

УДК 620.1179.13

Вавилов Владимир Платонович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией Институт неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: vavilov@tpu.ru

Область научных интересов: инфракрасная термография, тепловой контроль, обработка изображений, теория теплопроводности.

Лариошина Ирина Анатольевна, аспирант Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: irinalarioshina@mail.ru

Область научных интересов: тепловизионная диагностика, энергоаудит.

РОЛЬ ТЕПЛОВИДЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГОАУДИТА И СОСТАВЛЕНИИ ЭНЕРГОПАСПОРТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.П. Вавилов, И.А. Лариошина

Томский политехнический университет

E-mail: vavilov@tpu.ru

Рассмотрены особенности использования тепловидения при энергоаудите строительных сооружений. Обсуждаются возможности использования данного метода при формировании количественных характеристик теплозащиты зданий, предписанных формами энергопаспортов согласно приказу Минэнерго №182 от 19 апреля 2010 г.

Ключевые слова:

Энергоаудит, инфракрасная термография, диагностика, энергопаспорт.

Введение

Применение инфракрасного (ИК) тепловидения как инструментального средства строительной диагностики известно с 80-х гг. прошлого века, когда первые признаки грядущего энергетического кризиса заставили правительства ряда ведущих стран, прежде всего, Скандинавии и Канады, начать разработку эффективных методов диагностики тепловой защиты строительных сооружений. Именно в те годы произошел любопытный технологический курьез, состоявший в том, что первый измерительный тепловизор был создан не в США, которым принадлежало первенство в разработке военных ИК систем, а в Швеции усилиями фирм AGA и Bofors, получившим государственные субсидии на создание измерительных тепловизоров. Уже тогда фирма AGA (затем AGEMA Infrared Systems, сейчас FLIR Systems) поняла важность российского (советского) рынка, в том числе, и в силу чисто климатических условий нашей страны.

Сам отечественный термин «тепловидение» появился как буквальный перевод торговой марки Thermovision фирмы AGA, а тепловизоры этой фирмы, в особенности портативная модель Thermovision 470, приобрели в бывшем СССР определенную популярность, которая сдерживалась отсутствием валютных ресурсов для приобретения тепловизоров организациями различного профиля. Другим сдерживающим фактором широкого распространения тепловизоров в те годы явилась низкая стоимость энергоресурсов и отсутствие мотивации к их сбережению. Тем не менее, уже в 1980-е гг. в бывшем СССР были выполнены основополагающие работы в области строительной ИК термографии силами ряда центральных научно-исследовательских организаций, таких как ВНИИ строительной физики, ГУП «НИИ Мосстрой» и др. Результаты тех исследований были обобщены В.А. Дроздовым и В.И. Сухаревым [1]. Однако наибольшее распространение в те годы тепловидение нашло при диагностике электрооборудования открытых и закрытых распределительных устройств. Экономический эффект в данной области был очевиден, а принятие решения о дефектности было сравнительно простым в силу значительной амплитуды температурных сигналов.

Определенное изменение акцентов в применении тепловидения произошло буквально в последние пять лет, а именно, наблюдается резкое возрождение интереса к применению данного метода в строительстве и в разработке схем тепловизионной диагностики и энергоаудита строительных зданий и сооружений (рис. 1). Это обусловлено двумя факторами. Прежде всего,

принятие федерального закона № 261-ФЗ (23 ноября 2009 г.) и последующего приказа Минэнерго № 182 (19 апреля 2010 г.) стимулировали появление практически несуществовавшего ранее рынка услуг по энергоаудиту строительных сооружений, что, в свою очередь, привело к взрывоопасному росту спроса на недорогие тепловизоры.

