



УДК 699.86; 536.3

Еньюшин В.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: enjushin@gmail.com

Крайнов Д.В. – ассистент

E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании

Аннотация

Решение задач по оценке технического состояния строительных ограждающих конструкций и энергетического оборудования в значительной степени связано с внедрением эффективных методов инструментального контроля, и в частности, теплового метода неразрушающего контроля – ИК-диагностики.

Ниже рассмотрены основные положения по проведению тепловизионной диагностики и основные факторы, влияющие на точность измерений. Приведены результаты проведенной ИК-диагностки различных объектов.

Ключевые слова: излучательная способность, тепловизионное обследование, ИК-диагностика, неразрушающий контроль, инфракрасная техника.

Проблема энергосбережения в энергетическом и строительном секторе экономики России приобретает все большую актуальность. В связи с этим широкое применение получают приборы инфракрасной техники (ИКТ), еще десять лет назад тепловизор воспринимался как некая диковинная игрушка, а сегодня подобные приборы имеются практически на всех предприятиях энергетики. Однако зачастую недостаточная подготовка персонала, работающего с приборами ИКТ, приводит к ошибочным выводам о состоянии объекта исследования.

При проведении инфракрасного обследования существенное значение имеет выявление и устранение систематических и случайных погрешностей, оказывающих влияние на результаты измерения.

Систематические погрешности заключены в конструкции измерительного прибора, а также зависят от его выбора в соответствии с требованиями к совершенству измерения (разрешающей способности, поля зрения и т.п.).

Случайными погрешностями, возникающими при проведении ИК-контроля, могут являться: воздействие солнечной радиации, выбор излучательной способности, метеорологические условия: ветер, атмосферные осадки и др.

Одним из самых существенных факторов, влияющих на точность измерения температуры, является излучательная способность поверхности исследуемого объекта.

Коэффициент излучения материала в общем виде зависит от длины волны, температуры и угла наблюдения поверхности контролируемого объекта. Для металлов коэффициенты излучения постоянны в интервале углов наблюдения (0-40) градусов, для диэлектриков – в интервале углов (0-60) градусов. За пределами этих значений коэффициент излучения быстро уменьшается до нуля при направлении наблюдения по касательной.

Так, при длине волны излучения 10 мкм при наблюдении по нормали вода близка к абсолютно черному телу, а при наблюдении по касательной становится зеркалом $E \rightarrow 0$.

Обычно коэффициент излучения зависит от состояния поверхности. Поскольку исследуемый объект может включать в себя несколько компонентов из разнородных материалов, поверхности которых могут быть окрашены, иметь окисные пленки или разную степень обработки поверхности, т.е. различные коэффициенты излучения, при инфракрасном контроле могут возникнуть предположения о перегревах на участках с повышенными коэффициентами излучения.

В том случае, если коэффициент излучения контролируемого объекта известен, его фактическая температура может быть определена по формуле:

$$T_{\text{ФАКТ}} = \frac{T_{\text{РАД}}}{\sqrt[4]{E}},$$

где $T_{\text{рад}}$ – радиационная температура, измеренная ИК-прибором; E – коэффициент излучения контролируемой поверхности.

Для наглядной иллюстрации влияния излучательной способности исследуемой поверхности на точность измерения температуры автором было проведено термографирование цилиндрической емкости из шлифованной нержавеющей стали, заполненной горячей водой. Очевидно, температура поверхности емкости должна быть очень близка к температуре воды, а судя по термограмме она значительно ниже: всего лишь около 40°C , против почти 90°C на поверхности воды (рис. 1). Здесь же можно отследить влияние угла наблюдения: с увеличением отклонения от вертикали температура поверхности воды «снизилась» почти на 4°C .

