Для цитирования: Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов. Оценка теплозащитных свойств ограждающих конструкций строительных объектов по анализу термограмм. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021;48(2):92-102. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-92-102

For citation: D.F. Karpov, M.V. Pavlov. Assessing thermal properties of enclosing structures of construction facilities by analysis of thermograms. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (2): 92-102. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-92-102

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE**

УДК 772.962:699.86

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-2-92-102

**ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО АНАЛИЗУ ТЕРМОГРАММ**

Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов

Вологодский государственный университет,
160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия

Резюме. Цель. Одним из эффективных способов оценки тепловой защиты строительных объектов различного назначения является тепловой контроль. **Метод.** В соответствии с действующим на территории Российской Федерации национальным стандартом «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» результаты тепловизионного мониторинга объектов капитального и завершенного строительства в зависимости от поставленных целей и задач делятся на качественные и количественные. Качественная оценка заключается в компьютерной обработке и визуальной расшифровке термограмм с помощью специализированного программного обеспечения. Количественный анализ термограмм заключается в определении и численном сравнении значений параметров реперных участков и характеристик обнаруженных дефектов в объекте теплового контроля. **Результат.** В работе изложены специфика и результаты качественного и количественного анализа термограмм (тепловых изображений), полученных по результатам термографирования фрагментов наружных ограждающих конструкций объекта завершенного строительства – многоквартирного дома. Проанализированы существующие методики количественной оценки термограмм, взятые из нормативных документов и методических рекомендаций, а также представлены конкретные примеры их применения. **Вывод.** Тепловизионная диагностика позволяет качественно и количественно оценить уровень тепловой защиты строительной оболочки объекта контроля посредством «расшифровки» термограмм и сравнения полученных расчетных параметров с нормативными показателями.

Ключевые слова: теплозащитные свойства, ограждающая конструкция, объекты капитального и завершенного строительства, инженерно-технические системы, тепловой контроль, тепловизионная съемка, термограмма, тепловое изображение, качественный и количественный анализ.

**ASSESSING THERMAL PROPERTIES OF ENCLOSING STRUCTURES
OF CONSTRUCTION FACILITIES BY ANALYSIS OF THERMOGRAMS**

D.F. Karpov, M.V. Pavlov

Vologda State University,
15 Lenin Str., Vologda 160000, Russia

Abstract. Objective. One of the most effective ways to assess thermal protection of construction facilities of various applications is thermal control. **Methods.** According to the national standard “Method for thermal imaging quality control of thermal insulation of enclosing structures” in force on the Russian Federation territory, the results of thermal imaging monitoring of capital and completed construction facilities are divided into qualitative and quantitative depending on set goals and objec-

tives. Qualitative assessment involves computer processing and visual interpretation of thermograms using specialized software. Quantitative analysis of thermograms involves determining and numerically comparing parameters of reference areas and characteristics of defects detected in an object being under thermal control. **Results.** The paper describes particular characteristics and results of qualitative and quantitative analysis of thermograms (thermal images) obtained via thermography of fragments of external enclosing structures of a completed construction facility—an apartment building. The paper analyses existing methods of a quantitative assessment of thermograms described in regulatory documents and methodological recommendations, and presents specific examples of their application. **Conclusion.** Thermal imaging diagnostics makes it possible to qualitatively and quantitatively assess the level of thermal protection of the outer shell of an object under control by “decoding” thermograms and comparing calculated parameters with standard indicators.

Keywords: thermal properties, enclosing structure, capital and completed construction facilities, engineering systems, thermal control, thermal imaging, thermogram, thermal image, qualitative and quantitative analysis.

Введение. Для жилищно-коммунального и энергетического секторов Российской Федерации решение вопросов энерго- и ресурсосбережения, повышения энергоэффективности объектов капитального и завершеного строительства, инженерно-технических систем и подсистем жизнеобеспечения с каждым годом становится все более актуальным и практически значимым. По сравнению с другими странами мира, переход на альтернативные и возобновляемые виды энергии происходит достаточно медленно. Этому способствует существующий энергетический потенциал России, а также тот факт, что для большинства ее территорий инновационные технологии энергосбережения и повышения энергоэффективности, такие как, пассивное и энергоэффективное домостроение, солнечная и ветровая энергетика, биотопливо, тепловые насосы, минимально рентабельны [1].

Постановка задачи. В связи с этим, на текущий момент времени сверхважным является поиск путей рационального снижения потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов строительными объектами и инженерно-техническими системами, а не глобально-кардинальное переустройство отечественной энергетической системы. Для решения этих вызовов современности необходимо, в первую очередь, уметь правильно определять потенциал энергосбережения эксплуатируемых объектов капитального и завершеного строительства, систем и подсистем жизнеобеспечения.