С другой стороны, именно в последнее десятилетие произошла смена поколений ИК тепловизоров, обусловленная разработкой относительно недорогих матричных детекторов ИК излучения. Цены на тепловизоры снизились чуть ли не на порядок, измерительные модели стали доступны небольшим организациям и даже отдельным лицам. Так, например, в ходе одной из рекламных акций 2011 г. тепловизор i3 фирмы FLIR Systems с матрицей 60×60 элементов можно было приобрести за 39 (!) тыс. руб. В настоящее время среди рядовых пользователей приобрели популярность тепловизоры Testo 875-1,2 по цене 110–170 тыс. руб., обеспечивающие температурную чувствительность 0,08 °С при формате термоизображений 160×120 элементов и частоте кадров 9 Гц. Более универсальными являются тепловизоры с матрицей 320×240, в то время как продвинутые пользователи переходят к формату 640×480 и выше.

Методическое обеспечение тепловизионной диагностики в строительстве

Официальным документом тепловизионной диагностики в строительстве является ГОСТ 26629-85 (с 2012 г. заменен ГОСТ Р 54852-2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций»), который представляет собой реплику международного стандарта ISO 6781-83 «Performance of buildings – Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods». Значительное количество стандартов и руководств по практическим обследованиям зданий и сооружений было разработано в Швеции, Канаде и особенно в США [2–9]. В России аналогичные материалы, разрабатывались в течение многих лет организациями, которые более или менее последовательно внедряли тепловидение в строительную диагностику (ГУП «НИИ Мосстрой», Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ), ФГУП «НИЦ «Строительство», институт ВЕМО, фирма ТТМ и др.) [10–16]. В 2012 г. в НИ ТПУ была закончена разработка «Методических рекомендаций по энергетическому аудиту строительных зданий и сооружений с использованием метода инфракрасной термографии», в которых сделана попытка обобщить основные особенности строительной тепловизионной диагностики.

Нормативные требования, содержащиеся в таких документах в числовом выражении, относятся, главным образом, к условиям проведения тепловизионной съемки, но не к интерпретации температурных данных. Например, рекомендуется не проводить обследования зданий при температурном напоре менее 10 °С, скорости ветра более 6 м/с, коэффициенте излучения объекта съемки менее 0,6...0,7, сильном дожде или снегопаде, интенсивной инсоляции и т. п.

