

Тепловизионное обследование железобетонных плит крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений

К.т.н., ведущий научный сотрудник В.Г. Штенгель*,
техник В.С. Недялков,
ОАО «ВНИИГ им. Веденеева»

Ключевые слова: метод; неразрушающий тепловой контроль; обследование; железобетонные крепления откосов; отслоение; грунтовое основание; термограмма; аномалия; видимый режим съемки

Применение методов неразрушающего контроля (МНК) неметаллических строительных конструкций является неотъемлемым требованием при проведении технического обследования эксплуатируемых сооружений. Их использование позволяет расширить информацию о фактическом техническом состоянии материалов и конструкций. Однако за внешней простотой применения методов и средств НК скрывается уровень достоверности интерпретации полученных результатов. Отметим, что для неметаллических конструкций МНК – это, прежде всего, качественные методы анализа аномалий поля косвенных информационных параметров.

Откос грунтового гидротехнического сооружения (ГТС) с бетонным креплением представляет собой двухслойную композицию, причем от состояния бетонного крепления зависит устойчивость откосов и сохранность искусственных насыпей и перемычек. Состояние бетонного крепления определяется комплексом методов: визуальным методом (состояние поверхностного слоя бетона, расположение и концентрация трещин в плитах), комплексом методов неразрушающего контроля (механический – с использованием склерометров для определения прочности поверхностного слоя бетона, ультразвуковой – для определения прочности бетона и глубины трещин, магнитный – для определения положения стержней арматуры) и исследованием опытных выбуренных кернов (оценка структуры и толщины повреждённого внешним атмосферным и волновым воздействиями и последствиями процессов промерзания–оттаивания поверхностного слоя бетона и оценка прочности бетона в глубинных слоях).

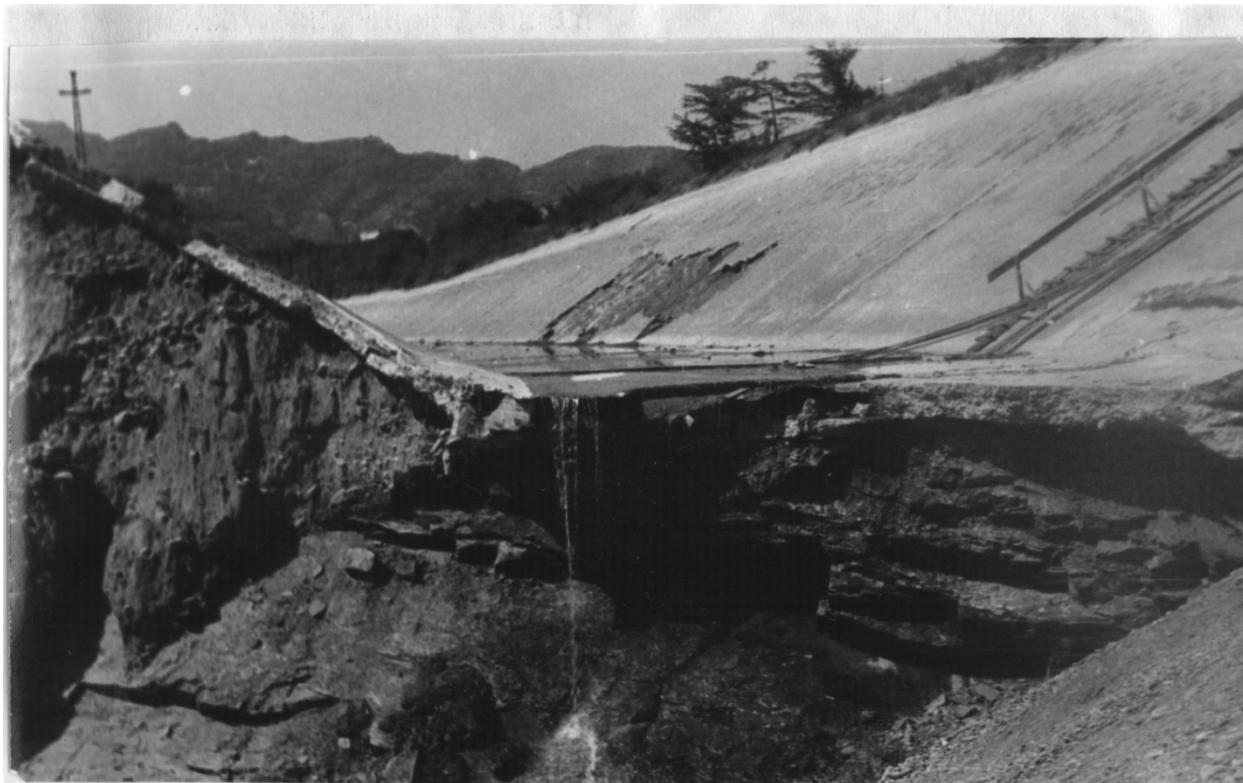
Однако проблема оперативного выявления и контроля участков отслоения плит от основания достаточно сложна. Применяемые методы (механическое простукивание, виброакустический, сейсмоакустический, ультразвуковой и др.) носят дискретный характер и не могут быть использованы для полного контроля протяженных 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, фактическое расположение арматуры также достаточно часто произвольно, а донная поверхность плит при укладке бетонной смеси непосредственно на грунтовое основание сращивается со слоем гравия обратного фильтра, что резко увеличивает шероховатость поверхности. Естественная просадка грунта из-за уплотнения при увлажнении (бетонные крепления откоса по всей площади конструкции не бывает идеально герметичными) и при колебаниях крепления из-за волнового воздействия приводят к образованию зазоров и полостей между плитами и грунтом. Соответственно, провисшие на большой площади плиты могут деформироваться и обрушаться, обнажая грунт, который при этом будет активно вымыватьсь. Температурно-осадочные швы между плитами над полостями будут нарушаться, что приведёт к потере герметичности покрытия, соответственно к активизации процесса увлажнения основания, и как следствие, к активизации процесса миграции песка в грунте и к росту осадочных явлений в основании.

