

DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-39-44

*Карпов Д.Ф., старший преподаватель,
Вологодский государственный университет, Россия*
*Ответственный автор E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ В ДЕФЕКТΟΣКОПИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ, ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация: рассмотрен один из перспективных и современных методов неразрушающего контроля – тепловой контроль. Представлены возможности и достоинства теплового контроля в идентификации дефектов различных строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений. Предложены краткие характеристики основных дефектов строительных материалов и изделий, зданий и сооружений. Кратко рассмотрены основные принципы идентификации скрытых (невидимых) и явных (видимых) дефектов и представлены практические результаты строительной дефектоскопии объектов различного назначения с привлечением тепловизионной техники. На примере фрагмента ограждающей строительной конструкции из штучных строительных изделий в виде керамических кирпичей с искусственно созданными техническими дефектами в процессе качественного анализа термограмм локализованы зоны тепловых температурных аномалий (метод активного теплового контроля). Для некоторых ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений по результатам тепловизионной съемки идентифицированы явные тепловые дефекты, выполнен их качественный анализ и предложены рекомендации по устранению (метод пассивного теплового контроля).

Ключевые слова: неразрушающий контроль, тепловой контроль, активный и пассивный тепловой контроль, скрытый дефект, явный дефект, дефектоскопия, температура, тепловая температурная аномалия, тепловой поток, термограмма

Введение

Неразрушающий контроль (НК) предназначен для проверки надежности объекта контроля, его отдельных элементов и конструкций щадящими методами, которые не требуют кардинального демонтажа или временного выведения из строя. НК основан на исследовании физических принципов, на которых базируются методы и средства контроля, не ухудшающие эксплуатационную пригодность и не нарушающие целостность контролируемых объектов [1, 2].

Действующие нормативные документы лаконично определяют НК, как контроль, который не разрушает. Согласно [3] и в зависимости от лежащих в его основе физических процессов, НК подразделяется на 10 основных видов (магнитный, электрический, вибрационный и др.) [1], одним из которых является также и тепловой контроль (ТК), представляющий для автора область профессиональных научных интересов.

ТК подразумевает мониторинг температурных полей и контрастов, тепловых потоков любых материалов для выявления неисправностей и дефектов [4-13].

Выбор приборов и средств, применяемых в рамках проведения НК, зависит от поставленных задач, выбранного метода и параметров объекта контроля (наличия повреждений, толщины стен или покрытия и др.). Так, ТК, базирующийся на преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр, выполняется с помощью следующего оборудования: тепловизора, пирометра, логгеров данных, измерителей плотности температур и тепловых потоков, различных механических средств (термокарандаши, теплоотводящая паста, высокотемпературная краска и т.д.) [9].

ТК бывает активный и пассивный. Также ТК классифицируется на стационарный и нестационарный (динамический) [8].

Основной характеристикой активного ТК является термостимуляция объекта контроля внешним источником энергии. Применяя активный ТК в строительной дефектоскопии, информацию о дефектах содержат локальные тепловые температурные аномалии на поверхности объекта контроля.

Температурное поле, сформировавшееся в процессе функционирования объекта контроля, является основной характеристикой пассивного ТК.

Идентифицируемые дефекты бывают скрытые (невидимые, неявные) и явные (видимые).

Методы и материалы

От качества строительных материалов и изделий зависят долговечность, надежность и безопасность зданий и сооружений, из которых они возведены. Недостаточный контроль качества строительных материалов

и изделий на стадии их изготовления может привести к нарушениям состава, размеров и т.д. Качество строительных материалов и изделий регламентируется нормативными документами.

Например, низкое качество исходных материалов: бетона, кирпича, раствора, недостатки конструктивно-го решения или нарушения технологии производства работ является потенциальной причиной дефектов железобетонных и каменных конструкций.

Применение некачественных строительных материалов и изделий или нарушение технологии их изготовления может являться причиной дефектов зданий и сооружений при их строительстве.

При работе в зимнее время, в труднодоступных местах и контроле таких мест (стыки, места большого насыщения арматурой и др.), как правило, также идентифицируются дефекты.

Недостатки прогрева бетона, нарушение режима температурно-влажностной обработки, раннее замораживание, некачественный уход за свежеприготовленным материалом, как в теплый, так и холодный периоды года, могут быть причиной низкого качества данного строительного материала.