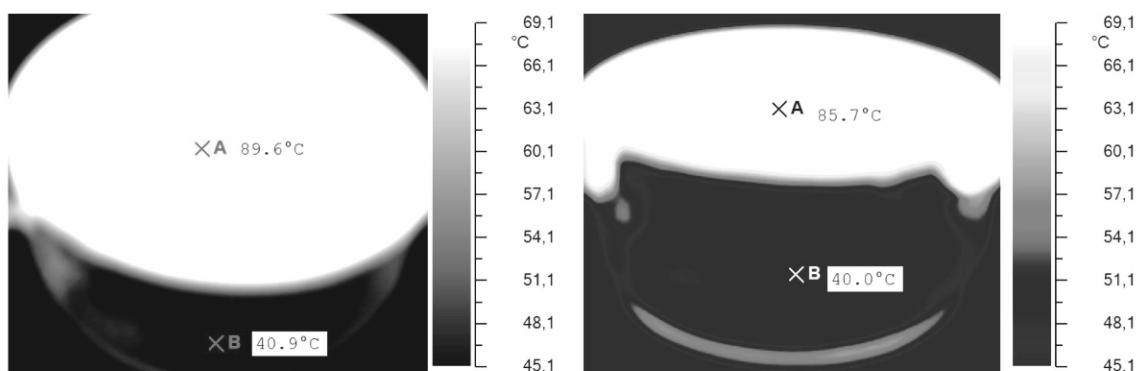


Рис. 1. Термограмма емкости, заполненной водой

В ряде случаев приходится сталкиваться с возможностью получения ошибочных результатов из-за отражения теплового излучения. На приведенной термограмме (рис. 2) отчетливо видны отражения силуэтов операторов на оконном стекле, причем их яркостная температура выше температуры стекла на $1,5\text{-}1,6^{\circ}\text{C}$.

Еще большее влияние могут оказать отопительные приборы, лампы освещения и другие нагретые предметы. В результате термографическая съемка может показать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение. Поэтому рекомендуется в подобных случаях производить ИК-обследование объекта под различными углами зрения и изменением местоположения оператора с ИК-прибором. При необходимости на время измерения отключается освещение объекта и т.п.

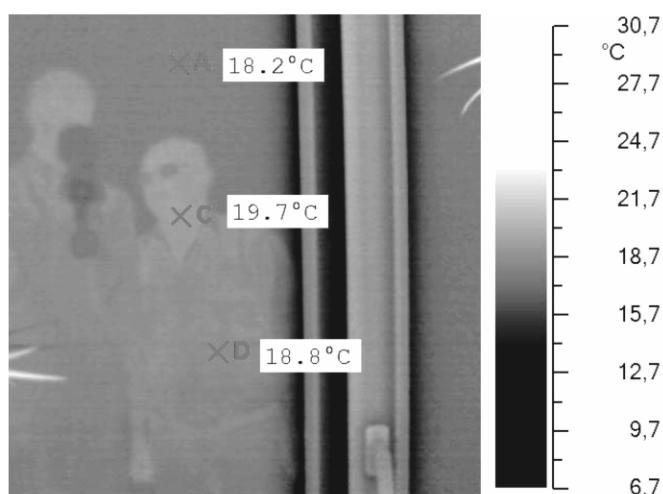


Рис. 2. Отражение операторов на термограмме окна

При ИК-диагностике на открытом воздухе источниками погрешности могут быть метеорологические условия: ветер, атмосферные осадки, но основным фактором является прямая и отраженная солнечная радиация, а также рассеянное излучение и излучение источников искусственного освещения.

Влияние отраженного излучения тем больше, чем меньше излучательная способность объекта. В ряде зарубежных публикаций было отмечено, что длинноволновые (8-12 мкм) тепловизионные системы предпочтительнее для диагностики. Основанием для этого утверждения явились отчеты по испытаниям, которые проводились многими пользователями, применявшими обычные коротковолновые (2-5 мкм) системы, имеющие проблемы с солнечным отражением и поглощением атмосферы.

Легко отметить эти проблемы, когда используются разноволновые системы: длинноволновые ИК-системы менее чувствительны к солнечному отражению, чем коротковолновые.

Хотя солнечная радиация присутствует в обоих диапазонах, ее количество значительно различается и дает наибольшие проблемы в коротковолновом диапазоне. Согласно функции Планка, пик энергии ИК-излучения объекта по мере увеличения температуры смещается в коротковолновый диапазон.

Как видно из кривых излучения черного тела на рис. 3, иллюстрирующих функцию Планка, пикивая энергия, излучаемая объектом при температуре окружающей среды 27°C, попадает приблизительно на 10 мкм, а пикивая энергия, излучаемая солнцем (5727°C) и соответственно отражаемая поверхностью исследуемого объекта, падает приблизительно на 0,5 мкм.