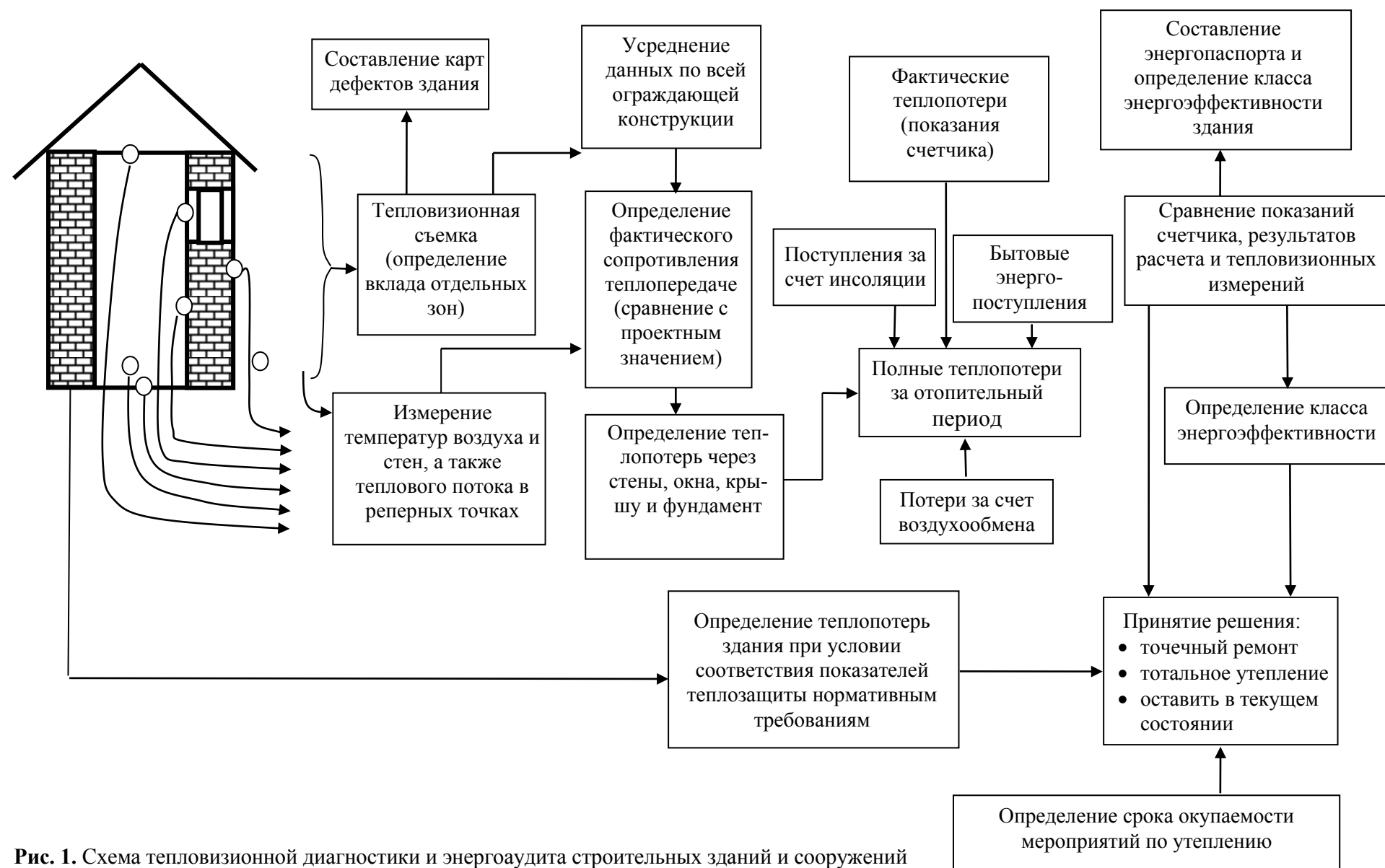


Рис. 1. Схема тепловизионной диагностики и энергоаудита строительных зданий и сооружений

Беспорные преимущества тепловизионной диагностики

Независимо от области применения, тепловизионная диагностика *оперативна, бесконтактна, наглядна* и регистрирует *тепловые феномены* объектов контроля. Оперативный характер получения данных, обусловленный в числе прочего бесконтактным характером тепловидения, важен для обеспечения массовости обследований в строительстве. Наглядность ИК термограмм облегчает интерпретацию результатов тепловизионной съемки, которые отражают качество теплозащиты ограждающих конструкций. С математической точки зрения, регистрируемое в ходе обследований распределение температуры на наружных и/или внутренних поверхностях стен отражает структурное состояние ограждающих конструкций, а принятие решения о наличии тех или иных дефектов, строго говоря, сводится к решению некорректно поставленной обратной задачи теплопроводности. Такие решения неоднозначны, но на практике допустимы, если речь идет о качественной интерпретации данных.

Принято считать, что ИК термография, как один из методов оценки теплотехнического состояния зданий, позволяет проанализировать работу системы вентиляции, оценить интенсивность инфильтрации воздуха, а также выявить нарушения теплозащиты ограждающих конструкций, возникшие в результате следующих причин: 1) ошибок проектирования; 2) нарушений технологии изготовления строительных материалов, правил складирования, перевозки и т. п.; 3) ошибок и нарушений технологии при строительстве зданий; 4) неправильного режима эксплуатации.

В более узком смысле считают, что данный метод идеален для обнаружения поверхностных и скрытых дефектов, под которыми понимают недопустимые отклонения от принятых норм. При этом реализуется принцип сравнения текущей зоны контроля с эталонной (бездефектной) зоной.

Основными видами дефектов, обнаруживаемых с помощью ИК термографии, являются:

- места протечек воздуха и воды (дефектная зачеканка швов с наружной стороны, отслоения пленки мастики от бетонной поверхности, недостаточное обжатие гермита и трещины в растворе и мастике, дефекты оконных блоков и проемов: некачественное уплотнение стен замазкой, сквозные щели в соединениях нижних элементов коробок, прерывистость мастики в устье стыка защелки оконного блока);
- мостики тепла и холода; ухудшение сопротивления теплопередаче (отсутствие теплоизоляции, аномальная увлажненность, некачественная кирпичная кладка, некорректные архитектурные и строительные решения и т. п.);
- дефектные панели ограждающих конструкций (нарушения толщины и расстановки утеплителя, адсорбция влаги в утеплителе, завышение объемного веса керамзитобетона, оседание утеплителя, скол края панели);
- отслоение штукатурки, облицовки и других покрытий.