Методы исследования. Измерительные тепловизионные системы, как правило, тепловизоры, принцип действия которых базируется на методе теплового неразрушающего контроля или инфракрасной диагностике, качественно и быстро справляются с решением задач по оценке теплозащитных свойств строительных объектов различного назначения (рис. 1).

Рис. 1. Примеры использования тепловизионной техники в оценке теплозащитных свойств строительных объектов и тепловом контроле инженерно-технических систем

Fig. 1. Examples of the use of thermal imaging equipment in the assessment of heat-shielding properties of building objects and thermal control of engineering systems

Тепловизионная техника позволяет оперативно получать и анализировать точную тепловую «картину» в виде распределения радиационных температур по поверхности контролируемых объектов [2–20]. Кроме тепловизора в процессе тепловизионного контроля применяется и

другое вспомогательное оборудование, например: пирометр, термогигрометр, термоанемометр, измеритель плотности теплового потока, лазерный дальномер [3].

Тепловой неразрушающий контроль является одним из наиболее прогрессивных направлений оценки качества функционирования объектов строительства, энергетики, инженерно-технических систем различного назначения [3, 5, 9, 11, 13, 15]. Данный вид диагностики обеспечивает возможность безопасного мониторинга теплового состояния объектов контроля без вывода их из эксплуатации, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращение затрат на техническое обследование. Одним из эффективных методов теплового неразрушающего контроля является тепловизионное обследование, отвечающее и соответствующее современным требованиям экологичности, охраны окружающей природной среды, безопасности жилья и городской среды. Тепловизионное обследование является частью энергетического обследования, по результатам которого объекту контроля присваивается класс энергетической эффективности, и далее эта информация заносится в энергетический паспорт объекта [2, 6, 17].

Тепловизионное обследование объектов контроля любого назначения подразумевает комплекс работ, требующих наличия квалифицированного специалиста или специалистов, а также соответствующего приборно-измерительного оборудования [2, 4, 6, 17, 20]. Исполнитель работ должен обладать навыками эксплуатации тепловизионной техники, знанием правил проведения тепловизионной съемки, умением выполнять обработку полученной информации. Итоговой частью тепловизионного обследования объекта контроля является отчет о выполненной работе.

Согласно [21] тепловизированию подвергаются наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций (рис. 2).

Рис. 2. Примеры термографирования наружных и внутренних поверхностей ограждающих конструкций жилых строительных объектов, систем кондиционирования микроклимата
Fig. 2. Examples of thermography of external and internal surfaces of enclosing structures of residential building objects, microclimate conditioning systems

Тепловизионная съемка проводится в отопительный сезон. При этом следует избегать атмосферных осадков, туманов, задымленности. Обследуемые поверхности не должны находиться в зоне прямого и отраженного солнечного облучения в течение 12 ч до проведения измерений. Термографирование не рекомендуется осуществлять, если значение интегрального коэффициента излучения поверхности объекта контроля менее 0,70. Места установки тепловизора выбирают таким образом, чтобы поверхность объекта находилась в прямой видимости под углом наблюдения не менее 60°. По обзорной термограмме наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с нарушенными теплозащитными свойствами, которые затем подвергают детальному термографированию с внутренней стороны ограждающих конструкций [2, 6, 18].

Термографирование может быть обзорным и детальным [3–5]. Обзорное термографирование – это тепловизионная съемка наружных и/или внутренних поверхностей ограждающих конструкций. Детальное термографирование – это тепловизионная съемка отдельно выделенных участков наружных и/или внутренних поверхностей ограждающих конструкций. Обзорное и детальное термографирование выполняется с сохранением термограмм в память тепловизора и/или на внешних съемных носителях памяти с обязательным составлением отчета о тепловизионном обследовании.

Температурные поля поверхностей объекта контроля получают на экране тепловизора, а также на экранах вспомогательных устройств в виде псевдоцветного или монохромного изображения изотермических поверхностей [3, 5, 12, 14, 16]. Регистрацию термограмм проводят последовательно по намеченным участкам с покадровой записью тепловых изображений на карту памяти тепловизора с последующим их перемещением на физическую память персонального компьютера. По окончании тепловизионного обследования производят визуальный контроль поверхности объекта. При необходимости измеряют и определяют дополнительные параметры с целью выполнения специальных расчетов количественных характеристик объекта контроля [6, 8, 10, 12].