Низкая морозостойкость, обусловленная некачественным составом и приготовлением глиняной массы, неправильный обжиг, несоблюдение отдельных технологических этапов изготовления кирпича, могут являться существенными недостатками. При дальнейшем использовании такого штучного строительного материала, например, при укладке его в конструкцию, в условиях отрицательных температур, кирпич будет расслаиваться и разрушаться.

Потеря устойчивости и нарушение герметичности являются наиболее частыми дефектами, возникающими при недостаточном контроле за качеством работ в процессе возведении монолитных конструкций из железобетона.

На рис. 1 представлена общая классификация дефектов зданий и сооружений.

В [14] подробно представлены характерные дефекты и повреждения наружных стен, виды и характеристика дефектов стенового ограждения из панелей, виды и характеристика дефектов ограждающих конструкций зданий и сооружений.

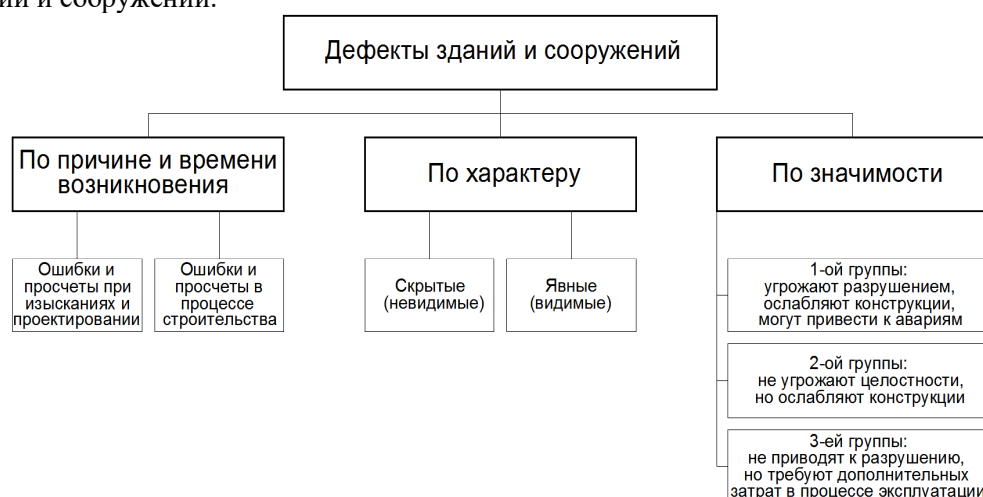


Рис. 1. Классификация дефектов зданий и сооружений

Fig. 1. Buildings and structures defects classification

Результаты и обсуждения

Варианты импульсного ТК лежат в основе многих процедур активного ТК. При импульсном ТК осуществляется термостимуляция объекта контроля импульсом тепловой энергии. Такой импульс имеет определенную длительность, а также включает в себя фиксацию температурных полей на всех поверхностях объекта контроля. Данные действия при импульсном ТК выполняются в процессе действия самого импульса (этап тепловой стимуляции) и в процессе окончания действия импульса (этап естественного охлаждения). Сами процедуры могут выполняться разными способами, которые будут зависеть от физической реализацией термостимуляции или от особенностей обработки температурно-поточковой информации. Большое количество процедур ТК зависит от способа извлечения количественно-качественной информации о скрытых дефектах из основной функции, связанной с температурой и временем $t(x, y, \tau)$. Данная функция дает представление о временной (τ) и пространственной (x, y) характеристике избыточной температуры в каждой точке объекта контроля, фиксируется для n количества полученных тепловых изображений (рис. 2) и зависит от некоторых технических характеристик (размер детектора, температурная чувствительность) тепловизионной техники, отвечающих за качество получаем тепловых изображений: $t(i, j, \tau)$ [8].

