Однако акустические исследования плит крепления откосов не всегда легко осуществимы (в зависимости от возможности свободного доступа из-за крутизны откоса) и не всегда достоверны. Результаты часто носят субъективный характер (зависят от человеческого фактора, от толщины плиты, расслоения бетона в плите, состояния поверхностного слоя бетона и др.), по характерному звуковому отклику («бухтению») нет возможности различить характер расслоения плит и основания: зазор по площади участка плиты или объемная полость. В ряде случаев выполняется контрольное перфорационное вскрытие плит с зондированием основания тонким шупом через отверстия или через раскрытые межплитные швы. Выполнить сплошной контроль на всей длине протяженных откосов сложно, а при значительных уклонах или на вертикальных стенках, практически невозможно.

Разрабатываемые ранее методы инструментального контроля (вибраакустический, сейсмоакустический, ультразвуковой и др.) не нашли широкого практического применения из-за сложности выполнения исследований и анализа результатов. Кроме того, применение этих методов носит дискретный характер и поэтому они не могут быть использованы для сплошного контроля протяженных конструкций.

В последнее время активно внедряемый геофизический контроль плит с помощью метода георадиолокации при использовании георадара также ограничен по производительности контроля, а техническая возможность контроля часто зависит от величины уклона откоса. Кроме того, фактическая толщина монолитных плит может значительно отличаться от проектной и быть переменной на контролируемом участке. Факти-

ческое расположение арматуры также достаточно часто произвольно. Донная поверхность плит при укладке бетонной смеси непосредственно на грунтовое основание часто срачивается со слоем гравия обратного фильтра, что резко увеличивает шероховатость поверхности (рис. 6). Из-за технологических особенностей бетонирования монолитных плит и особенностей эксплуатации крепления откосов (воздействие солнечной радиации, подверженность внешним атмосферным и волновым воздействиям, повреждение поверхностного слоя процессами промерзания-оттаивания и от ледовых воздействий) структура бетона по толщине плит на разных участках протяжённого крепления может значительно различаться. Эти факторы значительно усложняют анализ полученных результатов и снижают их достоверность.



Рис. 6. Керн из монолитной бетонной плиты крепления грунтового откоса водохранилища. Состояние донной поверхности плиты – при бетонировании обратный фильтр вошёл в состав структуры бетона плиты

Сплошное георадиолокационное профилирование протяженных конструкций нецелесообразно и экономически невыгодно. Оно эффективно для контроля отдельных подозрительных потенциально опасных участков крепления.

Один из современных МНК зданий и сооружений, предлагаемых в данном случае, – тепловой метод, основывающийся на получении термограмм исследуемой поверхности участков сооружений, нагреваемых солнцем, может быть при определённых условиях применён для выявления полостей под бетонными плитами крепления откосов.

Как и для всех МНК при внешней простоте использования, достоверность получаемой информации в значительной степени зависит от квалификации оператора и влияния различных факторов на получение и анализ первичной информации. Эти факторы можно условно разбить на 2 основные группы.

1. Возможность формирования регистрируемого контраста температур на поверхности плит над границами участков ненарушенного крепления с участками расслоения грунтового основания и плит. Условия формирования зависят от многих причин: особенности самих плит (плотность структуры материала по сечению, толщина плиты), толщины воздушной прослойки между плитой и основанием (в отличие от объемной полости, отслоение в виде зазора неравномерно по площади и в пределах общей площади расслоения имеются отдельные локальные контакты основания с плитой), характера и структуры основания (гравий, песок, коренные породы) и его влажности, характера нагрева и остывания плит (сезонность исследований, азимутальность положения плит по отношению к солнцу, влияние фоновых воздействий, в том числе и от воды).

2. Возможность надежной инструментальной фиксации температурного контраста на границе дефектного и бездефектного участков крепления. Она зависит от влияния фоновых факторов (близость воды, ветер и др.), угла между плитой и осью тепловизора, допустимого расстояния от тепловизора до плит, постоянства выдерживания этого расстояния по всей длине контролируемого участка крепления, диапазона времени обследования в течение суток и, естественно, от технических характеристик используемого тепловизора.