Обсуждение результатов. Результаты тепловизионной диагностики могут быть оценены как качественно, так и количественно [2, 4, 7, 10, 12, 14, 17]. В случае качественного анализа термограмм производится поиск тепловых аномалий по температурному перепаду в местонахождении предполагаемого дефекта и эталонной зоны [12, 14, 20]. Последняя должна выбираться аналогично контролируемой и находиться в тех же условиях теплообмена (располагаться вблизи обследуемого участка).

Существуют правила качественного анализа термограмм, которые позволяют повысить эффективность поиска и оценки тепловых аномалий [2, 4, 7, 10, 12, 14]:

1. Дополнение термограммы видимым изображением (фотографией). Компьютерное совмещение видимого и теплового изображений.

2. При прочих равных условиях внутренний тепловизионный осмотр предпочтительнее наружной тепловизионной съемки.

3. Детальность изображения, качество термограммы ухудшается при удалении от объекта контроля. Кроме того, водяные пары, находящиеся в воздухе, поглощают длинноволновое инфракрасное излучение и, как следствие, искажают показания измерительного прибора. Тепловизионную съемку следует проводить на минимально возможном расстоянии от объекта контроля.

4. Неокрашенные металлические элементы зданий и сооружений выглядят, как правило, более холодными, чем на самом деле, за исключением ситуаций, когда имеет место интенсивная внешняя подсветка.

5. Отопительные приборы, расположенные в заглубленной нише наружной стены, создают избыточные потери тепловой энергии через ограждения здания, которые могут быть ошибочно приняты за строительные дефекты.

6. Тепловые аномалии в области светопрозрачных конструкций могут быть обусловлены открытыми створками, форточками, фрамугами и др.

Качественный анализ тепловых изображений позволяет определить местонахождение и охарактеризовать в общих чертах дефект строительной конструкции. Данный вид оценки технического состояния объекта контроля основывается исключительно на температурном поле, которое формирует тепловизор, а точнее на разности показаний температур на однородном по конструктивным характеристикам элементе ограждения. Наличие резких перепадов температур и минимальных (или максимальных в зависимости от места проведения тепловизионной съемки) температур, сосредоточенных в определенной области термограммы, дает все основания полагать о наличии тепловой аномалии, а значит, и о дефекте строительной конструкции.

Количественную оценку тепловых аномалий производят с целью установить степень их опасности для нормального функционирования здания. Обычно результаты количественного анализа сравнивают с эталонными значениями, которые, как правило, регламентированы различными нормативными документами (государственными стандартами, сводами правил и т. п.).

Рассмотрим некоторые варианты количественного анализа тепловых изображений, которые предлагают различные нормативные акты и рекомендательные документы (методические рекомендации). В соответствии с [21] количественный анализ тепловых изображений основан на расчете локальных относительных (по отношению к базовому участку) сопротивлений

теплопередаче. Значение относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ в выбранной точке на поверхности ограждающей конструкции определяется следующим образом:

– для внутренних обследований:

$$\bar{R}_{\text{вн}}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^6 - \theta(x, y)}; \quad (1)$$

– для наружных обследований:

$$\bar{R}_{\text{н}}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^6 - \theta(x, y)}, \quad (2)$$

где $\theta(x, y)$ – разность между температурой $\tau(x, y)$ изотермы, проходящей через точку с координатами x и y на соответствующей поверхности ограждающей конструкции, и температурой поверхности базового участка τ_6 , °C; $t_{\text{вн}}$ и $t_{\text{н}}$ – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента, °C; $\tau_{\text{вн}}^6$ и $\tau_{\text{н}}^6$ – соответственно температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях, °C.

При этом значение случайной относительной погрешности определения относительного сопротивления теплопередаче $\delta\bar{R} = \Delta\bar{R}/\bar{R}$ вычисляется соответственно по уравнениям:

– для внутренних обследований:

$$\delta\bar{R}_{\text{н}} = \left| \frac{1}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^6} \right| \sqrt{\left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^6} \Delta t_{\text{вн}} \right]^2 + \left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^6} \Delta \tau_{\text{вн}}^6 \right]^2} + \Delta \theta^2; \quad (3)$$

– для наружных обследований:

$$\delta\bar{R}_{\text{н}} = \left| \frac{1}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^6} \right| \sqrt{\left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^6} \Delta t_{\text{н}} \right]^2 + \left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^6} \Delta \tau_{\text{н}}^6 \right]^2} + \Delta \theta^2, \quad (4)$$

где Δt , $\Delta \tau$ и $\Delta \theta$ – значения абсолютных случайных погрешностей определения температуры воздуха и базового участка, а также разностей температур поверхности ограждающей конструкции, °C.

На рис. 3 представлены некоторые результаты тепловизионной съемки наружных ограждающих конструкций жилого здания в городе Вологда, Россия.

