

## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.П. НЕКРАСОВ, канд. физ.-мат. наук,  
зав. отделом теплообменных процессов  
в инженерных системах УП "ИНСТИТУТ НИПТИС" (Минск)

В журнале "Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века" №11, 2001 г. была опубликована статья авторов во главе с лауреатом Нобелевской премии академиком РАН А.М. Прохоровым "Российские тепловизионные приборы", которая вызвала большой интерес у читателей. В развитие заинтересовавшей темы публикуем статью, отражающую специфику использования тепловизоров в строительстве и ЖКХ.

В настоящее время в России и Беларуси большинство зданий и сооружений имеют наружные ограждающие конструкции, не соответствующие современным нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче. Поэтому очень важным является проведение массового и оперативного обследования фактического теплотехнического состояния зданий или, другими словами, фактического распределения температурных полей на поверхности наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Температура поверхностей строительных конструкций зависит от тепло-физических свойств их материалов, наличия теплопроводных включений, как конструктивно обусловленных, так и случайных, являющихся технологическими или конструктивными дефектами и др. Если пользоваться традиционными методами, то для определения теплофизического состояния ограждающих конструкций здания необходимо установить несколько сотен или тысяч термодатчиков. Естественно, большая трудоемкость и высокая стоимость такой работы затрудняет осуществление необходимого контроля теплофизических свойств во время приемки зданий в эксплуатацию и, особенно, перед капитальным ремонтом или реконструкцией.

Однако теперь на вооружении специалистов имеется эффективный метод контроля и определения пространственного распределения тепловых потоков (температур) по поверхности ограждающих конструкций зданий, основанный на применении прибора под названием "тепловизор". Он одновременно, на одном кадре, регистрирует более 65 000 значений температур, усредненных на площади в несколько квадратных сантиметров.

В настоящее время наиболее предпочтительными по техническим и эксплуатационным характеристикам, стоимости и надежности представляются портативные компьютерные термографы IRTIS-200 (м. рис. 1). Эти термографы хорошо зарекомендовали себя при работе в критических условиях (при низких температурах до  $-30^{\circ}\text{C}$ ). Приборы IRTIS-200 работают в городах Сибири и Дальнего Востока: Новосибирске, Сургуте, Когалыме, Новом Уренгое, Нерюнгри (Якутия), Анадыре (Чукотка), Кемерово, Комсомольске-на-Амуре.



Тепловизор позволяет получить тепловой "портрет" ограждающей конструкции здания (см. рис. 1-9), проанализировать изображение на компьютере (см. рис. 10) и принять экспертное заключение по способу теплоизоляции здания, а после выполнения работ по утеплению - вновь снять тепловой "портрет" ограждающей конструкции и проверить качество выполненных работ. После компьютерной обработки изображения и распечатки на цветном принтере тепловые "портреты" могут являться официальными документами состояния конструкции здания.

Рис. 1. Компьютерный термограф IRTIS-200

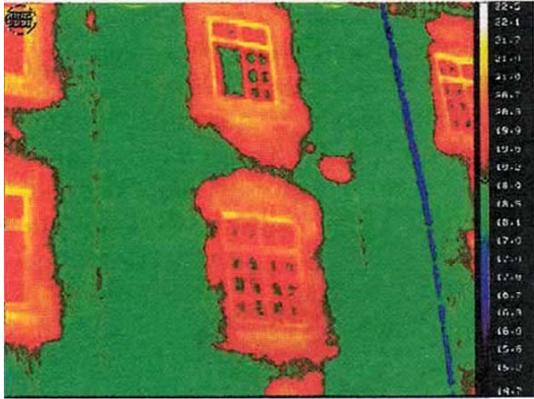


Рис. 2. Тепловизионный снимок стены в летнее время после солнечного облучения. Красный цвет соответствует местам ремонта

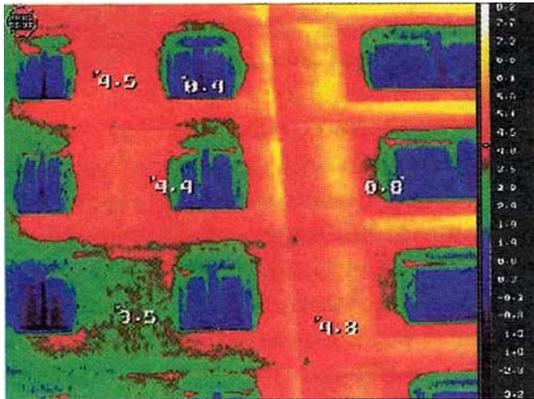


Рис. 3. Тепловизионный снимок северной стены жилого дома с солнечной подсветкой от заснеженного ландшафта