Для исследования был выбран комбинированный метод, основанный на получении на первом этапе тепловых характеристик объекта с помощью тепловизора с последующим анализом термограмм, полученных от участков с предполагаемым наличием дефекта контакта плита-основание, выделением их из общего информационного поля по объекту. В дальнейшем на втором этапе осуществляется их дискретный контроль при помощи апробированных методов. При этом для анализа используется метод сравнительной термографии. Эта качественная термография обычно не требует знания радиометрических значений температур. Она позволяет сравнивать контрасты тепловых изображений похожих компонентов. Таким образом, локализуется зона дальнейших исследований протяженных крупноразмерных объектов, что приводит к повышению производительности детального обследования.

Метод тепловизионного контроля приемлем при допущении, что объект, представляющий систему «грунтовое основание – контактная зона – бетонная плита крепления откоса», не содержит отслоений. В этом случае в системе устанавливается кусочно-однородное температурное поле. Если в контактном пространстве произошли нарушения, т.е. обра-

зовалось отслоение бетонной плиты откоса, объем которого превосходит объем пор грунта, непосредственно контактирующего с плитой, то в контактном пространстве (в зоне отслоения) происходит локальное изменение температуры. Бетонные плиты крепления откосов подвержены нагреву от солнечного излучения. Обнаружить можно дефекты, у которых размеры, глубина залегания и теплофизические характеристики создадут на поверхности бетонной плиты местное контрастное повышение температуры, соизмеримое с температурной чувствительностью регистрирующего прибора. Измерения следует проводить в моменты проявления наибольшего температурного контраста дефектного и бездефектного участков. В результате теплового сканирования поверхности бетонных плит откосов получается наглядная картина температурного поля. Ошибки в определении абсолютного значения температуры не мешают определить контуры отслоения (дефекта) по температурному контрасту его на тепловом поле, так как анализу подвергаются результаты, полученные при обследовании соседних условно идентичных участков крепления. Соответственно, при данном предположении влияние всех внешних факторов одинаково и отслоение бетонной облицовки откосов четко выявляется по градиенту температур и, практически, не зависит от толщины воздушного пространства под плитами, так как теплопроводность воздуха в 60 раз меньше, чем теплопроводность бетона [4].

Проверка работоспособности метода в реальных натуральных условиях с учетом особенностей обследуемых конструкций и с отработкой методики тепловизионного обследования для повышения достоверности полученных результатов и снижения операторских ошибок, а также ошибок в интерпретации результатов выполнена на примере решения конкретной задачи на определенном объекте. Проведён поиск отслоений в контактных зонах «плита – основание» железобетонных креплений откосов грунтовой плотины Кубанского водохранилища протяженностью 6800 м, а также двух откосов нижнего бьефа шлюза-распределителя ГАЭС длиной по 200 м каждый (рис. 7).

Сооружения построены в 1968 году и неоднократно ремонтировались. Откосы плотины заложены под углом 26-30°, проектная толщина плит 200 мм. Основание под плитами – сухой песок, под швы плит уложен гравийный обратный фильтр. Тепловизионный доступ к плитам возможен с воды, т.е. с лодки. Угол заложения откосов берегов нижнего бьефа шлюза-распределителя 35-45°, проектная толщина монолитных плит 200 мм, сборных плит – 150 мм, грунтовое основание – сухой песок, под швы плит уложен гравийный обратный фильтр. Доступ к откосу осуществлялся с противоположного берега, с расстояния до 50 м. В период обследования (август 2011 г.) средняя дневная температура воздуха составляла +30°C. Ночная температура колебалась в пределах от +10 до +15°C. В период обследования было практически полное безветрие. Ис-

точник тепла – естественный солнечный нагрев. Плиты обследовались в двух тепловых режимах: на максимальном нагреве в дневное время (плиты над полостями более теплые, чем плотно лежащие на грунте) и на максимальном охлаждении в утреннее время (плиты над полостями более холодные, чем плотно контактирующие с грунтом, аккумулирующим при солнечном нагреве тепло).



Рис. 7. Тепловизионный контроль бетонных плит крепления откосов

В качестве средства измерения температурного поля был применен специализированный строительный тепловизор Fluke TiR 32, обладающий высокой температурной чувствительностью около $0,05^{\circ}\text{C}$ в рабочем диапазоне температур около 30°C . Абсолютная погрешность измеряемых температур не превышает $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Диапазон измеряемых температур от -20 до $+150^{\circ}\text{C}$. Прибор имеет высокую ударопрочность, что позволяет использовать его в сложных полевых условиях, карту памяти и синхронизированные камеру инфракрасного диапазона и фотокамеру видимого диапазона (2 мегапикселя). Общая масса прибора около 1 кг. Возможность синхронного отображения инфракрасного и видимого изображений на одном дисплее значительно ускоряет и упрощает идентификацию объектов путем сравнения термограмм контролируемых участков с видимым изображением той же плиты (рис. 8).