Рис. 3. Фотография (слева) и тепловое изображение (справа) по результатам тепловизионной съемки фрагмента наружных ограждающих конструкций многоквартирного жилого дома
Fig. 3. Photo (left) and thermal image (right) based on the results of thermal imaging of a fragment of the external enclosing structures of an apartment building

Поясним термограмму на рис. 3:

1. M1: –8,4 °C; M2: –8,9 °C; M3: –8,7 °C; M4: –10,9 °C; M5: –6,2 °C; M6: –5,7 °C.
2. M1, M2, M3, M4 – без дефектов; M5 – тепловой мост в зоне вертикального стыка панельных плит; M6 – избыточные тепловые потери в зоне расположения ниши отопительного прибора.
3. Термографирование выполнено тепловизором “Testo 875-2”.

Приведем пример расчета. Исходные данные для выполнения расчета: $t_n = -11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau_{\text{вн}}^6 = -8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для «горячей» точки М6 имеем:

$$\theta(\text{М6}) = \tau_{\text{н}}^{\text{М6}} - \tau_{\text{н}}^6 = -5,7 - (-8,4) = 2,7\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Тогда по выражению (2) имеем:

$$\bar{R}_{\text{н}}(\text{М6}) = 1 + \frac{2,7}{-11,3 - (-8,4) - 2,7} = 0,518.$$

В итоге имеем сопротивление теплопередаче аномальной зоны ограждающей конструкции почти в два раза меньше термического сопротивления базового участка наружной стены.

Случайная относительная погрешность измерений величины $\bar{R}_{\text{н}}$ при $\Delta t_{\text{н}} = \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta \tau_{\text{н}}^6 = \pm 0,168\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\Delta \theta = \pm 0,282\text{ }^{\circ}\text{C}$ по выражению (4) составила:

$$\delta \bar{R}_{\text{н}} = \left| \frac{1}{-11,3 - (-8,4)} \right| \cdot \sqrt{\left[\frac{2,7}{-11,3 - (-8,4)} \cdot 0,5 \right]^2 + \left[\frac{2,7}{-11,3 - (-8,4)} \cdot 0,168 \right]^2} + 0,282^2 = 0,195$$

Наиболее известным способом количественного анализа тепловых изображений является определение участков ограждающих конструкций с повышенными теплопотерями, согласно действующим сводам правил (СП 23-101-2004 и СП 50.13330.2012).

В этом случае рассчитываются сопротивления теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, для базового и других характерных участков и сравниваются с требуемым значением.

На данном этапе необходимо разделить ограждающие конструкции здания на стены, окна, цоколь и в дальнейшем для каждой из этих поверхностей производить отдельные вычисления сопротивления теплопередаче (РД 153-34.0-20.364-00).

Участки ограждающих конструкций с повышенными тепловыми потерями выявляют путем сравнения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, полученного в результате натурных измерений, с требуемым значением, определяемым в соответствии с формулой (СП 50.13330.2012):

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{н}} \alpha_{\text{вн}}}, \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}, \quad (5)$$

где $t_{\text{вн}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Для жилых зданий принимается в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха. В данном случае, согласно табл. 1 (ГОСТ 30494-2011), температура внутреннего воздуха будет равна $t_{\text{вн}} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^{\circ}\text{C}$ принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Для климатических условий города Вологды, согласно табл. 3.1* (СП 131.13330.2018), температура наружного воздуха составит $t_{\text{н}} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад, $^{\circ}\text{C}$, между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}$, $^{\circ}\text{C}$, и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $\tau_{\text{вн}}$, $^{\circ}\text{C}$. Согласно таблице 5 (СП 50.13330.2012), для наружных стен жилых зданий имеем перепад температур $\Delta t_{\text{н}} = 4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

По данным табл.4 (СП 50.13330.2012) для наружных стен коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{вн}} = 8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

В итоге нормируемое значение сопротивления теплопередаче наружной стены жилого здания по уравнению (5) составит:

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{21 - (-32)}{4,0 \cdot 8,7} = 1,523\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Для нахождения сопротивления теплопередаче по результатам натурных измерений можно воспользоваться следующим выражением:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{1}{\alpha_n} \frac{t_{\text{вн}} - t_n}{\tau_n - t_n}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (6)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции, Вт/(м²·°C).

По данным (ГОСТ Р 54852-2011) при скорости ветра $w_n = 1,0$ м/с коэффициент теплоотдачи $\alpha_n = 11$ Вт/(м²·°C); τ_n – температура наружной поверхности ограждающей конструкции, найденная по результатам термографирования, °C.