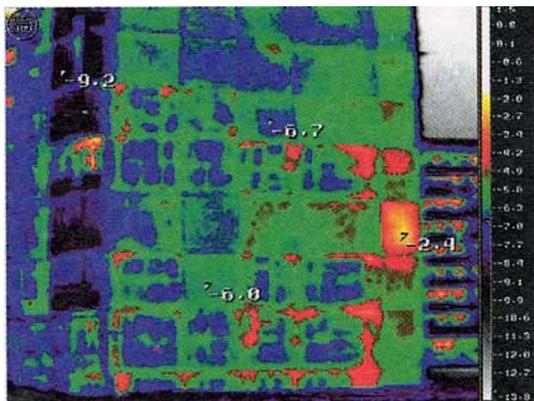


Рис. 4. Термограмма стены жилого дома с нарушенной теплоизоляцией панелей (участки красно-желтого цвета)

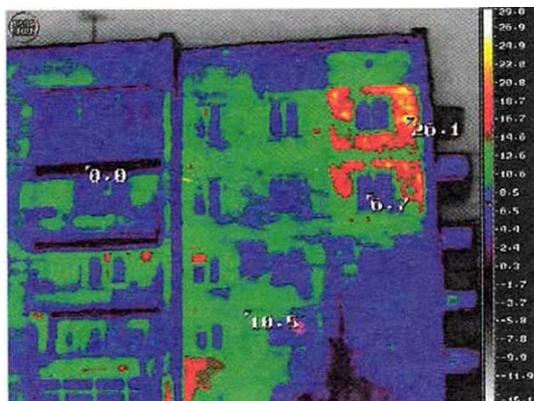


Рис. 5. Термограмма стены жилого дома с нарушенной теплоизоляцией панелей (участки красно-желтого цвета)

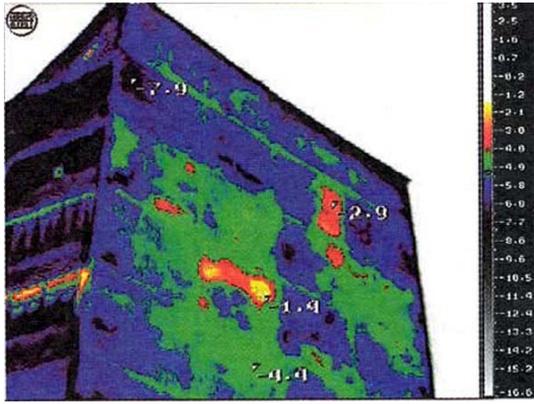


Рис. 6. Термограмма стены жилого дома с нарушенной теплоизоляцией панелей (участки красно-желтого цвета)

