

УДК 502/504:772.96:532.5

Д.Ф. КАРПОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Российская Федерация

ВАРИАНТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Решение вопросов повышения энергоэффективности и энергосбережения в России – главная задача для сокращения коммунальных расходов на тепловую энергию. Согласно исследованиям, проведенным в стране, более 60% коммунальных расходов – это расходы на отопление зданий и сооружений. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений является одним из приоритетных направлений развития в сфере энерго- и ресурсосбережения. Для обследования строительных объектов различного назначения, тепломеханического оборудования, наружных и внутренних инженерных систем и их элементов широко применяется метод тепловизионного контроля. Благодаря тепловизионной съемке диагностика объектов ведется в инфракрасном спектре, что позволяет не только избежать существенных затрат по реконструкции оборудования, но и локализовать проблему на этапе обследования, снизив тем самым стоимость ремонтных работ. В работе рассмотрены и проанализированы существующие варианты количественной обработки тепловых изображений (термограмм) и предложен авторский метод количественного анализа термограмм, направленный на оценку работы элементов и устройств систем отопления зданий. Предлагаемый метод количественного анализа термограмм заключается в определении фактического массового расхода теплоносителя через отопительный прибор.

Система отопления, отопительный прибор, тепловое изображение, термограмма, тепловизионная съемка, качественный и количественный анализ.

Введение. Согласно ГОСТ Р 54852-2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» результаты тепловизионного обследования в зависимости от поставленных задач делятся на качественные и количественные. Качественный анализ термограмм (тепловых изображений) ограничивается информацией, содержащейся в самих термограммах, полученных тепловизором. Количественный анализ тепловых изображений направлен на расчет конкретных теплотехнических параметров. В первом случае получение точных температурных данных об объекте тепловизионного контроля не является обязательным требованием, так как цель качественного анализа заключается в выявлении дефектов. Количественные результаты термографирования, напротив, сопровождаются компьютерной обработкой в специализированных прикладных программах снятых термограмм с целью получения температурных полей по поверхности объекта тепловизионного контроля.

Материалы и методы исследований. Материалом исследований являются термограммы тепловизионной съемки приборов и элементов систем отопления, нормативная

база в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Методами исследований являются теоретические положения по расчету систем отопления и вентиляции зданий и сооружений, теория теплообмена, теория теплового неразрушающего контроля.

Результаты и их обсуждение. Согласно [1] количественный анализ тепловых изображений основан на расчете локальных относительных (по отношению к базовому (реперному) участку) сопротивлений теплопередаче. Значение относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ в выбранной точке на поверхности ограждающей конструкции рассчитывается следующим образом:

- для внутренних обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_b - \tau_b^{\delta} - \theta(x, y)}; \quad (1)$$

- для наружных обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_n - \tau_n^{\delta} - \theta(x, y)}, \quad (2)$$

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_0 , °С; t_b и t_n – соответственно, температура внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента ограждающей конструкции, °С; τ_b^0 и τ_n^0 – соответственно, температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях, °С.

Пример расчета относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ ограждающей строительной конструкции на примере наружной стены жилого здания рассмотрен в [2].

Самым распространенным вариантом количественной диагностики ограждающих конструкций зданий является определение фактического термического сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по результатам натурных измерений с целью последующего сравнения значения с нормативной величиной.

Расчет термического сопротивления в реперных зонах R_0 проводится по результатам измерения температур и плотностей теплового потока соответствующими измерительными приборами по формуле [3]:

$$R_0 = \frac{\tau_b^0 - \tau_n^0}{q}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, \quad (3)$$

где τ_b^0 и τ_n^0 – соответственно, температура внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции в реперной зоне, °С; q – плотность теплового потока, Вт/м², которую рекомендуется определять на внутренней поверхности ограждения.

За итоговое значение величины R_0 рекомендуется принимать среднее значение R_0^{cp} , полученное по результатам нескольких тепловых измерений.

Расчет термического сопротивления требуемого участка ограждающей конструкции (например, аномальной зоны) $R_{\text{тр}}$ выполняется по формуле:

$$R_{\text{тр}} = R_0^{\text{cp}} \frac{\tau_n^0 - t_n}{\tau_n^{\text{тр}} - t_n}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, \quad (4)$$

где R_0^{cp} – среднее термическое сопротивление реперной зоны, м² · К/Вт; τ_n^0 – температура наружной поверхности в реперной зоне, °С; $\tau_n^{\text{тр}}$ – температура наружной поверхности на требуемом участке ограждающей конструкции, °С; t_n – температура наружного воздуха, °С.