Обнаруживать скрытые дефекты строительства тепловизионным методом можно как внутри, так и снаружи помещений. Внутренний осмотр является более детальным и предназначен для обнаружения, в том числе, незначительных строительных дефектов и анализа теплового режима помещений. Имеются методики проведения тепловизионной диагностики внутри отдельных помещений путем локального понижения давления, например, с помощью вентилятора; при этом возрастает температурный сигнал, обусловленный протечками воздуха через стены, и появляется возможность отличить протечки от локального ухудшения теплоизоляционных свойств. В летнее время при слабом температурном напоре возможно использование нагревателей для повышения температуры внутри помещений; в этом случае измерение температуры стен начинают через несколько дней после начала нагрева. При проведении энергетических обследований системы отопления тепловидение обеспечивает 100 %-й анализ эффективности работы радиаторов (рис. 2).

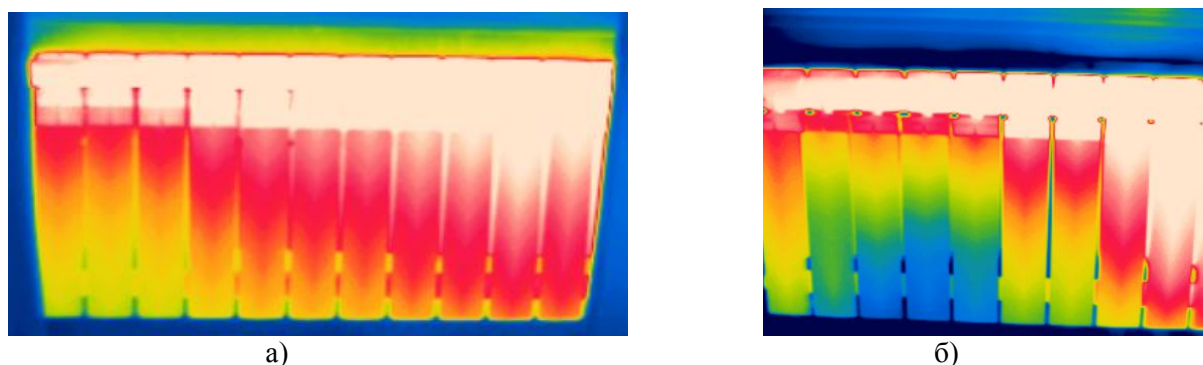


Рис. 2. Оценка состояния радиаторов отопления: а) качественный радиатор ($T_{\max} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$); б) некачественный радиатор ($T_{\max} = 83\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Спорные преимущества тепловизионной диагностики

Основное спорное преимущество строительного тепловидения – тезис о том, что тепловизор является качественным многоточечным термометром, применение которого позволяет экспериментально определить сопротивление теплопередаче R и тепловые потери зданий W . До настоящего времени не решен вопрос о том, с какой погрешностью тепловидение позволяет оценить вышеуказанные характеристики теплозащиты, поскольку понятие чувствительности путают с точностью измерений. Если температурное разрешение практических тепловизоров не превышает 100 мК, а во многих случаях составляет 50...80 мК, то, согласно литературным данным, погрешность оценок R и W не превышает 15 %, хотя и эта величина требует подтверждения. Вопрос достижимой точности тепловизионных оценок теплопотерь обсуждается в работе [17].

Даже качественная оценка термограмм может представлять затруднения, например, при анализе вертикальных швов зданий (рис. 3, а). Дефектная отметка на наружной термограмме шва может быть как «теплой», так и «холодной», в зависимости от градиента перепада давлений и наличия протечки воздуха. Так, например, узкая протяженная зона темного цвета (холодная зона с температурной аномалией около 3 °С) на наружной термограмме (рис. 3, б) была идентифицирована как сквозная протечка холодного атмосферного воздуха внутрь помещения только после внутренней съемки соответствующей квартиры (рис. 3, в). При этом понижение температуры в углу неоштукатуренной стены достигало 11 °С.