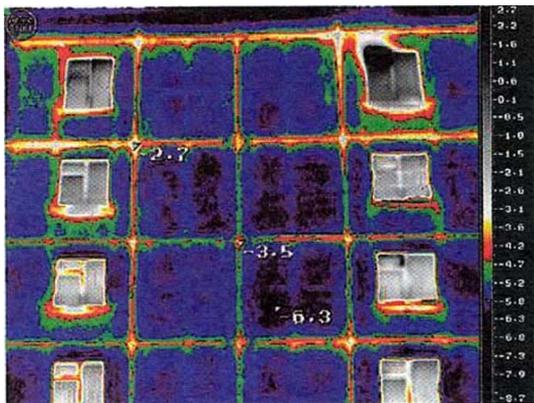


Рис. 7. Термограмма стены жилого дома с нарушением теплоизоляции в швах

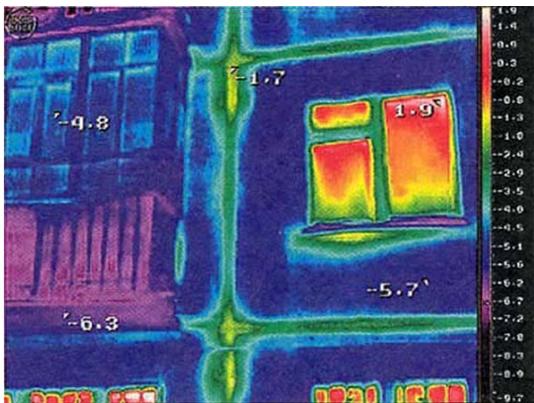


Рис. 8. Термограмма стены жилого дома с нарушением теплоизоляции в швах

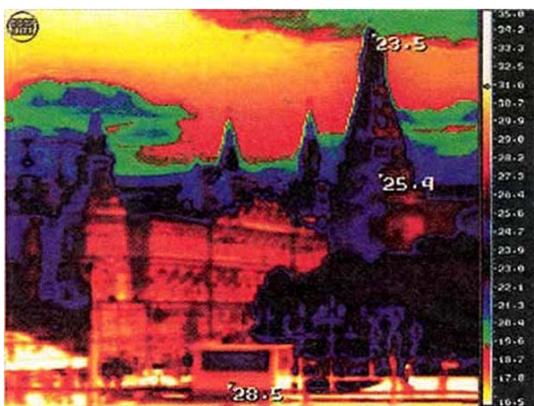


Рис. 9. Тепловизионный контроль памятников архитектуры

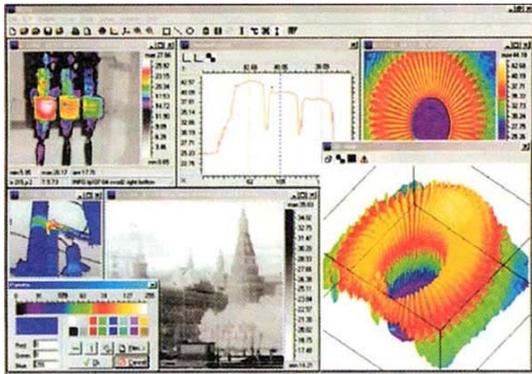


Рис. 10. Возможности программного пакета IRTIS: визуализация, анализ, обработка, запись, просмотр и распечатка термограмм

К преимуществам тепловизионных съемок также относятся:

- высокая температурная разрешающая способность приборов;
- дистанционность измерения при полном исключении механического контакта и нарушения поля температур измеряемого объекта;
- возможность обнаружения внутренних дефектов по измерениям возмущений поля температур на поверхности конструкции;
- высокая пространственная разрешающая способность приборов;
- возможность обзора одним и тем же прибором малых (размером до нескольких сантиметров) и очень больших (размером до сотен метров) объектов;
- большой диапазон температур, охватываемых одним и тем же прибором.

Тепловизионному контролю подвергаются наружные и, при необходимости, внутренние поверхности ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Тепловизионное обследование, в том числе при проведении приемосдаточных мероприятий, позволяет решать широкий спектр задач по выявлению дефектов зданий и сооружений:

- конструктивных, технологических, эксплуатационных и строительных дефектов стеновых панелей;
- недостаточно утепленных строительных конструкций;
- дефектов кирпичной кладки;
- дефектов перекрытий и покрытий;
- нарушений швов и стыков между сборными конструкциями;
- утечек тепла через окна и остекленные участки зданий в результате плохого монтажа;
- утечек тепла через конструкции и стыки цокольных этажей и чердачных конструкций;
- утечек тепла через системы вентиляции;
- участков зданий с повышенным содержанием влаги;
- участков с плохой работой системы отопления и горячего водоснабжения.

Следовательно, метод тепловизионного контроля качества теплозащиты позволяет определять места и размеры участков, подлежащих ремонту для восстановления требуемых теплозащитных качеств.

Качество тепловизионного обследования зависит от многих факторов, определяющих погрешность регистрации температурного поля поверхности ограждающей конструкции. Методические погрешности регистрации температурного поля могут быть вызваны изменением состава регистрируемого инфракрасного излучения и отклонением температурного поля на поверхности от температурного поля, определяемого установившимся режимом теплопереноса.

При термографировании оптическая ось тепловизора часто оказывается не перпендикулярной к обследуемой поверхности, а плотность энергии излучения поверхности прямо пропорциональна косинусу угла между нормалью к поверхности и направлением оптической оси. На измеряемое излучение поверхности исследуемого объекта в значительной степени влияет тепловое воздействие посторонних источников тепла. При этом учесть влияние излучения посторонних тепловых источников крайне трудно. Если же солнце освещает поверхность объекта, пусть даже кратковременно, например, периодически скрываясь за облаками, то термографирование иногда проводить нецелесообразно.

Наличие конденсата на поверхности ограждения в виде влаги или инея меняет теплопроводность поверхностного слоя ограждения, делает температурное поле более изотермичным и может менять коэффициент черноты поверхности. Перечисленные факторы учесть крайне сложно в реальных

условиях. Следовательно, при наличии конденсата в виде инея или влаги на поверхности объекта проводить термографирование нецелесообразно. Другой причиной возникновения погрешностей являются флуктуации параметров ветра, которые приводят к изменению условий теплообмена между наружным воздухом и поверхностью объекта.