Для сравнения с нормируемым [4] или проектным значением далее вычисляется сопротивление теплопередаче при расчетных температурных условиях:

$$R_0 = R_{\text{тр}} + 0,115 + 0,043, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}. \quad (5)$$

В формуле (5) числа 0,115 и 0,043 есть сопротивления теплоотдаче соответственно на внутренней и наружной поверхностях ограждения при расчетных условиях.

При проведении внутренних тепловизионных обследований, как правило, термографируют и отопительные приборы (рис.) системы отопления с целью обнаружения возможных засорений секций, для измерения температуры их поверхностей и др. [5, 6].

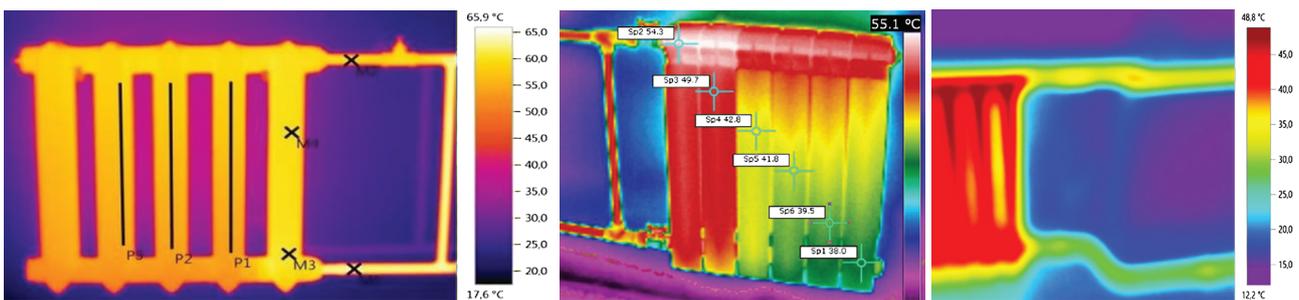


Рис. Примеры тепловых изображений радиаторов системы отопления

Возможностями современных специализированных прикладных программ, которые обычно поставляются вместе с тепловизионным оборудованием, являются: построение термопрофилограмм (температурных линий); температурных рельефов; определение максимальной, минимальной и средней температуры выделенного участка термограммы и т.п. [6, 7]. Учитывая, что все существующие отопительные приборы выполнены

из теплопроводных металлов (сталь, чугун и др.), а радиаторная краска имеет минимальную толщину слоя, с определенной точностью можно принимать температуру циркулирующих в них теплоносителей равной температуре их поверхностей. В этом случае не составляет особой сложности измерение тепловизором температуры теплоносителя на входе и на выходе из отопительного прибора (принимаются максимальные значения

по толщине подводок) и средней температуры на его обследуемой поверхности.

Предлагаемый метод количественного анализа термограмм заключается в определении фактического массового расхода теплоносителя через отопительный прибор по уравнению:

$$G = 0,86\alpha \frac{t_{\text{cp}} - t_{\text{в}}}{t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}} F, \text{ кг/ч}, \quad (6)$$

где 0,86 – переводной коэффициент; α – средний коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отопительного прибора, Вт/(м² · К). Для большинства отопительных приборов коэффициент теплоотдачи α известен. Например, для чугунных секционных радиаторов по данным [8] он примерно равен 10 Вт/(м² · К); t_{cp} – средняя температура поверхности отопительного прибора, обращенной в помещение, °С; $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха в помещении, °С; $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ – максимальная температура поверхностей подающей и обратной подводок к отопительному прибору соответственно, °С; F – площадь поверхности нагрева отопительного прибора (определяется по паспортным данным отопительного прибора в зависимости от количества секций), м².

Выводы

Предложенный вариант количественной оценки тепловых изображений основан на тепловизионной съемке отопительного прибора системы отопления с его подводками и последующем аналитическом определении фактического массового расхода теплоносителя.

Аналитическое выражение для определения фактического массового расхода теплоносителя через отопительный прибор связывает между собой охлаждение теплоносителя в отопительном приборе с конвективным обогревом помещения.