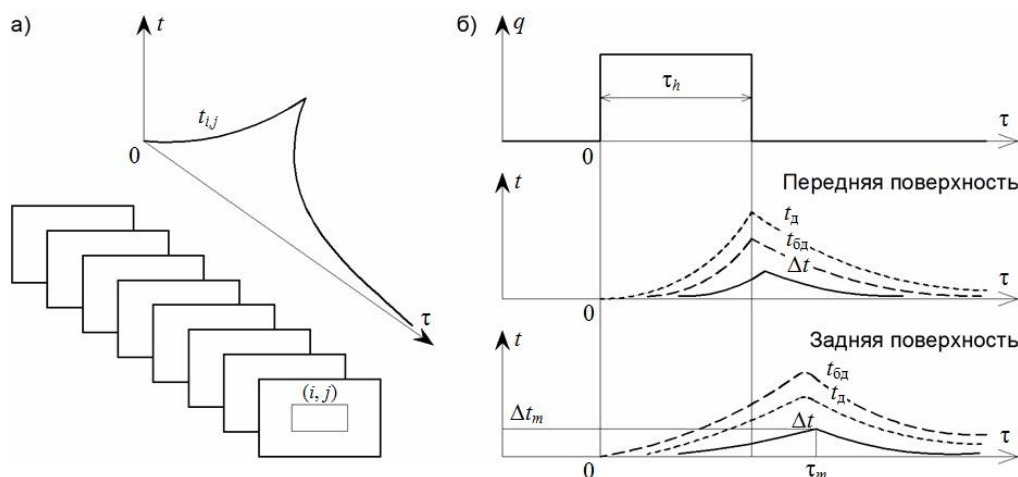


Рис. 2. Основные температурные функции активного ТК: а) формирование последовательности тепловых изображений и функции $t(i, j, \tau)$; б) импульс нагрева и формирование температурного сигнала Δt
Fig. 2. The main temperature functions of active thermal control: a) the formation of a sequence of thermal images and functions $t(i, j, \tau)$; b) heating pulse and the formation of a temperature signal Δt

На рис. 2 для дефектной (д) и бездефектной (бд) областей представлены стандартные функции вида $t(i, j, \tau)$.

В процессе термостимуляции передней поверхности объекта контроля избыточная температура t возрастает от «0» и достигает максимума в конце теплового импульса продолжительностью τ_h . Максимум избыточной температуры t со сдвигом относительно окончания термостимуляции наблюдается на задней поверхности объекта контроля. С увеличением толщины объекта контроля и снижением его теплопроводности наблюдается возрастание величины данного сдвига.

На этапе охлаждения температура падает до температуры окружающей среды (или до «0» для избыточных температур нагрева). Это происходит вследствие теплообмена объекта контроля с окружающей средой.

Температурный сигнал является ключевым понятием ТК и определяется, как разность температур в исследуемой точке (зоне) объекта контроля и в точке (зоне), принятой за бездефектную:

$$\Delta t(x, y, \tau) = t(x, y, \tau) - t_{bd}(x, y, \tau). \quad (1)$$

Температурный сигнал от внутреннего дефекта достигает максимального значения Δt_m в момент времени τ_m . Это происходит в процессе динамической термостимуляции (охлаждения).

Из теории НК известно, что наибольшая статистическая достоверность получаемых результатов обеспечивается при максимально возможном отношении сигнал/шум. При динамических испытаниях это происходит в оптимальный момент наблюдения (фиксации информации). В первой итерации $\tau_m(\Delta t_m)$ является оптимальным моментом наблюдения. При таком условии можно считать, что вместо записи последовательности тепловых изображений в момент τ_m , можно фиксировать одно тепловое изображение.

Основные правила проведения тепловизионной съемки с целью выявления явных (видимых) активных или пассивных тепловых дефектов широко представлены в [6, 7, 15-17]. Основная задача поиска таких дефектов сводится к обнаружения мест тепловых температурных аномалий (локальные изменения распределения теплового излучения объекта контроля, трактуемые как отклонения от нормы). Для реализации таких задач применяется тепловизионная техника, которая в настоящее время становится все популярнее и доступнее в решении вопросов строительной дефектоскопии.