Рассмотрим наружную стену жилого здания (рис. 3). На реперном участке средняя температура поверхности стены равна $\tau_n^6 = -8,4$ °C, в зоне температурной аномалии – $\tau_n^{\text{М6}} = -5,7$ °C. Тогда по формуле (6) имеем результаты:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{1}{11} \cdot \frac{21,3 - (-11,3)}{-8,4 - (-11,3)} = 1,022 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$
$$R_o^{\text{факт}}(\text{М6}) = \frac{1}{11} \cdot \frac{21,3 - (-11,3)}{-5,7 - (-11,3)} = 0,529 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Проанализировав полученные в примере результаты, делаем вывод о том, что фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены здания не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям (5).

Отметим несколько существенных и принципиальных моментов, касающихся качественно-количественного анализа тепловых изображений (термограмм), полученных в процессе термографирования различных объектов строительства и их конструктивных элементов, в оценке теплозащитных свойств ограждающих конструкций строительных объектов.

Во-первых, качественный анализ термограмм ограничивается информацией, содержащейся в самих тепловых изображениях, зафиксированных тепловизором. В этом случае идентификация точных температурных данных об объекте тепловизионного контроля не является обязательным условием, так как конечной целью качественного анализа термограмм является выявление дефектов.

Во-вторых, количественная оценка тепловых изображений направлена на расчет конкретных теплотехнических параметров. Причем, в данном случае, количественные результаты термографирования сопровождаются компьютерной обработкой полученных термограмм в специализированных прикладных программных средах для определения температурных полей по поверхности объекта тепловизионного контроля.

И, в третьих, тепловой контроль в строительной термографии, на основе комплексного качественно-количественного анализа термограмм тепловизионной съемки, позволяет делать выводы о тепловой защите отдельных конструктивных элементов или всего объекта контроля.

Комплексное решение обозначенных задач и реализация возможностей качественно-количественной оценки термограмм в процессе строительного термографирования позволяют ответить на вопрос: «Соответствует ли объект контроля действующим требованиям по уровню тепловой защиты или нет?». Если «Нет», то составляется список возможных энергосберегающих мероприятий, направленных на полное или частичное решение данной проблемы [2, 4].

К примеру, в случае обнаружения локальных (фрагментарных) избыточных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции строительного объекта таким энергосберегающим мероприятием может быть: «наружная тепловая изоляция стен с помощью напыления пенополиуретана с защитным покрытием или жидкого утеплителя».

Многочисленные апробации представленного качественно-количественного метода анализа тепловых изображений в оценке теплозащитных свойств объектов капитального и завершеного строительства, а также инженерно-технических систем и подсистем жизнеобеспечения, подтверждают высокую эффективность и надежность его применения [2, 4, 6–8, 10, 12, 14, 16–18, 20], а также адекватны и не противоречат результатам, полученным по методикам, пред-

ставленным в отечественных нормативных документах (ГОСТ Р 54852-2011, РД 153-34.0-20.364-00).

Вывод. Подводя итог, констатируем, что тепловизионный контроль, благодаря оперативности, наглядности и достоверности получаемых результатов, зарекомендовал себя как один из основных способов обследования и технической диагностики различных объектов капитального и завершеного строительства, систем и подсистем жизнеобеспечения [1–20].

Представленные результаты в очередной раз подтверждают факт того, что тепловизионная диагностика позволяет качественно и количественно оценить уровень тепловой защиты строительной оболочки объекта контроля посредством «расшифровки» термограмм и сравнения полученных расчетных параметров с нормативными показателями.

Отметим также, что кроме сферы строительства, тепловизионные обследования, наряду с тепловизионной техникой, нашли широкое практическое применение в различных отраслях промышленности и производства, таких как: энергетика, металлургия, электроснабжение, теплоснабжение, электроника.

Активное применение тепловизионного контроля наблюдается в медицине, при термометрии людей в дошкольных и образовательных учреждениях, на вокзалах и в аэропортах. Причем в зависимости от объекта контроля технологии проведения тепловизионного мониторинга могут отличаться [3, 5, 17, 20].