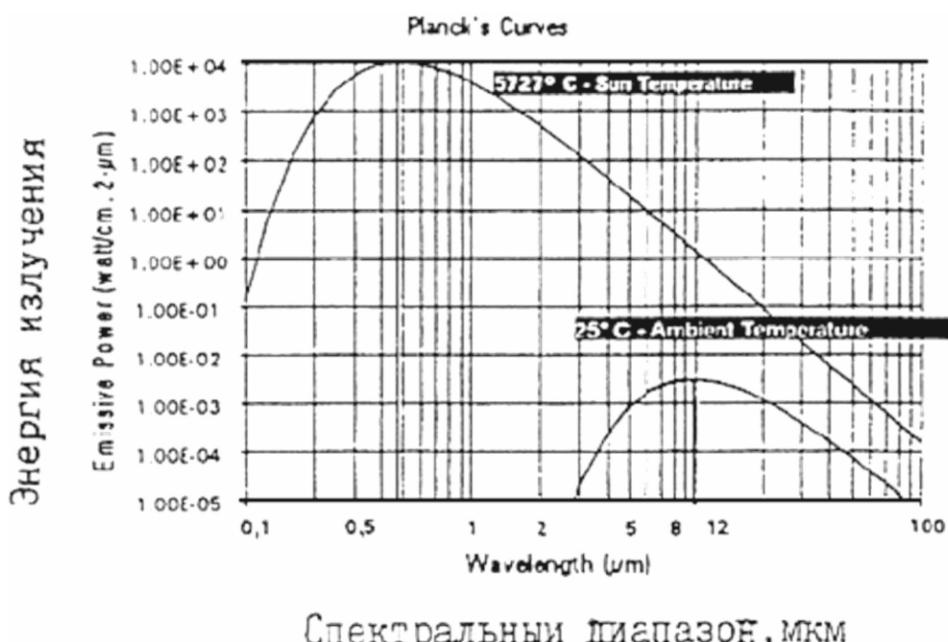


Рис. 3. Спектральное распределение поверхностной плотности потока излучения черного тела (закон Планка)

Интегрируя область под кривыми, можно определить коэффициент контрастности между солнечным излучением и излучением объекта при температуре окружающей среды. В этом примере коэффициент контрастности в 1200 раз больше в коротковолновом диапазоне, чем в длинноволновом.

Как результат такого различия, операторы часто видят коротковолновыми системами «фальшивые» горячие точки, когда осматривают металлические или керамические конструкции в солнечных условиях.

Отметим, что длинноволновая область свободна от интерференции в атмосфере, в то время как коротковолновая область значительно поглощает волны 2,7 и 4,3 мкм.

Длинноволновые системы «обрабатывают» 99 % инфракрасного излучения объекта в данной области спектра, в то время как коротковолновые – 83 %.

При увеличении расстояния, окружающей температуры или влажности среднее излучение для обоих диапазонов уменьшается пропорционально.

Сокращение энергии, поступающей к ИК-системе из-за атмосферного влияния, ведет к потере чувствительности и точности измерений. Таким образом, длинноволновые системы менее подвержены влиянию атмосферы, чем коротковолновые.

При проведении ИК-диагностики на ТЭЦ авторами был обнаружен характерный пример влияния излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температуры (рис. 4).

Значительное понижение температуры ($72,6^{\circ}\text{C}$) в рассмотренной области по сравнению со средней температурой ($78,5^{\circ}\text{C}$) связано с тем, что фланец практически по всей длине имеет отполированные блестящие области. В данных местах коэффициент излучения металла становится значительно ниже. Таким образом, «понижение» температуры не связано с каким-либо дефектом.