Такие процессы в отдельных случаях становятся причиной разрушений бетонных креплений, приводящих к полному выходу сооружений из строя. Пример – авария на деривационном канале Земо-Авчальской ГЭС (Грузия) в 1987 году, когда в результате вымывания грунта из-под бетонной облицовки произошло спонтанное разрушение насыпи между ложем канала и рекой Курой (рис. 1). Это привело к быстрому опорожнению канала через проран и, как следствие, к серьёзной обстановке в зоне прорыва и к выводу ГЭС из эксплуатации на длительный срок. При последующем техническом обследовании монолитной бетонной облицовки откосов канала были выявлены многочисленные отслоения плит от грунтового основания и значительные подплитные полости. Своевременное выявление и устранение дефекта отслоения

Штенгель В.Г., Недялков В.С. Тепловизионное обследование железобетонных плит крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений

бетонного крепления от грунтового основания повысит надежность долговременной эксплуатации грунтовых откосов ГТС различного назначения.



**Рисунок 1. Разрушение ложа деривационного канала Земо-Авчальской ГЭС (Грузия).
Фрагмент дна канала**

Один из современных МНК зданий и сооружений – тепловой метод, основанный на получении тепловизионных картин исследуемой поверхности участков сооружений, он может быть при определённых условиях применён для выявления данного дефекта. Однако полученные результаты подвержены значительным фоновым воздействиям, зависят от особенностей структуры диагностируемого материала, его поверхности и прочего (рис. 2) [1]. Отдельные элементы методических решений, учитывающие особенности обследования неметаллических конструкций, изложены в технической литературе прилагаемого списка [1–15]. Они были проанализированы, но в данной статье прикладного характера не рассматриваются.