Рассмотрим вариант активного ТК фрагмента ограждающей строительной конструкции из штучных строительных изделий (керамических кирпичей) с искусственно созданными техническими дефектами в виде коннекторного теплопроводного включения (металлический стержень) и вертикальной трещины (рис. 3). После термостимулирования данной ограждающей конструкции внешними источниками тепловой энергии в виде электрических инфракрасных излучателей, выполнения тепловизионной съемки, качественного анализа термограмм, делаем вывод: в зоне расположения коннекторного включения зафиксирована концентрация теплового излучения (температурного поля) отличного от теплового излучения (температурного поля) соседних участков, что является тепловой температурной аномалией. Можем констатировать наличие явного дефекта; в зоне расположения вертикальной трещины, заполненной воздухом, зафиксирована концентрация теплового излучения (температурного поля) отличного от теплового излучения (температурного поля) соседних участков, что является тепловой температурной аномалией. Также констатируем наличие явного дефекта.

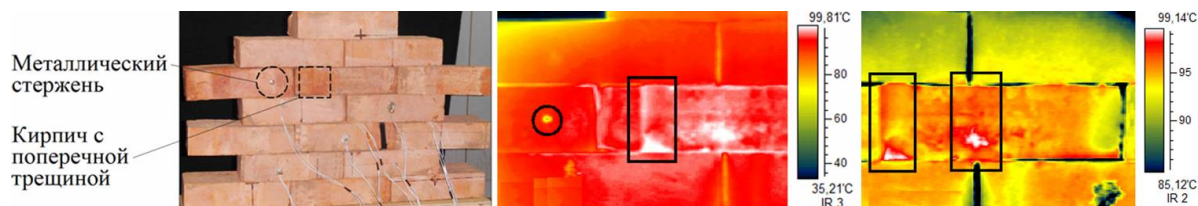


Рис. 3. Фрагмент ограждающей конструкции из штучных строительных изделий (керамических кирпичей) с дефектами и термограммы с зонами локализации тепловых температурных аномалий

Fig. 3. A fragment of the building envelope made of piece building products (ceramic bricks) with defects and thermograms with zones of localization of thermal temperature anomalies

Вариант пассивного ТК представлен в виде результатов тепловизионной съемки некоторых ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений с идентифицированными явными тепловыми дефектами (табл. 1). Термограммы получены для строительных объектов различного назначения, расположенных в городе Вологде. Тепловизионная съемка выполнялась тепловизорами известных марок SDS HotFind-D и Testo 875-2.

Таблица 1

Явные тепловые дефекты ограждающих конструкций зданий и сооружений

Table 1

Explicit thermal defects of the enclosing structures of buildings and structures

<p>Тепловая аномалия в месте горизонтального стыка кровли и ограждающей наружной конструкций. Рекомендуется устройство наружной теплоизоляции</p>	<p>Тепловая аномалия в месте вертикального стыка стеновых панелей типового панельного жилого дома. Рекомендуется устройство наружной теплоизоляции</p>	<p>Зона потенциально-возможного образования конденсата в месте стыка наружной и внутренней стен, междуэтажного перекрытия. Рекомендуется устройство наружной теплоизоляции</p>
<p>Тепловая аномалия в месте вертикального стыка стеновых панелей типового панельного жилого дома. Рекомендуется устройство наружной теплоизоляции</p>	<p>Тепловая аномалия в месте горизонтального стыка вертикальных наружных ограждений и фундамента. Рекомендуется устройство наружной теплоизоляции</p>	<p>Тепловая аномалия в месте вертикального стыка оконного блока и наружной ограждающей конструкции. Рекомендуется устройство наружной/внутренней теплоизоляции</p>

Выводы

Высокая востребованность методов НК объясняется достоинствами самих методов, а также их соответствием современным требованиям гражданской и промышленной безопасности.

Представлены практические результаты строительной дефектоскопии материалов и изделий, различных ограждающих конструкций зданий и сооружений с привлечением тепловизионной техники: 1) на примере фрагмента ограждающей строительной конструкции из штучных строительных изделий в виде керамических кирпичей с искусственно созданными техническими дефектами по качественному анализу термограмм локализованы зоны тепловых температурных аномалий; 2) на примере некоторых ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений по результатам тепловизионной съемки идентифицированы явные тепловые дефекты, выполнен их качественный анализ и предложены рекомендации по устранению.

Полученные результаты подтверждают известные возможности ТК в идентификации дефектов различных строительных объектов и их отдельных элементов [4, 5, 9, 11, 12].