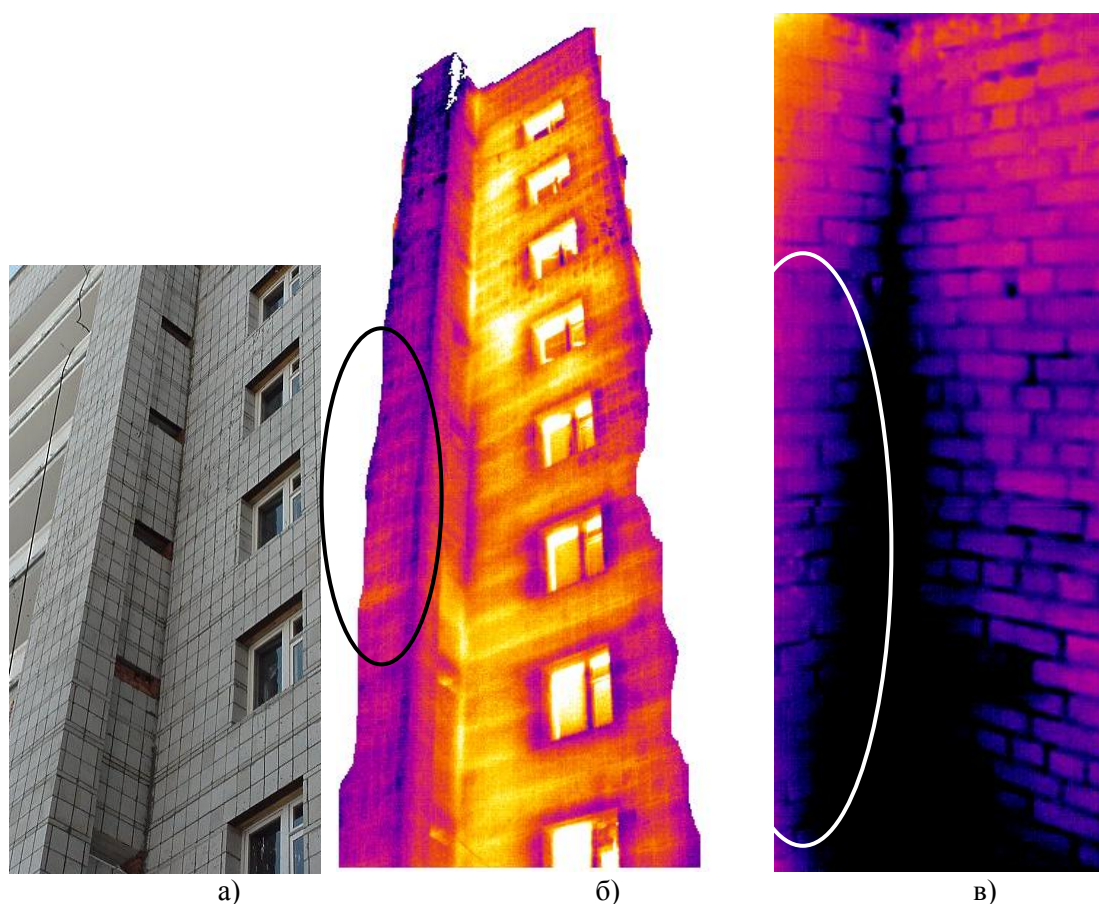


Рис. 3. Сопоставление результатов наружной и внутренней съемки вертикального шва жилого дома (овалами выделена дефектная зона с протечкой атмосферного воздуха)

Энергетическая эффективность и заполнение энергопаспортов зданий

Роль тепловизионной диагностики весьма велика при составлении пояснительной записки по результатам энергетического обследования. При этом в первую очередь внимание заказчика обращается на локальные строительные дефекты, которые являются как причиной теплового дискомфорта резидентов, так и могут быть причиной повышенных тепловых потерь. В этом случае трудно переоценить иллюстративный характер термограмм и степень их психологического воздействия на заказчика. Например, при обследовании одного из торговых центров в г. Томске было незамедлительно установлено, что основным источником значительных тепловых потерь и, следовательно, повышенных расходов на отопление здания являются многочисленные оконные проемы одного из фасадов, заложенные кирпичом при трансформации здания из заводского цеха в торговый комплекс и закрытые снаружи сайдингом (рис. 4).