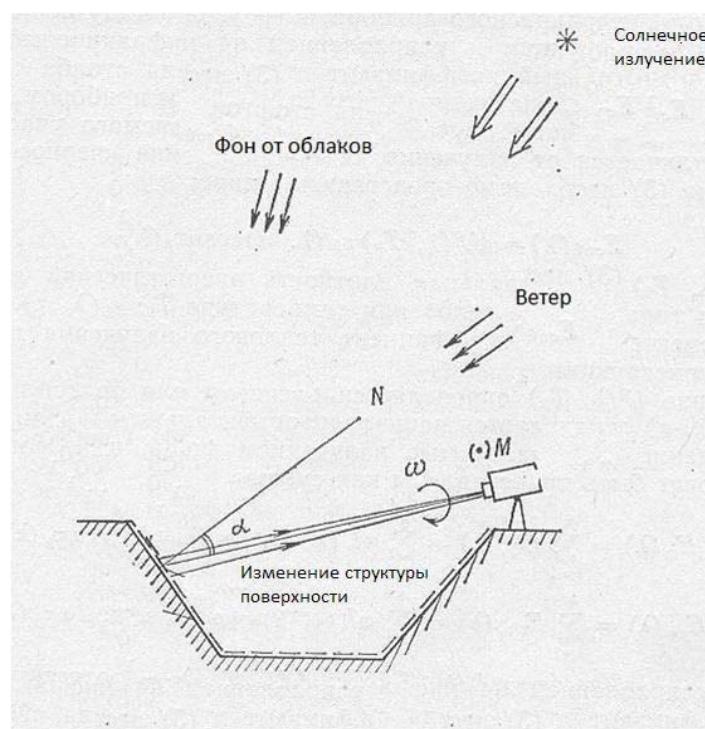


Рисунок 2. Некоторые внешние факторы, влияющие на показания тепловизора

Цель данной работы – проверка работоспособности теплового метода в реальных натурных условиях с учетом особенностей обследуемых конструкций и с отработкой методики тепловизионного обследования. На примере решения конкретной задачи на определённом

объекте разработаны методы повышения достоверности полученных результатов и снижения операторских ошибок и ошибок в интерпретации результатов.



Рисунок 3. Обследование откосов шлюза-распределителя ГАЭС

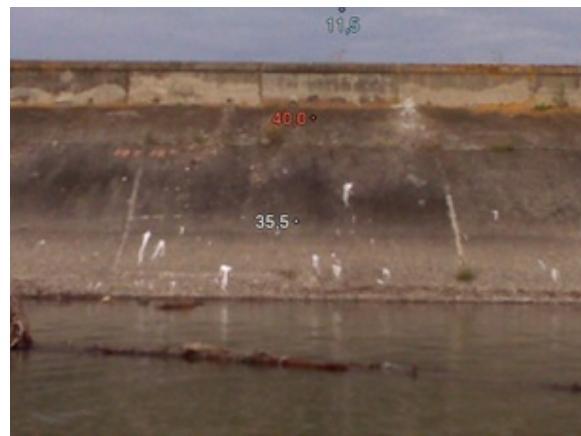


Рисунок 4. Фрагмент обследуемого бетонного крепления откоса плотины (вид с лодки)

Проведён поиск отслоений в контактных зонах «плита – основание» железобетонного крепления откосов грунтовой плотины Кубанского водохранилища протяженностью 6800м, а также двух откосов нижнего бьефа шлюза-распределителя ГАЭС длиной по 200 м каждый (рис. 3). Сооружения построены в 1968 году и неоднократно ремонтировались. Откосы плотины заположены 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 заполаживания 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 70 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. Источник тепла – естественный солнечный нагрев. Плиты обследовались в двух тепловых режимах: на максимальном нагреве в дневное время (плиты над полостями более теплые, чем на грунте) и на максимальном охлаждении в утреннее время (плиты над полостями более холодные, чем плотно контактирующие с грунтом, аккумулирующим при нагреве теплом).

Для исследования был выбран комбинированный метод, основанный на получении тепловых характеристик объекта с помощью тепловизора с последующим анализом зон с предполагаемым наличием дефекта контакта плита-основание, контролем их при помощи апробированных методов и выделением их из общего информационного поля по объекту. Таким образом, локализуется зона дальнейших исследований протяженных крупноразмерных объектов, что приводит к повышению производительности детального обследования.

Метод тепловизионного контроля (МТК) приемлем при допущении, что объект, представляющий систему «песчаное основание–контактное пространство–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. образовалось 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 (рис. 4).

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. Отслоение бетонной облицовки

Штенгель В.Г., Недялков В.С. Тепловизионное обследование железобетонных плит крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений

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 [2].