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 5: в 2 кн.; кн. 1: В.П. Вавилов. Тепловой контроль; кн. 2: К.В. Подмастерьев, Ф.Р. Соснин, С.Ф. Корндорф и др. Электрический контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение. 2006. 679 с.
2. Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ланге Ю.В. и др. 16-я Международная конференция по неразрушающему контролю (Монреаль, Канада, 30 августа – 3 сентября, 2004 г.) // Контроль. Диагностика. 2005. №1. 22 с.
3. ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.08.2015 г. №1112-ст. М.: Стандартинформ. 2015. 16 с.
4. Клюев В.В., Будадин О.Н., Абрамова Е.В. и др. Тепловой контроль композитных конструкций в условиях силового и ударного нагружения. 1-е изд. М.: Издательский дом «СПЕКТР», 2017. 200 с.
5. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Издательство «Наука». 2002. 473 с.
6. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2013. 176 с.
7. Вавилов В.П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров. 1-е изд. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
8. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. Томск. 2007. 104 с.
9. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий: научное, методическое, справочное пособие. Санкт-Петербург. Гуманистика. 2009. 904 с.
10. Вавилов В.П., Торгунаков В.Г., Ширяев В.В., Иванов А.И. и др. Тепловой неразрушающий контроль в Томском НИИ интроскопии // Известия ТПУ. 2003. Т. 306. №1. С. 110 – 118.
11. Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Родин М.А., Лебедев О.В. Тепловой неразрушающий контроль зданий и строительных сооружений // Дефектоскопия. 2003. №5. С. 77 – 94.
12. Балашов А.А., Майникова Н.Ф., Муромцев Ю.Л., Рогов И.В. Неразрушающий контроль свойств строительных материалов тепловыми методами // Вестник ТГУ. Т. 4. вып. 2. 1999. С. 274 – 275.
13. Cramer K., Winfree W., Hodges K., Koshti A. et al. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA // Proc. SPIE "Thermosense XXVIII". 2006. V. 6205. P. 6205 1B 1-9.
14. РД 153-34.1-21.324-98. Методика по обследованию стеновых ограждающих конструкций зданий и сооружений ТЭС. Введ. 01.02.2000. М. 2000. 40 с.
15. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд., испр. и доп. М.: 2013. 544 с.
16. George S., Goravar S., Mishra D., Shyamsunder M.T. et al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // Insight. 2010. V. 52. N 9. P. 470 – 474.
17. Vijayraghavan G.K., Majumder M.C., Ramachandran K.P. NDTE using flash thermography: numerical modelling and analysis of delaminations in GRP pipes // Insight. 2010. Vol. 52. N9. P. 481 – 487.

References

1. Nerazrushayushchij kontrol': Spravochnik: v 8 t. Pod obshch. red. V.V. Klyueva. T. 5: v 2 kn.; kn. 1: V.P. Vavilov. Teplovoj kontrol': kn. 2: K.V. Podmaster'ev, F.R. Sosnin, S.F. Korndorf i dr. Elektricheskij kontrol'. 2-e izd., ispr. M.: Mashinostroenie. 2006. 679 p. (rus.)
2. Klyuev V.V., Sosnin F.R., Lange YU.V. i dr. 16-ya Mezhdunarodnaya konferenciya po nerazrushayushchemu kontrolyu (Monreal', Kanada, 30 avgusta – 3 sentyabrya, 2004 g.). Kontrol'. Diagnostika. 2005. №1. 22 p. (rus.)
3. GOST R 56542-2015. Kontrol' nerazrushayushchij. Klassifikaciya vidov i metodov. Utv. i vved. v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 07.08.2015 g. 1112-st. M.: Standartinform. 2015. 16 p. (rus.)
4. Klyuev V.V., Budadin O.N., Abramova E.V. i dr. Teplovoj kontrol' kompozitnyh konstrukcij v usloviyah silovogo i udarnogo nagruzheniya. 1-e izd. M.: Izdatel'skij dom «SPEKTR», 2017. 200 p. (rus.)
5. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I., Troickij-Markov T.E. i dr. Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' izdelij. M.: Izdatel'stvo «Nauka». 2002. 473 p. (rus.)
6. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Teplovoj kontrol': ucheb. posobie. M.: Izdatel'skij dom «SPEKTR». 2013. 176 p. (rus.)
7. Vavilov V.P. Teplovidenie i teplovoj kontrol' dlya inzhenerov. 1-e izd. M.: Izdatel'skij dom «SPEKTR». 2017. 72 p. (rus.)