Величина фактического массового расхода теплоносителя может быть использована, например, для расчета скорости движения теплоносителя или фактической тепловой мощности участка системы отопления.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля

качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

2. Букирев Е.Ю., Ермалюк М.П., Тихов А.Е., Карпов Ф.Д. Структура технического отчета по тепловизионному обследованию объекта контроля. / Материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах. «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи». Т. I. – Томск: ООО «ЦРУ», 2016. – С. 145-148.

3. МДС 23-1.2007. Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники. – М.: ФГУП «НИЦС», 2007. – 11 с.

4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.

5. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Теория и практика теплообмена: учеб. наглядное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 71 с.

6. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства: учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 160 с.

7. Игонин В.И., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. и др. Некоторые особенности проведения комплексного тепловизионного обследования производственных установок и строительного объекта. // Энергоаудит. – 2011. – № 1 (17). – С. 24-29.

8. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: учеб. для вузов. – М.: АСВ, 2008. – 576 с.

Материал поступил в редакцию 05.10.2018 г.

Сведения об авторе

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжение и вентиляция, ФГБОУ ВО ВоГУ; 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109; e-mail: karpov_denis_85@mail.ru

D.F. KARPOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Vologda State University», Russian Federation, Vologda

VARIANTS OF QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THERMAL IMAGES

Solving the problems of energy efficiency and energy saving in Russia is the main task to reduce utility costs for thermal energy. According to the investigations conducted in the country more than 60% of utility costs are the cost of buildings and structures heating. Improving of the energy efficiency of buildings and structures is one of the priority areas of development

in the field of energy and resource saving. For inspection of construction objects of various purposes, thermal and mechanical equipment, external and internal engineering systems and their elements, the method of thermal imaging control is widely used. Owing to thermal imaging the diagnosis of objects is carried out in the infrared spectrum which allows not only to avoid significant costs for the reconstruction of equipment but also to localize the problem at the inspection stage, thereby reducing the cost of repairs. The paper considers and analyzes the current versions of the quantitative processing of thermal images (thermograms) and proposes the author's method of quantitative analysis of thermograms aimed at assessing the operation of elements and devices of heating systems of buildings. The proposed method of the quantitative analysis of thermograms is to determine the actual mass consumption of the heat carrier through the heating device.

Thermal image, thermogram, thermal imaging, qualitative and quantitative analysis, heating system, heating device.

References

1. GOST R54852-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyatsii ograzhdayushchih konstruksij. – M.: Standartinform, 2012. – 16 s.
2. **Bukirev E.Yu., Ermalyuk M.P., Tikhov A.E., Karpov F.D.** Struktura tehnikeskogo otcheta po teplovizionnomu obsledovaniyu objekta kontrolya. / Materialy IV rossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferentsii: v 2 tomah. «Energetika, elektromehnika i energoeffektivnye tehnologii glazami molodezhi». T. I. – Tomsk: OOO «TSRU», 2016. – S. 145-148.
3. MDS23-1.2007. Metodicheskie rekomendatsii po kompleksnomu teplotehnikeskomu obsledovaniyu neruzhnyh ograzhdsyushchih konstruksij s primeneniem televizionnoj tehniki. – M.: FGUP «NITSS», 2007. – 11 s.
4. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. M.: FAU «FTSS». 2012. 96 s.
5. **Sinitsyn A.A., Karpov D.F., Pavlov M.V.** Teoriya i praktika teploobmena: ucheb. naglyadnoe posobie. – Vologda: VoGTU, 2013. – 71 s.
6. **Sinitsyn A.A., Karpov D.F., Pavlov M.V.** Osnovy teplovizionnoj diagnostiki teplopotreblyayushchih objektov stroitelstva: ucheb. posobie. Izd. 2-e, ispr. i dop. – Vologda: VoGU: BoFY, 2014. – 160 s.
7. **Igonin V.I., Karpov D.F., Pavlov M.V.** i dr. Nekotorye osobennosti provedeniya kompleksnogo teplovizionnogo obsledovaniya proizvodstvennyh ustanovok i stroitel'nogo objekta. // Energoaudit. – 2011. – № 1 (17). – S. 24-29.
8. **Skanavi A.N., Mahov L.M.** Otoplenie: ucheb. dlya vuzov. – M.: ASV, 2008. – 576 s.

The material was received at the editorial office
05.10.2018 g.

Information about the author

Karpov Denis Fedorovich, senior lecturer of the chair of heat and gas supply and ventilation FSBEI HE VoGU; 60000, Vologda, ul. Lenina, d. 15, room 109; e-mail: karpov_denis_85@mail.ru