В качестве средства измерения температурного поля был применен специализированный строительный тепловизор Fluke TiR 32, обладающий высокой чувствительностью около $0,05^{\circ}\text{C}$ в рабочем диапазоне температур около 30°C . Погрешность измеряемых температур не превышает $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Прибор имеет высокую ударопрочность, что позволяет использовать его в сложных полевых условиях, карту памяти и синхронизированные камеры инфракрасного диапазона и фотокамеру видимого диапазона. Общая масса прибора около 1 кг. Возможность слитного 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. 5а, 5б).

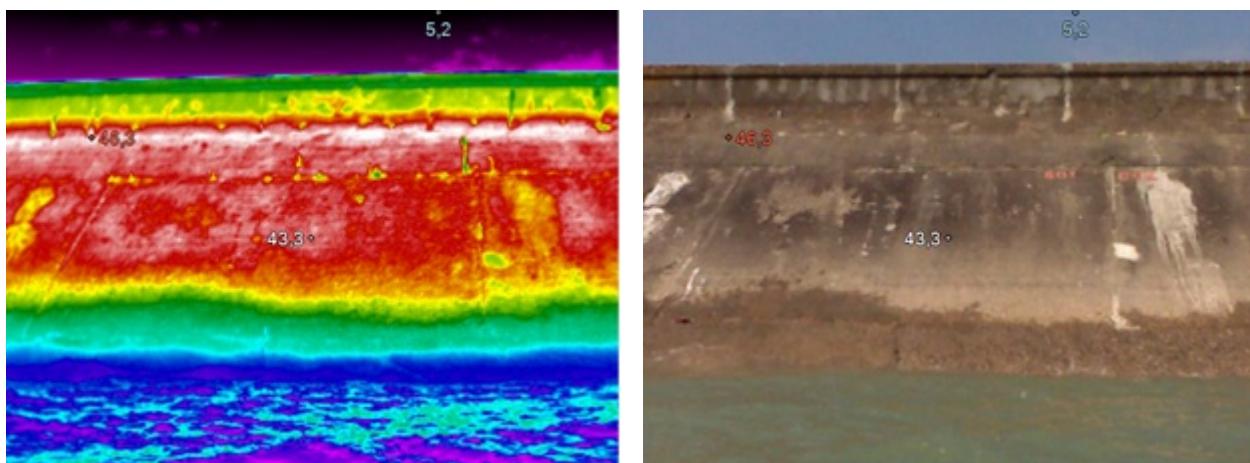


Рисунок 5 а,б. Пример совмещения термограммы и видимого режима контролируемого участка откоса

Измерения проводились в два этапа: в утренние и вечерние часы, поскольку при прогреве температура части плиты над пустотной частью выше, чем тех участков, которые плотно прилегают к основанию, а при остывании она опускается быстрее, чем над участком с плотным контактом с основанием.

При анализе термограмм (рис. 5а) одновременно сравниваются соседние участки бетонного крепления откоса. При этом влиянием метеоусловий и временем съемки можно пренебречь. Однако при уменьшении теплового контраста дефектных и бездефектных участков возможность пропуска дефектов незначительной площади увеличивается.

Полученные результаты:

- 1) нагрев плит в значительной степени зависит от угла падения солнечных лучей и от положения контролируемых участков относительно солнца;
- 2) результат зависит от угла между воображаемой горизонтальной прямой, исходящей из центра линзы прибора, и плоскостью откоса (рис. 2);
- 3) интенсивность теплового излучения плит зависит от фактического нагрева и ветрового отъема 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 (рис. 6,7,8), которые часто оказываются пятнами бетона другого цвета, участками плит, обросшими мхом, с разрушениями поверхностного слоя, плитами со следами ремонта («набетонкой» на поврежденную поверхность), остатками ремонтного состава на поверхности плит и т.д. На практике только по термограмме сразу выделить участки поверхности откосов, которые можно интерпретировать, как имеющие отслоения от грунта, достаточно сложно. В этом случае необходимо сравнить термограмму с фотоизображением и принять решение о необходимости дальнейшего исследования участка.

Штенгель В.Г., Недялков В.С. Тепловизионное обследование железобетонных плит крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений

Удалось выявить ряд участков крепления откосов, которые были отнесены к дефектным. При контрольной проверке с помощью ударов молотка на этих участках проявляется 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. Факт отслоения подтвердился на 99 участках (около 50% от общего количества участков с тепловой аномалией).