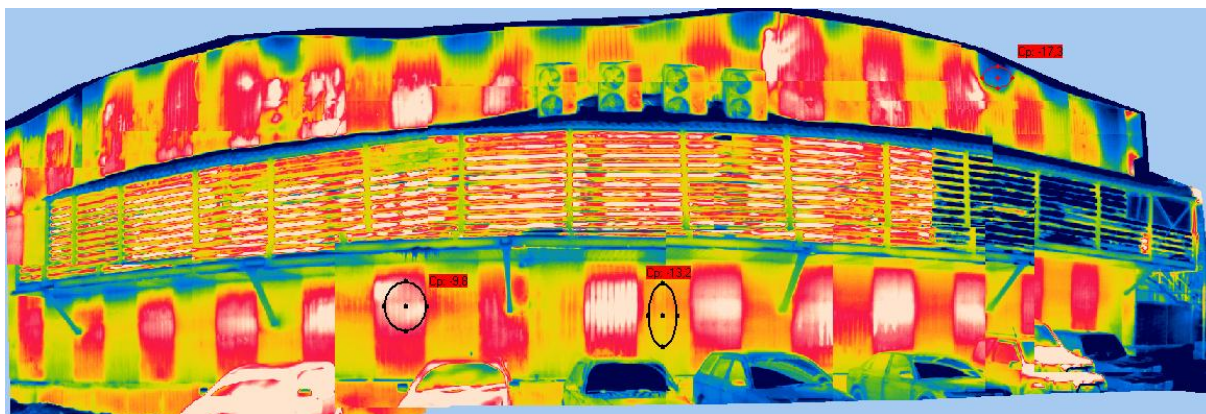


Рис. 4. Панорамная термограмма фасада торгового центра в г. Томске (множественные отметки прямоугольной формы соответствуют заложенным кирпичом оконным проемам, через которые происходят основные теплопотери)

Менее очевидна роль тепловидения при определении количественных показателей тепловой защиты зданий, предусмотренных формами 12, 13, 20 и 21 энергетического паспорта согласно приказу Минэнерго № 282. Например, удельную тепловую характеристику здания, требуемую формой 12 и выраженную в $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, определяют либо по удельному расходу тепловой энергии, предусмотренному СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и выраженному в $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ сут., либо используют более запутанные рекомендации МДК 1-01.2002 «Методические указания по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве». В форме 13 исполнитель приводит фактический удельный расход тепловой энергии в сопоставлении с нормативным значением. Во всех этих случаях достаточно знать годовое потребление тепловой энергии по счетчику, величину градусо-суток отопительного сезона и объем здания. Величина удельного расхода тепловой энергии позволяет отнести обследованное здание к тому или иному классу энергетической эффективности. Роль тепловидения при этом не просматривается.

Формы 20 и 21 содержат сведения по предлагаемым мероприятиям, связанным с энергосбережением. Здесь роль тепловидения, прежде всего, состоит в том, что результаты измерения сопротивления теплопередаче в реперных (эталонных) точках с помощью контактных тепломеров могут быть распространены на всю поверхность ограждающей конструкции здания с учетом простой пропорциональной зависимости между сопротивлением теплопередаче, тепловым потоком через стену и тепловым потоком, рассеянным наружной поверхностью конструкции в окружающую среду. Фактически, роль тепловидения сводится к определению приведенного (среднего) значения избыточной температуры наружного фасада $\bar{T}_w - T_a$, после чего величину приведенного сопротивления теплопередаче $\bar{R}$ рассчитывают как $\bar{R} = R_{ref} (T_{wref} - T_a) / (\bar{T}_w - T_a)$; здесь индексы «w», «a» и «ref» соответственно относятся к наружной стене, окружающей среде и реперной точке. Заметим, что все вышеприведенные рассуждения относятся к режиму стационарного теплообмена; для учета динамики изменения температуры среды, что также требуется и при работе с тепломерами, необходимы более длительные измерения температуры фасадов.