Библиографический список:

1. Окунев, А. Ю. Современные подходы к тепловизионному обследованию строительных объектов / А. Ю. Окунев, Е. В. Левин, К. С. Шагинян // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 7-9.
2. Карпов, Д. Ф. Комплексная энергосберегающая диагностика технического состояния ограждающих конструкций объектов капитального строительства и инженерных систем на основе теплового контроля / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын // Научно-технический журнал «Энергосбережение и водоподготовка». 2020. № 2 (124). С. 29-33.
3. Вавилов, В. П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров / В. П. Вавилов. Изд. 1-е. Москва: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
4. Карпов Д. Ф. Некоторые особенности и результаты теплового контроля навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального строительства / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын, Н. Н. Монаркин, А. Г. Гудков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. Т. 47. № 1. С. 147-155. doi:10.21822/2073-6185-2020-47-1-147-155.
5. Будадин, О. Н. Тепловой контроль: учеб. пособие / О. Н. Будадин, В. П. Вавилов, Е. В. Абрамова. – Изд-е 2. – Москва: Издательский дом «Спектр». 2013. 176 с.
6. Karpov, D. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis / D. Karpov D, A. Sinitsyn // ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. Vol. 161, 01040 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040.
7. Pavlov, M. Assessment of energy efficiency of application heat-insulating paint for the needs of district heat supply systems / M. Pavlov, D. Karpov, I. Akhmetova, N. Monarkin // HSTED-2020. E3S Web of Conferences 178, 01004 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202017801004.
8. Karpov, D. Thermal method for non-destructive control of actual coolant mass flow through a heating device / D. Karpov D, A. Sinitsyn // ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. Vol. 161, 01041 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101041.
9. Vijayraghavan, G. K. NDTE using flash thermography: numerical modellling and analysis of delaminations in GRP pipes / G. K. Vijayraghavan, M. C. Majumder, K. P. Ramachandran // Insight. 2010. V. 52. No. 9. Pp. 481-487.
10. Карпов, Д. Ф. Обзор нормативных и руководящих документов по тепловизионному обследованию зданий и сооружений / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, Е. Г. Касьянов, В. П. Никулин // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 22-23 ноября 2018 г. Часть 2. – Рубцовск: РИИ (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ им. И.И. Ползунова», 2018. С. 301-306.
11. Cramer, K. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA / K. Cramer, W. Winfree, K. Hodges, A. Koshti, D. Ryan, W. Reinhardt // Proc. SPIE "Thermosense XXVIII". 2006. V. 6205. P. 6205 IB 1-9.
12. Karpov, D. Features and results of assessment the thermal conductivity of building materials and products by the active method of thermal non-destructive testing / D. Karpov, M. Pavlov, L. Mukhametova, A. A. Mikhin. // Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives (SES-2020). E3S Web of Conferences 220, 01053 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001053>.

13. George, S. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography / S. George, S. Goravar, D. Mishra, M. T. Shyamsunder, P. Sharma, G. K. Padmashree, P. S. Kumar, P. Bremond, K. Mukherjee // *Insight*. 2010. V. 52. No. 9. pp. 470-474.
14. Karpov, D. Determination of surface temperature and moisture fields of structural elements of buildings by thermal imaging / D. Karpov, M. Pavlov, R. Salikhova // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 141. pp. 253-258. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67654-4_28.
15. Tim Taylor, John Counsell, Steve Gill. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography / *Energy and Buildings* 66 (2013) 222-231. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.051>.
16. Карпов, Д. Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий / Д. Ф. Карпов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*, 2019. № 7. С. 57-62. doi:10.34031/article_5d35d0b79c34c5.75173950.
17. Теплообмен. Теория и практика: учебное наглядное пособие / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, А. Г. Гудков и др. Вологда: ВоГУ, 2021. 84 с.
18. Карпов, Д. Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений / Д. Ф. Карпов // *Строительные материалы и изделия*, 2019. Т. 2. № 4. С. 39-44.
19. Павлов, М. В. Современные теплоизоляционные материалы для повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий и энергоэффективности инженерных систем / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, В. П. Березина // *Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции*. – Саратов: СГТУ им. Ю. А. Гагарина. 2020. С. 81-87.
20. Карпов, Д. Ф. О возможности применения тепловизионной съемки для контроля теплозащитных качеств ограждающих конструкций строительных объектов / Д.Ф. Карпов // XIX Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2018»: материалы конференции (21-23 марта 2018 г.). В 5 ч. Ч. 4. Ухта: УГТУ, 2019. С. 111-113.
21. ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2011 г. № 1557-ст. Москва: Изд-во стандартов, 2012. 19 с.