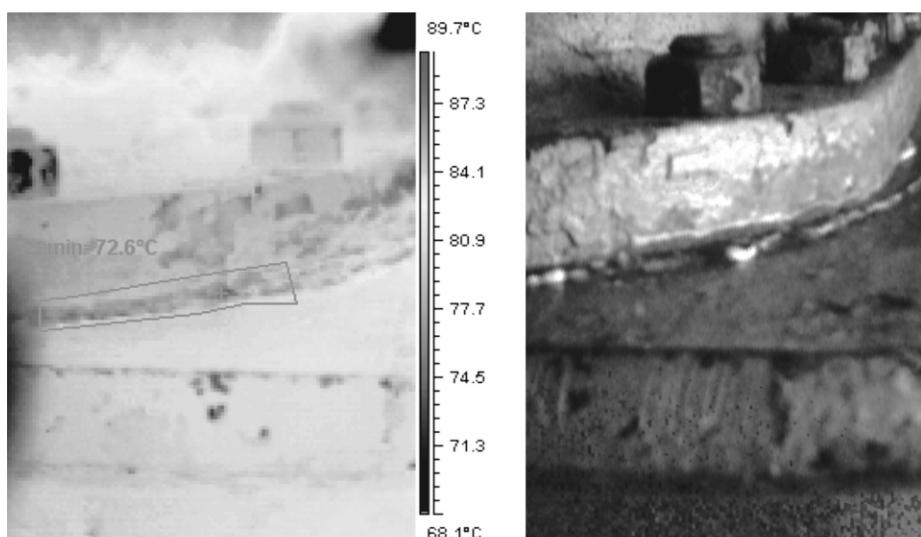


Рис. 4. Термограмма фланцевого соединения

К сожалению, большинство пользователей приборов ИКТ игнорируют столь существенное влияние излучательной способности поверхности объекта исследования. Очевидно, именно поэтому часто приходится слышать, что при тепловизионной диагностике можно получить любые, в том числе и взаимоисключающие результаты.

Таким образом, современные тепловизоры позволяют достаточно легко получить картину распределения так называемых радиационных температур, однако для определения действительных температур необходимо учитывать влияние состояния атмосферы, солнечной радиации и особенно излучательной способности исследуемой поверхности.

Список литературы

1. Козлов В.К., Енюшин В.Н. Термографическое обследование котельных агрегатов // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2005, № 3-4. – С. 101-104.
2. Енюшин В.Н., Камалдинова Э.М. Термографическое обследование каркасного дома // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 86-93.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ, 2011, № 3, т. 1. – С. 192-200.
4. Левин Е.В., Окунев А.Ю. К вопросу об определении распределения температур на поверхности строительных объектов тепловизионным методом // Вестник МГСУ, 2011, № 3, т. 1. – С. 245-256.

5. ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.
6. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
7. ИСО 6781-83 Техлоизоляция. Качественное выявление теплотехнических нарушений в ограждающих конструкциях. Инфракрасный метод.
8. ВСН 43-96 Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров.

Enyushin V.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: enjushin@gmail.com

Kraynov D.V. – assistant

E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of the emissivity of the surface of the prototype system on the accuracy of temperature measurement in the thermovision inspection

Resume

The technical state assessment of building enclosures and power engineering equipment is considerably connected with the introduction of effective methods of instrument inspection, particularly with that of the thermal nondestructive testing method – the infrared diagnostics.

The article considers the guidelines for the carrying out of the thermal imaging diagnostics and the basic factors influencing the accuracy of measurements are distinguished: solar radiation, the choice of emissivity, environmental conditions (wind, atmospheric precipitation). The emissivity factor of the surface of the prototype system exerts the most significant influence on the reliability of the temperature measurements. The accuracy of measurements is also influenced by the choice of the spectral range, in which the infrared device is operating. When measuring in the open air it is more preferable to use the long wavelength (8-12 microns) thermal imaging systems, since they are more sensitive to the direct and reflected solar radiation, as well as the diffuse solar radiation and the emission of artificial lighting sources, than the short wavelength (2-5 microns) ones. The presented thermographs of different objects illustrate the areas, the measured brightness temperatures of which are evidently overrated or underrated as compared to the true temperatures.

Keywords: emissivity, thermovision inspection, infrared diagnostics, non-destructive testing, infrared technology.

References

1. Kozlov V.K., Enyushin V.N. Thermographic inspection of boiling units // News of Higher Educational Institutions. Problems of Power Engineering, 2005, № 3-4. – P. 101-104.
2. Enyushin V.N., Kamaltdinova E.M. Thermographic inspection of the frame house // News of the KSUAE, 2011, № 2 (16). – P. 86-93.
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects of increasing of energy efficiency of residential buildings in Russia // Vestnik MGSU, 2011, № 3, Volume 1. – P. 192-200.
4. Levin E.V., Okunev A.Yu. The determination of the temperature distribution on the surface of buildings by the use of the thermal imaging method // Vestnik MGSU, 2011, № 3, Volume 1. – P. 245-256.
5. GOST 26629-85 Buildings and structures. The method of heat monitoring of the thermal insulation quality of building enclosures.
6. SNiP 23-02-2003 Thermal shielding of buildings.
7. ISO 6781-83 Insulation. Qualitative detection of thermotechnical irregularities in building enclosures. Infrared method.
8. VSN 43-96 Industrial construction standards for the thermotechnical surveys of the exterior building enclosures with the use of the small-size thermal imaging device.