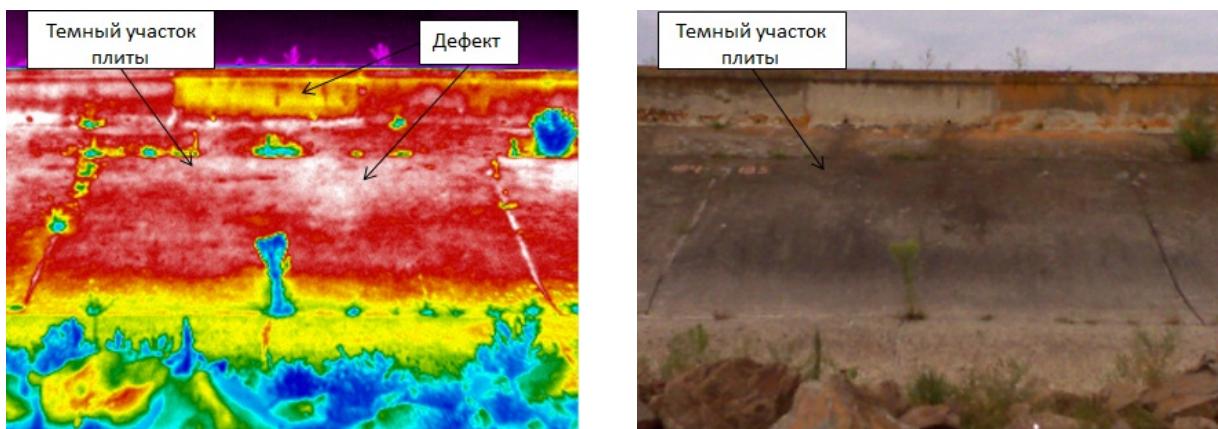


Рисунок 6. На термограмме отмечены 2 участка. Один соответствует потемневшему верхнему слою бетона плиты, другой – дефекту в другой части плиты. Парапет бетонного крепления также имел внутренние расслоения

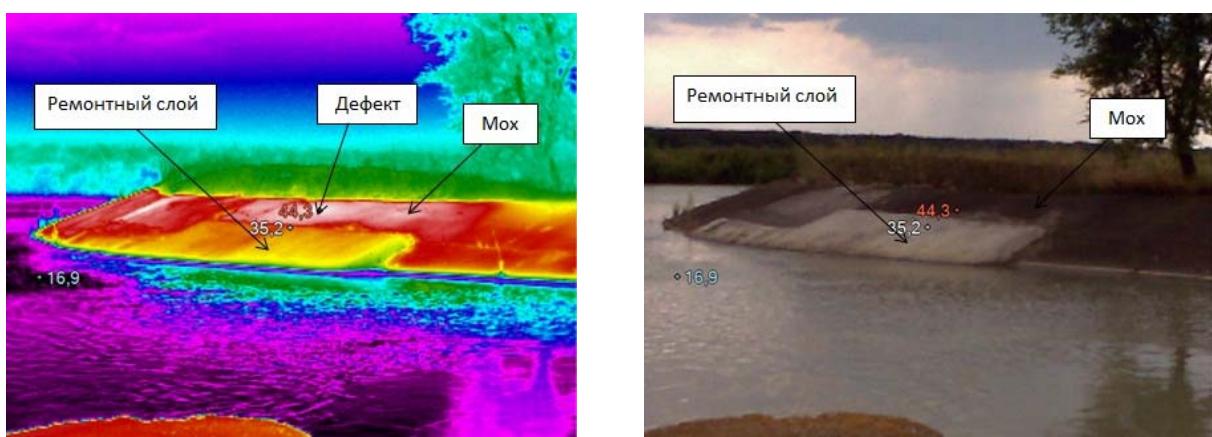


Рисунок 7. Обозначена зона дефекта, где было обнаружено отслоение. Ремонтный слой на термограмме может вызывать иллюзию дефекта, но на видимом режиме отчетливо видно, что это не дефект. Ещё одна аномалия, по температурному контрасту похожая на дефект, оказалось участком плиты, обросшим мхом