При анализе термограмм (рис. 9) одновременно сравниваются соседние участки бетонного крепления откоса. При этом влиянием метеословий и временем съемки можно пренебречь. Однако при уменьшении теплового контраста дефектных и бездефектных участков возможность пропуска дефектов незначительной площади увеличивается.

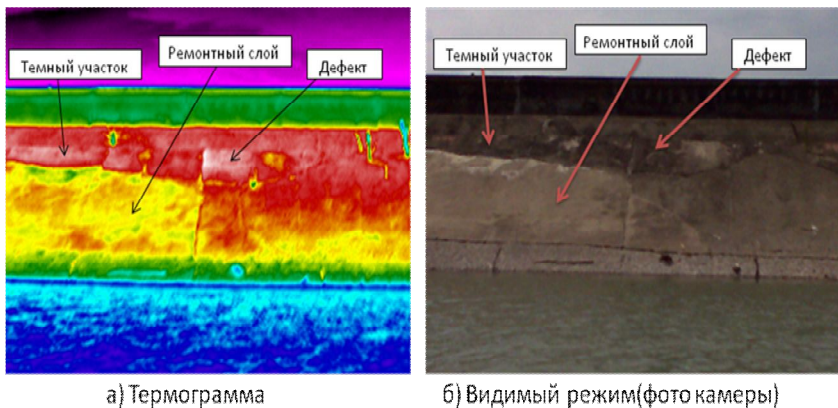


Рис. 8. Пример совмещения термограммы и видимого режима контролируемого участка откоса. Совокупность аномалий на термограмме, соответствующих участкам плиты с тёмной поверхностью, с ремонтным слоем и с непосредственно дефектом

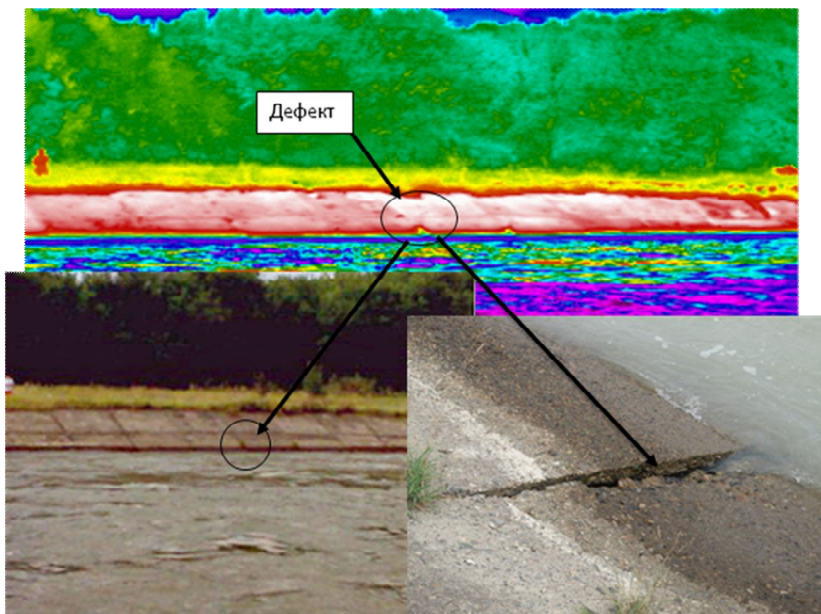


Рис. 9. Пример выявления дефекта (расслоение бетона и грунтового основания) по локальному изменению палитры термограммы

Полученные результаты:

1. Нагрев плит в значительной степени зависит от угла падения солнечных лучей и от положения контролируемых участков относительно солнца.

2. Результат контроля зависит от угла между осью тепловизора и наклона плиты.

3. Интенсивность теплового излучения плит зависит от фактического нагрева и ветрового съёма тепла.

4. Параметр, максимально влияющий на достоверность информации по контрасту температур смежных участков, – изменение толщины монолитных плит.

5. Обследовались соседние участки откосов, поэтому постоянно действующими факторами можно было пренебречь.