Таким образом, основным преимуществом тепловизионной съемки является возможность усреднения температурных значений по фасадам с учетом вклада окон, балконов, плит перекрытия и других особенностей архитектурного решения здания. В конечном счете, это позволяет определять экономию трансмиссионных теплопотерь и оценивать технико-экономическую эффективность энергосберегающих мероприятий, в частности, сроки окупаемости при утеплении кровли крыши, фундамента и боковых ограждающих конструкций.

Заключение

Очевидно, что тепловидение не является панацеей при энергоаудите строительных сооружений, однако его роль трудно переоценить, прежде всего, в тех случаях, когда необходимо локализовать области преимущественных теплопотерь, которые часто обусловлены либо про-

ектными ошибками, либо дефектами, возникающими на стадиях строительства и эксплуатации. В то же время в строительной тепловизионной диагностике до конца не решена проблема количественной интерпретации результатов съемки, которая должна обеспечивать принятие обоснованных решений по усилению теплозащиты обследованных зданий. Приводимая в литературе оценка погрешности тепловизионного определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и соответственно трансмиссионных теплопотерь в течение отопительного периода на уровне $\pm 15\%$ достижима на практике, но при соблюдении ряда правил тепловизионной съемки, учете теплоинерционности и динамики тепловых параметров окружающей среды.

Настоящая работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., мероприятие 1.2.1, госконтракт П533.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов В.А., Сухарев В.И. Термография в строительстве. – М.: Стройиздат, 1987. – 238 с.
2. Standard ISO 6781-83 «Thermal insulation. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method». – N.Y.: ISO, 1983.
3. ANSI/ASHRAE Standard 101-1981 «Application of infrared sensing devices to the assessment of building heat loss characteristics». – Atlanta: ASHRAE, 1981.
4. ASTM Standard C1060-90 «Thermographic inspection of insulation installations in envelope cavities of frame buildings». – USA: ASTM, 1996.
5. ASTM C1153-90 Standard practice for the location of wet insulation in roofing systems using infrared imaging. – Philadelphia PA: ASTM, 1990.
6. ASTM Designation E 1186-87 «Standard practices for air leakage site detection in building envelopes». – Philadelphia: ASTM, 1987.
7. Standard 149-GP-2MP. «Manual for thermographic analysis of building enclosures». – Canada, 1986.
8. Standard SS024210. «Thermal insulation: Thermography of buildings». – Sweden: SIS Standardization Committee, 1986.
9. Standard X 10-023-82. «Isolation thermique. méthode infrarouge pour la détection qualitative d'irrégularités thermiques dans la structure externe des bâtiments». – France, 1982.
10. Диагностика и определение теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным методом – Свид. об аттестации МВИ № 1305/442 от 10.01.2001, Госстандарт РФ. – 36 с.
11. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритного тепловизора (ВСН 43-96). Утв. 30.07.96 Департаментом строительства г. Москвы. – 21 с.
12. Инструктивные указания по осуществлению прямых тепловизионных методов определения фактических теплотехнических показателей ограждающих конструкций при паспортизации жилых домов массовых серий. – М: ГУП «НИИ Мосстрой», 1998.
13. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом (летний вариант). Свид. об аттестации МВИ №02/442-2002 от 9 августа 2002 г. – 43 с.
14. Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. – РД-13-04-2006, Ростехнадзор, 2006. – 50 с.
15. Методика тепловизионного контроля теплотехнической однородности стеновых панелей в заводских условиях. – М: ГУП «НИИ Мосстрой», 2002.
16. Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники. МДС 23-1.2007. ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 12 с.
17. Вавилов В.П. Пессимистический аспект тепловизионного энергоаудита строительных сооружений // Дефектоскопия. – 2010. – № 12. – С. 49–54.

Поступила 06.04.2012 г.