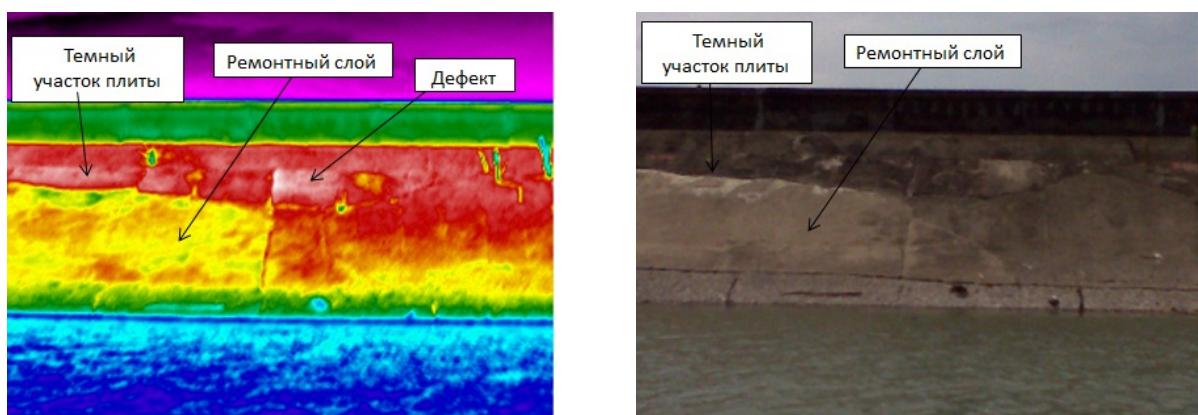


Рисунок 8. Совокупность аномалий на термограмме, соответствующих участкам плиты с тёмной поверхностью, с ремонтным слоем и непосредственно с дефектом

Анализ термограмм по всей длине сооружений показал, что 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 – просадки верхней части грунтовых плотин из-за естественного уплотнения грунта основания, усугубленного 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. На рассматриваемом примере демонстрируется, что при методе общего нагрева композитной строительной конструкции с использованием активного режима тепловизионного обследования (во время нагревания) из-за локальных неоднородностей различного типа наружной поверхности 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 пассивном режиме, когда композитная строительная конструкция излучает накопленное в активном режиме тепло (в данном случае при остывании нагретых бетонных плит).
2. Ошибки идентификации дефектов (в данном случае расслоение композитных конструкций) в активном режиме значительно снижаются при анализе синхронных тепловизионного и визуального изображений одних и тех же участков контролируемой конструкции.
3. Применение тепловизора, сочетающего в себе синхронизированные инфракрасную и фото камеры, позволяет оперативно выполнить общую дефектоскопию протяженных участков гидротехнических сооружений. В данном случае выявлялись участки отслоения бетонных плит крепления от грунтового основания ГТС.
4. 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.
5. 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 тепловизионного обследования, связано не с дефектами в виде отслоения плит от основания, а с особенностями поверхностного слоя бетона и маскирующими факторами.
6. Практика показала, что проводить съемки целесообразно не в период максимальной солнечной интенсивности или 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 холода, и от иных условий, но обычно составляет 2-4 часа.
7. В дальнейшем для исследования креплений предполагается совместное использование тепловизора и георадара. Тепловизионная локализация участков отслоения позволит значительно сократить объем георадарных исследований. Георадар, в свою очередь, позволит определить параметры отслоений [16].
8. Экспериментально подтвердилось, что для откоса грунтовой плотины отслоения грунтового основания от плит крепления наиболее часто встречаются вдоль верхней кромки гребня плотины и под температурно-осадочными швами между плитами.
9. Причинами отслоений следует считать локальную осадку грунтового (песчаного) основания из-за увлажнения, вызванного нарушением гидроизоляции температурно-осадочных швов между плитами и водосборного лотка на гребне плотины.

Литература

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

*Вячеслав Гедалиевич Штенгель, Санкт-Петербург, Россия

Тел. раб.: +7(812)493-93-87; эл. почта: Shtenge/VG@vniig.ru

Infared image inspection of ground hydraulic constructions slopes fastening reinforced concrete slabs

V.G. Shtengel;
V.S. Nedyalkov,

JSC The B.E. Vedeneev VNIIIG, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)493-93-87; e-mail: ShtengelVG@vniig.ru

Key words

nondestructive thermal examination method; reinforced concrete fastening slopes; slabs detachment; subgrade; thermogram; visible recording

Abstract

Non-metallic building structures nondestructive examination methods using is an essential requirement for conducting a technical inspection of existing constructions.