References:

1. Okunev, A. YU. Sovremennye podhody k teplovizionnomu obsledovaniyu stroi-tel'nyh ob"ektov / A. YU. Okunev, E. V. Levin, K. S. SHaginyan // *ZHilishchnoe stroitel'stvo*. 2012. № 6. S. 7-9. [Okunev, A. Yu. Modern approaches to thermal imaging examination of construction objects / A. Yu. Okunev, E. V. Levin, K. S. Shaginyan // *Housing construction*. 2012. No. 6. pp. 7-9. (In Russ.)].
2. Karpov, D. F. Kompleksnaya energosberegayushchaya diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya ograzhdayushchih konstruksij ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva i inzhenernyh sistem na osnove teplovogo kontrolya / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinicyn // *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Energosberezhenie i vodopodgotovka»*. 2020. № 2 (124). S. 29-33. [Karpov, D. F. Integrated energy-saving diagnostics of the technical condition of fencing structures of capital construction objects and engineering systems based on thermal control / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn // *Scientific and technical journal "Energy saving and water treatment"*. 2020. No. 2 (124). pp. 29-33. (In Russ.)].
3. Vavilov, V. P. Teplovidenie i teplovoj kontrol' dlya inzhenerov / V. P. Vavilov. Izd. 1-e. Moskva: Izdatel'skij dom «SPEKTR». 2017. 72 s. [Vavilov, V. P. Thermal Imaging and thermal control for engineers / V. P. Vavilov. First edition. Moscow: Publishing house "SPECTRUM". 2017. 72 p. (In Russ.)].
4. Karpov, D. F. Nekotorye osobennosti i rezul'taty teplovogo kontrolya navesnyh ventiliruemym fasadnyh sistem ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinicyn, N. N. Monarkin, A. G. Gudkov // *Vestnik DGTU. Tekhnicheskie nauki*. 2020. T. 47. № 1 S. 147-155. [Karpov, D. F. Features of mounted ventilated facade heat control systems in construction projects / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn, N. N. Monarkin, A. G. Gudkov // *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2020. Vol. 47. No. 1. pp. 147-155. (In Russ.)].
5. Budadin, O. N. Teplovoj kontrol': ucheb. posobie / O. N. Budadin, V. P. Vavilov, E. V. Abramova. – Edition 2. – Moskva: Izdatel'skij dom «Spektr». 2013. 176 s. [Budadin, O. N. Thermal control: textbook for universities / O. N. Budadin, V. P. Vavilov, E. V. Abramova. Edition 2. Moscow: Publishing House "SPECTRUM". 2013. 176 p. (In Russ.)].
6. Karpov, D. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis / D. Karpov D, A. Sinitsyn // *ICEPP-2020. E3S Web of Conferences*. Vol. 161, 01040 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040.
7. Pavlov, M. Assessment of energy efficiency of application heat-insulating paint for the needs of district heat supply systems / M. Pavlov, D. Karpov, I. Akhmetova, N. Monarkin // *HSTED-2020. E3S Web of Conferences* 178, 01004 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202017801004.
8. Karpov, D. Thermal method for non-destructive control of actual coolant mass flow through a heating device / D. Karpov D, A. Sinitsyn // *ICEPP-2020. E3S Web of Conferences*. Vol. 161, 01041 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101041.