Погрешность тепловизионных измерений существенным образом зависит от степени черноты обследуемой поверхности. Это обусловлено законами физики. Зная величину теплового потока излучения и излучающую способность поверхности, можно определить и температуру этой поверхности. Поток излучения от любого тела с температурой  $T$  и степенью черноты  $\epsilon$  определяется формулой Стефана-Больцмана:

$$Q = \epsilon \sigma T^4, (1)$$

где:

$\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана;

$\epsilon$  - степень черноты поверхности.

Как видно из формулы (1), для одного и того же потока излучения прибор покажет различную температуру поверхности, если степень черноты поверхности различна.

На этом законе и основан метод дистанционного измерения температуры поверхности с использованием аппаратуры, регистрирующей инфракрасное излучение. Тепловизоры - это приборы, которые преобразуют невидимое человеческим глазом тепловое излучение от предмета в видимое его изображение, на котором видно распределение температур.

Уравнение, которое описывает величину потока инфракрасного излучения, падающего на прибор, можно записать в следующем виде.

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\tau} + (1 - \epsilon) \cdot Q_{\phi} \cdot e^{-\tau}, (2)$$

где:

$Q$  - поток инфракрасного излучения, падающий на приемник излучения прибора (Вт);

$Q_0$  - поток инфракрасного излучения, который излучает регистрируемая поверхность (Вт);

$Q_{\phi}$  - поток инфракрасного излучения, который падает на измеряемую поверхность (Вт). Этот поток состоит обычно из двух частей: потока, обусловленного излучением солнца и небесной полусферы, а также потока, обусловленного излучением среды, окружающей обследуемую поверхность (здания, деревья и др.);

$e^{-\tau}$  - ослабление излучения по лучу зрения прибора за счет поглощения излучения парами воды и газами  $CO_2$  и  $CO$ .

Первый член уравнения (2) означает собственное излучение объекта, ослабленное по лучу зрения прибора. Ослабление излучения необходимо учитывать при тепловизионных измерениях в горячих цехах, где производство связано с выделением большого количества тепла и газов  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ , а также других веществ, поглощающих ИК-излучение.

Учет потока излучения, отраженного от окружающих объектов (второй член в уравнении (2)), важен при измерениях в замкнутых помещениях с высокотемпературными источниками. При съемке ограждающих конструкций зданий также необходимо учитывать атмосферные условия в момент измерения, особенно положение солнца на небосводе.

Так, на рисунке 2 представлена термограмма северной стороны здания, средняя температура стен которого при температуре наружного воздуха  $-8^{\circ}C$ , составляет по данным прибора  $1-3^{\circ}C$ . Результатом такой средней температуры является отражение излучения низко расположенного солнца от снежной поверхности и стен соседних домов.

Однако солнце может являться и источником полезной информации при тепловизионной съемке в летнее время. На рисунке 3 приведена термограмма стены после ухода солнца на другую сторону здания. В результате радиационного прогрева стены стали хорошо видны термически неоднородные участки, фактически - места ремонта.

Этими термограммами мы хотим показать, что проводить измерения могут специалисты, обученные технике измерения тепловизором, но экспертное заключение должны давать специалисты в области теплофизики, нестационарного теплообмена, инфракрасной оптики, строительных конструкций, энергетического оборудования и др.

Таким образом, "точное" измерение температуры поверхности возможно при знании ее степени черноты, погодных условий (температура воздуха, скорость ветра и т. д.) в течение некоторого времени до измерения и в момент измерения.

В УП "Институт НИПТИС" (e-mail: v\_necrasov@tut.by, тел.: 264-71-64) накоплен опыт проведения тепловизионных исследований на базе современного малогабаритного тепловизора IRTIS-200 и имеется штат высококвалифицированных сотрудников для проведения и обработки результатов обследования.

На основе тепловизионных исследований могут быть разработаны необходимые энергосберегающие мероприятия, и по результатам этих обследований выявленные дефектные элементы зданий и участки ограждающих конструкций могут подвергаться дальнейшему детальному обследованию.

В заключение стоит заметить, что тепловизионные обследования с целью обнаружения участков с утечками тепла в ограждающих конструкциях необходимо проводить во время отопительного сезона, когда существует перепад температур внутреннего и наружного воздуха. Крыши, а также качество отделки наружных и внутренних поверхностей ограждающих конструкций лучше обследовать в летнее время. Тепловизор может также широко использоваться в энергетике и теплоэнергетике для ранней диагностики аварийных ситуаций и проведения профилактических работ в целях повышения безопасности эксплуатируемых объектов.