8. Nesteruk D.A., Vavilov V.P. Teplovoj kontrol' i diagnostika: ucheb. posobie dlya podgotovki specialistov I, II, III urovnya. Tomsk. 2007. 104 p. (rus.)
9. Potapov A.I., Syas'ko V.A. Nerazrushayushchie metody i sredstva kontrolya tolshchiny pokrytij i izdelij: nauchnoe, metodicheskoe, spravochnoe posobie. Sankt-Peterburg. Gumanistika. 2009. 904 p. (rus.)
10. Vavilov V.P., Torgunakov V.G., SHiryaev V.V., Ivanov A.I. i dr. Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' v Tomskom NII introskopii. Izvestiya TPU. 2003. 306 (1). P. 110 – 118. (rus.)
11. Budadin O.N., Abramova E.V., Rodin M.A., Lebedev O.V. Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' zdanij i stroitel'nyh sooruzhenij. Defektoskopiya. 2003. 5. P. 77 – 94. (rus.)
12. Balashov A.A., Majnikova N.F., Muromcev YU.L., Rogov I.V. Nerazrushayushchij kontrol' svoystv stroitel'nyh materialov teplovymi metodami. Vestnik TGU. 1999. 4 (2). P. 274 – 275. (rus.)
13. Cramer K., Winfree W., Hodges K., Koshti A. at al. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA. Proc. SPIE "Thermosense XXVIII". 2006. 6205. P. 6205 IB 1-9.
14. RD 153-34.1-21.324-98. Metodika po obsledovaniyu stenovyh ograzhdayushchih konstrukcij zdanij i sooruzhenij TES. Vved. 01.02.2000. M. 2000. 40 p. (rus.)
15. Vavilov V.P. Infrakrasnaya termografiya i teplovoj kontrol'. 2-e izd., ispr. i dop. M.: 2013. 544 p. (rus.)
16. George S., Goravar S., Mishra D., Shyamsunder M.T. at al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography. Insight. 2010. 52 (9). P. 470 – 474.
17. Vijayraghavan G.K., Majumder M.C., Ramachandran K.P. NDTE using flash thermography: numerical modellling and analysis of delaminations in GRP pipes. Insight. 2010. 52 (9). P. 481 – 487.

*Karpov D.F.**, Senior Lecturer,
Vologda State University, Russia

*Corresponding author E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

APPLICATION OF ACTIVE AND PASSIVE THERMAL CONTROL IN DEFECTOSCOPY OF CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS, FILLER STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Abstract: one of the perspective and modern methods of nondestructive testing – thermal control is considered. The possibilities and advantages of thermal control in the identification of defects in various building materials and products, enclosing structures of buildings and structures are given. The short characteristics of the main defects of building materials and products, buildings and structures are proposed. The basic principles of identification of hidden (invisible) and obvious (visible) defects are briefly considered and practical results of construction flaw detection of objects for various purposes with the use of thermal imaging equipment are presented. On the example of a fragment of the enclosing building structure of piece building products in the form of ceramic bricks with artificially created technical defects in the process of qualitative analysis of thermograms zone of thermal temperature anomalies (method of active thermal control) are localized. For some enclosing structures of buildings and structures based on the results of thermal imaging identified obvious thermal defects, their qualitative analysis and recommendations for elimination (method of passive thermal control) are made.

Keywords: non-destructive control, thermal control, active and passive thermal control, latent defect, clear defect, fault detection, temperature, thermal, thermal anomaly, heat flow, thermal simulation

Для цитирования: Карпов Д.Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №4. С. 39 – 44. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-39-44

For citation: Karpov D.F. Application of active and passive thermal control in defectoscopy of construction materials and products, filler structures of buildings and constructions. Construction Materials and Products. 2019. 2 (4). P. 39 – 44. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-39-44

Поступила в редакцию 28 марта 2019 г.
Принята в доработанном виде 2 мая 2019 г.
Одобрена для публикации 21 июня 2019 г.

Received: March 28, 2019.
Revised: May 2, 2019.
Accepted: June 21, 2019.