На термограммах четко выделяются аномальные тепловые пятна (см. рис. 8), которые часто оказываются пятнами бетона другого цвета, участками плит, обросшими мхом, с разрушениями поверхностного слоя, плитами со следами ремонта ("набетонкой" на повреждённую поверхность), остатками ремонтного состава на поверхности плит и т.д., что отчетливо просматривается и фиксируется по видеоизображению. На практике только по термограмме (без видеоизображения) сразу выделить участки поверхности откосов, которые можно интерпретировать, как имеющие отслоения от грунта, достаточно сложно. При совместном анализе синхронизированных термограмм с видеоизображением после отбраковки заведомо ложной информации, связанной с локальным изменением поверхности бетона, принималось решение о необходимости дальнейшего исследования подозрительного участка. Удалось выявить ряд участков крепления откосов, которые были отнесены к дефектным. При контрольной проверке с помощью ударов молотка на этих участках проявлялось характерное «бухтение» на фоне соседних бездефектных зон, которые под ударом молотка «звенели». На приведенных рисунках тепловые аномалии (пятна) отчетливо видны. На синхронизированных снимках теплового и видимого изображения видны элементы поверхности, которые являются ложными тепловыми пятнами. В процессе обследования плотины протяженностью 6,8 км, было выявлено около двухсот участков плит с предполагаемым наличием отслоений. При последующем простукивании плит проблемных участков факт отслоения подтвердился на 99 участках (около 50% от общего количества участков с тепловой аномалией).

Анализ термограмм по всей длине сооружений показал определённую системность расположения дефектов. Максимальная концентрация участков отслоений наблюдалась вдоль верхней кромки откосов и вдоль температурно-осадочных швов. Это, в принципе, соответствует последствиям одного из основных факторов образования отслоений и полостей – просадке верхней части грунтовых плотин из-за естественного уплот-

нения грунта основания, усугубленной периодическим увлажнением атмосферными осадками и волновыми воздействиями, а также из-за нарушений дренажных систем грунтовых плотин и гидроизоляции швов в дренажных и водоотводящих конструкциях.

Выводы

1. Тепловизионный способ выявления дефектов бетонного крепления откосов грунтовых сооружений в виде расслоения плит крепления с основанием при определённых условиях обследования при высокой производительности обеспечивает наглядность расположения дефектных участков, их формы и площади.
2. Локализация проблемных зон на общем фоне крепления позволяет значительно сократить объём и стоимость детальных исследований (акустических с помощью простукивания плит и инструментальных, в основном, с помощью георадиолокационных с использованием георадаров).
3. На рассматриваемом примере демонстрируется, что при методе общего нагрева композитной строительной конструкции с использованием условно активного режима тепловизионного обследования (во время нагревания) из-за локальных неоднородностей различного типа наружной поверхности бетона возможно получение большого количества ошибок при интерпретации полученных информационных аномалий в отраженном тепловом поле. Количество этих ошибок снижается при получении и анализе идентичных по расположению аномалий теплового поля в условно пассивном режиме, когда съёмка ведётся после прекращения интенсивного солнечного нагрева, а композитная строительная конструкция излучает накопленное в активном режиме тепло (в данном случае при остывании нагретых бетонных плит).
4. Ошибки идентификации дефектов (в данном случае расслоение композитных конструкций) в активном режиме значительно снижаются при анализе синхронных тепловизионного и видеоизображений одних и тех же участков контролируемой конструкции. Это позволяет увеличить объём полезной информации при работе в неблагоприятное для тепловизионной съёмки время.
5. При анализе результатов необходимо учитывать и отбраковывать заведомо ложные аномалии теплового поля участков сооружения, связанных с состоянием поверхностного слоя бетона или близостью маскирующих факторов: воды, растительности и др.
6. В процессе тепловизионного обследования часто встречающихся в гидротехнических сооружениях конструкций – бетонных креплений откосов грунтовых сооружений (плотины, каналы, и др.), более 50% аномалий теплового поля, полученных при активном режиме исполь-