The technique of applying the nondestructive examination method for thermal control of one of the most common constructions of hydraulic structures – reinforced concrete fastening slopes of ground facilities (dams, canals, etc.) is considered in this article. The aim of this method is to identify areas of slabs, detached from subgrade.

It is shown that the optimal decision includes synchronized analysis of the thermograms and the visible areas of the slopes detachment recording. This decision reduces the number of the thermal field areas false anomalies caused by the local features of concrete surface layer and by background effects.

During the results analyzing false anomalies of the constructions thermal field areas must be considered and rejected. These anomalies can be related with the concrete surface layer condition or the proximity of masking factors: water, vegetation, etc. In the example of full-scale 6.8 km long dam examination the false thermograms anomalies were more than 50% from the total number of tested plates.

References

1. Yalyshev F. Kh. *Izvestiya VNIIIG im. B. E. Vedeneyeva*. 1990. Vol. 221. Pp. 46-52. (rus)
2. Gorbunov V. I., Yepifantsev B. N., Gefle G. Kh., Nemirovich-Danchenko M. M. *Defektoskopiya [Defectoscopy]*. 1980. No. 11. Pp. 109-111. (rus)
3. Gossorg Zh. *Infrakrasnaya termografiya. Osnovy, tekhnika, primeneniye* [Infrared thermography. Fundamentals, techniques, applications]. Moscow: Mir, 1989. 416p. (rus)
4. Yalyshev F. Kh. *Opticheskiye metody kontrolya zdaniy i sooruzheniy: Kontrol kachestva teplozashchity* [Optical controlling methods of building and constructions: Quality control of thermal insulation]. Leningrad: Stroyizdat, 1989. 80p. (rus)
5. Dubovik L. Ya., Dolgov V. A. *Izvestiya VNIIIG im B. E. Vedeneyeva*. 1990. Vol. 221. Pp. 52-55. (rus)
6. Karmanov I. V., Khorkov V. I., Dubovik L. Ya., Dolgov V. A. *Izvestiya VNIIIG im. B. E. Vedeneyeva*. 1990. Vol. 221. Pp. 69-73. (rus)
7. Vavilov V. P., Aleksandrov A. N. *Infrakrasnaya termograficheskaya diagnostika v stroitelstve i energetike* [Infrared thermographic diagnosis in engineering and energetics]. Moscow: NTOR «Energoprogress», 2003. 76 p. (rus)
8. Drozdov V. A., Sukharev V. I. *Termografiya v stroitelstve* [Thermography in civil engineering]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 240 p. (rus)
9. Budadin O. N., Potapov A. I., Kolganov V. I., Troitskiy-Markov T. E., Abramova Ye. V. *Teplovoy nerazrushayushchiy kontrol izdeliy* [Thermal nondestructive control of products]. Moscow: Nauka, 2002. 472 p. (rus)
10. Vavilov V. P., Gorbunov V. I. *Defektoskopiya* [Defectoscopy]. 1981. No. 4. Pp. 5-22. (rus)
11. Luzhin O. V. *Nerazrushayushchiye metody ispytaniya betona* [Nondestructive concrete examination methods]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 236p. (rus)

12. Budadin O. N., Abramova Ye. V., Troitskiy-Markov T. E. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [In the world of nondestructive examination methods]. 2004. No. 1. Pp. 22-24. (rus)
13. Budadin O. N., Smirnov Yu. V., Troitskiy-Markov T. E. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [In the world of nondestructive examination methods]. 2008. No. 3. Pp. 32-33. (rus)
14. Budadin O. N., Abramov Ye. V., Rodin M. A., Lebedev O. V. *Defektoskopiya* [Defectoscopy]. 2003. No. 5. Pp. 77-94. (rus)
15. Vavilov V. P. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [In the world of nondestructive examination methods]. 2008. No. 4. Pp. 32-35. (rus)
16. Glazunov V. V., Yefimova N. N., Shtengel V. G. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [In the world of nondestructive examination methods]. 2006. No. 1. Pp. 18-21. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 26-32