9. Vijayraghavan, G. K. NDTE using flash thermography: numerical modelling and analysis of delaminations in GRP pipes / G. K. Vijayraghavan, M. C. Majumder, K. P. Ramachandran // *Insight*. 2010. V. 52. No. 9. Pp. 481-487.
10. Karpov, D. F. Obzor normativnyh i rukovodyashchih dokumentov po teplovizionnomu obsledovaniyu zdaniy i sooruzhenij / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, E. G. Kas'yanov, V. P. Nikulin // *Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem 22-23 noyabrya 2018 g. CHast' 2*. Rubcovsk: RII (filial) FGBOU VO «AGTU im. I.I. Polzunova», 2018. S. 301-306. [Review of regulatory and guidance documents for thermal imaging inspection of buildings and structures / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, E. G. Kasyanov, V. P. Nikulin // *Materials VIII all-Russian scientific and practical conference with international participation 22-23 November 2018. Part 2.* – Rubtsovsk: RII (branch) of the Federal state budgetary educational institution of higher education "Altai state technical University. I. I. Polzunova». 2018. pp. 301-306. (In Russ.)].
11. Cramer, K. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA / K. Cramer, W. Winfree, K. Hodges, A. Koshti, D. Ryan, W. Reinhardt // *Proc. SPIE "Thermosense XXVIII"*. 2006. V. 6205. P. 6205 IB 1-9.
12. Karpov, D. Features and results of assessment the thermal conductivity of building materials and products by the active method of thermal non-destructive testing / D. Karpov, M. Pavlov, L. Mukhametova, A. A. Mikhin. // *Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives (SES-2020)*. E3S Web of Conferences 220, 01053 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001053>.
13. George, S. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography / S. George, S. Goravar, D. Mishra, M. T. Shyamsunder, P. Sharma, G. K. Padmashree, P. S. Kumar, P. Bremond, K. Mukherjee // *Insight*. 2010. V. 52. No. 9. Pp. 470-474.
14. Karpov, D. Determination of surface temperature and moisture fields of structural elements of buildings by thermal imaging / D. Karpov, M. Pavlov, R. Salikhova // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 141. – Pp. 253-258. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67654-4_28.
15. Tim Taylor, John Counsell, Steve Gill. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography / *Energy and Buildings* 66 (2013) 222-231. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.051>.
16. Karpov, D. F. Aktivnyj metod teplovogo kontrolya teploprovodnosti stroitel'nyh materialov i izdelij / D. F. Karpov // *Vestnik BG TU im. V.G. SHuhova*, 2019. № 7. S. 57-62. [Karpov, D. F. The active method of control the thermal conductivity of building materials and products / D. F. Karpov // *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2019. No. 7. pp. 57-62. (In Russ.)].
17. Teploobmen. Teoriya i praktika: uchebnoe naglyadnoe posobie / M. V. Pavlov, D. F. Karpov, A. G. Gudkov i dr. – Vologda: VoGU, 2021. – 84 s. [Heat transfer. Theory and practice: illustrated study guide / M. V. Pavlov, D. F. Karpov, A. G. Gudkov and other; Ministry of science and higher education of the Russian Federation, Vologda state university. – Vologda, VoSU, 2021. 84 p. (In Russ.)].
18. Karpov, D. F. Primenenie aktivnogo i passivnogo teplovogo kontrolya v defektoskopii stroitel'nyh materialov i izdelij, ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy i sooruzhenij / D. F. Karpov // *Stroitel'nye materialy i izdeliya*, 2019. T. 2. № 4. S. 39-44. [Karpov, D. F. Application of active and passive thermal control in defectoscopy of construction materials and products, filler structures of buildings and constructions / D. F. Karpov // *Construction Materials and Products*. 2019. Volume 2. Issue 4. pp. 39-44. (In Russ.)].
19. Pavlov, M. V. Sovremennye teploizolyacionnye materialy dlya povysheniya teplozashchitnyh svojstv ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy i energoeffektivnosti inzhenernyh sistem / M. V. Pavlov, D. F. Karpov, V. P. Berezina // *Nauchno-tehnicheskie problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergосnabzheniya. Sbornik nauchnyh trudov po materialam III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Saratov: SGTU im. YU. A. Gagarina. – 2020. – S. 81-87. [Pavlov, M. V. Modern thermal insulation materials for improving the thermal protection properties of building structures and energy efficiency of engineering systems / M. V. Pavlov, D. F. Karpov, V. P. Berezina // *Scientific and technical problems of improvement and development of gas power supply systems. Collection of scientific works on the materials of the III International Scientific and Practical Conference*. – Saratov: SSTU named after Yu. A. Gagarin. – 2020. pp. 81-87. (In Russ.)].
20. Karpov, D. F. O vozmozhnosti primeneniya teplovizionnoj s"emki dlya kontrolya teplozashchitnyh kachestv ograzhdayushchih konstrukcij stroitel'nyh ob"ektov / D.F. Karpov // *XIX Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya «Severgeotekh-2018»: materialy konferencii (21-23 marta 2018 g.)*. V 5 ch. CH. 4. Uhta: UGTU, 2019. S. 111-113. [Karpov, D. F. About the possibility of using thermal imaging for monitoring thermal qualities of the walling of construction projects / D. F. Karpov // *XIX International youth scientific conference "Severgeotekh-2018": materials of the conference (21-23 March 2018)*. In 5 parts. Part 4. Ukhta: Ukhta State Technical University, 2019. pp. 111-113. (In Russ.)].
21. GOST R 54852-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyacii ograzhdayushchih konstrukcij. Utv. i vved. v dejstvie Priказом Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 15 dekabrya 2011 g. № 1557-st. Moskva: Izd-vo standartov, 2012. 19 s. [State Standard R 54852-2011. Buildings and structures. Thermal imaging quality control method for thermal insulation of enclosing structures. - Approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 15, 2011 No. 1557-st. Moscow: Standards Publishing House, 2012. 19 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель; e-mail: karpov_denis_85@mail.ru

Павлов Михаил Васильевич, кандидат технических наук, старший преподаватель; e-mail: pavlov_kaftgv@mail.ru

Information about authors:

Denis. F. Karpov, Senior Lecturer; e-mail: karpov_denis_85@mail.ru

Mikhail V. Pavlov, Cand. Sci. (Technical), Senior Lecturer; e-mail: pavlov_kaftgv@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.04.2021.

Принята в печать 19.05.2021.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.04.2021.

Accepted for publication 19.05.2021.