- зования общего нагрева конструкций, связано не с дефектами в виде отслоения плит от основания, а с особенностями поверхностного слоя бетона и маскирующими факторами.
7. Практика показала, что проводить съемки целесообразно не в период максимальной солнечной интенсивности или наименьшего ночного охлаждения, а позже, когда плиты по сечению будут более равномерны по температуре. Измерения следует производить в момент проявления наибольшего температурного контраста. Временной сдвиг во многом зависит от толщины плит, то есть от возможности аккумулировать тепло или холод, и от иных условий и, обычно, составляет 2-4 часа.
 8. В дальнейшем для инструментальных исследований креплений предполагается совместное использование тепловизора и георадара. Предварительная тепловизионная локализация потенциальных участков отслоения позволит значительно сократить объем последующих георадарных исследований. Георадар, в свою очередь, позволит определить параметры отслоений [18].
 9. Экспериментально подтвердилось, что для откоса грунтовой плотины отслоения грунтового основания от плит крепления в надводной части наиболее часто встречаются вдоль верхней кромки гребня плотины и под температурно-осадочными швами между плитами.
 10. Анализ системности дефектов показал, что для насыпных грунтовых сооружений причинами отслоений следует считать естественную просадку грунта в послестроительный период и локальную осадку грунтового (песчаного) основания из-за уплотнения за счёт увлажнения, вызванного нарушением гидроизоляции температурно-осадочных швов между плитами, нарушений дренажных систем сооружений и водосборных лотков на гребне плотины.

Библиографический список

1. Штенгель В.Г. Особенности применения методов и средств неразрушающего контроля элементов гидротехнических сооружений: Сб. науч. тр. «Предотвращение аварий зданий и сооружений» / Под ред. К.И. Еремина, вып. 10. – М., 2011. – С. 24-42.
2. СТО 17330282.27.140.003-2008 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. (Приложение Е. Рекомендации по проведению наблюдений и исследований креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов.) ОАО РАО №ЕЭС России». – 2008 г.
3. Ялышев Ф.Х. К вопросу о бесконтактных измерениях температур строительных конструкций гидротехнических сооружений инфракрасными приборами // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. Т. 221. – С. 46-52.

4. Обнаружение воздушных полостей под бетонными покрытиями тепловым методом / В.И. Горбунов, Б.Н. Елифанцев, Г.Х. Гефле, М.М. Немирович-Данченко. – Дефектоскопия, 1980, №11. – С. 109-111.
5. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / Пер. с франц. – М.: Мир, 1989. – 416 с.
6. Ялышев Ф.Х. Оптические методы контроля зданий и сооружений: Контроль качества теплозащиты. – Л.: Стройиздат, 1989. – 80 с.
7. Дубовик Л.Я., Долгов В.А. Об использовании термографических методов для диагностики гидротехнических сооружений // Известия ВНИИГ им Б.Е. Веденеева, 1990. Т. 221. – С. 52-55.
8. Возможности использования ИК-радиометров по выявлению внутренних неоднородностей строительных конструкций гидротехнических сооружений / И.В. Карманов, В.И. Хорьков, Л.Я. Дубовик, В.А. Долгов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. Т. 221. – С. 69-73.
9. Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. – М.: НТОР «Энергопрогресс», 2003. – 76 с.
10. Дроздов В.А., Сухарев В.И. Термография в строительстве. – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.
11. Тепловой неразрушающий контроль изделий: Научно-методическое пособие / О.Н. Будадин, А.И. Потапов, В.И. Колганов, Т.Е. Троицкий-Марков, Е.В. Абрамова. – М.: Наука, 2002. – 472 с.
12. Вавилов В.П., Горбунов В.И. Тепловые методы неразрушающего контроля многослойных структур. – Дефектоскопия, 1981, №4. – С. 5-22.
13. Неразрушающие методы испытания бетона / Под ред. О.В. Лужина: Совм. изд-во СССР – ГДР. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.
14. Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Троицкий-Марков Т.Е. Комплексный тепловой контроль зданий и строительных сооружений // В мире неразрушающего контроля, 2004, №1. – С. 22-24.
15. Тепловой контроль и мониторинг технического состояния опасных объектов в условиях ограниченного доступа / О.Н. Будадин, Ю.В. Смирнов, Т.Е. Троицкий-Марков и др. // В мире неразрушающего контроля, 2008, №3. – С. 32-33.
16. Тепловой неразрушающий контроль зданий и строительных сооружений / О.Н. Будадин, Е.В. Абрамов, М.А. Родин, О.В. Лебедев // Дефектоскопия, 2003, №5. – С. 77-94.
17. Вавилов В.П. Тепловой контроль композитных материалов. – В мире неразрушающего контроля, 2008, №4. – С. 32-35.
18. Глазунов В.В., Ефимова Н.Н., Штенгель В.Г. Оценка состояния грунтов основания железобетонных элементов гидросооружений методом георадиолокации // В мире неразрушающего контроля, 2006, №1. – С. 18-21.