

УДК 536.5:536.6

ДЕКУША Л.В., ВОРОБЬЕВ Л.И., ГРИЩЕНКО Т.Г.,
ДЕКУША О.Л., ТРИКОЗ П.И., ШАПОВАЛОВ В.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

МЕТОДИКА И КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАТУРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ

Описано комбіновану методику обстеження стану теплозахисту будинків і споруд, що заснована на поєднанні безконтактного визначення полів поверхневої температури огорожувальної конструкції (ОК) з контактними вимірюваннями густини теплового потоку крізь ОК, та температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь ОК, а також комп'ютеризовану вимірювальну систему для реалізації цієї методики у натурних обстеженнях.

Описана комбинированная методика обследования состояния теплозащиты здания и сооружения, основанная на сочетании бесконтактного определения полей поверхностной температуры ограждающей конструкции (ОК) с контактными измерениями плотности теплового потока через ОК и температуры внутренней и наружной поверхностей ОК, и компьютеризированная измерительная система для реализации методики при натурных обследованиях.

The combined technique of inspection of a heat-shielding condition of buildings and constructions, based on a combination of contactless definition of a protecting design (OK) superficial temperature fields with contact measurements of a thermal stream density through OK and temperatures of internal and external surfaces OK, and the computerised measuring system for technique realisation at natural inspections is described.

A – площадь;
 C – теплоемкость;
 i – номер порядковый;
 q – поверхностная плотность теплового потока;
 R – сопротивление теплопередаче;
 R_T – тепловое сопротивление ОК;
 T – температура;
 t – время;
 α – коэффициент теплообмена;
 Φ – тепловой поток, теплота;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
ОК – ограждающая конструкция;
ПТ – преобразователь температуры;
ПТП – преобразователь теплового потока;

ЧП – частное предприятие.
Индексы:
в – внутренний;
воз – воздух;
н – наружный;
инф – инфильтрация;
отопл – отопление;
пов – поверхность;
пр – приведенный;
ПТП – преобразователь теплового потока;
солн – солнечный;
тр – трансмиссионный;
чел – человек;
эл.об – электрооборудование.

Современная цивилизация не может отказаться от выработки и потребления энергии для своего существования, поэтому нет альтернативы ее рациональному использованию, основанному на экономии энергоресурсов и внедрении энергоэффективных технологий. Известно, что использование ресурсо- и энергосберегающих технологий требует меньше затрат, чем строительство новых

источников тепловой мощности. Например, на производство одной тонны условного топлива требуется в 3...4 раза больше инвестиций, чем на его сбережение. На нужды отопления расходуется более 40 % всех топливно-энергетических ресурсов страны, причем, значительная доля теплопотребления приходится на жилищно-коммунальный сектор и превышает соответствующие

показатели европейских стран более чем в два раза. Поэтому в настоящее время энергосбережение стало одной из важнейших задач отечественной экономики. В частности, в строительной индустрии эту задачу решают улучшением теплозащитных качеств зданий и сооружений различного назначения главным образом путем внедрения новых строительных и теплоизоляционных материалов и изделий, удовлетворяющих повышенным нормативным требованиям к их тепловому сопротивлению, и постоянного контроля степени соответствия фактических значений теплотехнических характеристик ограждающих конструкций (далее – ОК) установленным нормам. Такой контроль осуществляют при энергетическом обследовании, цель которого состоит в получении достоверной информации о реальном состоянии теплозащиты здания и теплопотерях через его оболочку. Эта информация является исходной для определения удельных по зонам и общих трансмиссионных тепловых потерь здания и оформления раздела «Теплотехнические показатели» энергетического паспорта с фактическими значениями теплотехнических характеристик согласно ДБН В.2.6-31:2006 [1].

При теплотехническом обследовании ОК исследуют температурные поля на поверхностях ОК и характер их изменения в пространстве, что позволяет выявить локальные дефекты теплоизоляции; установить степень термической однородности отдельных зон ОК и в целом определить фактические значения их теплового сопротивления. С учетом коэффициентов теплообмена по обе стороны от ОК определяют приведенное сопротивление теплопередаче отдельных конструкций и всей теплоизоляционной оболочки и трансмиссионные тепловые потери.

Существует несколько методов определения теплопотерь зданий и сооружений. Один основан на принципе теплового баланса [2], описываемого уравнением:

$$\Phi_{\text{тр}} = \Phi_{\text{отопл}} + \Phi_{\text{солн}} + \Phi_{\text{эл.об}} + \Phi_{\text{чел}} + \Phi_{\text{инф}},$$

где $\Phi_{\text{тр}}$ – трансмиссионные теплопотери, обусловленные кондуктивным тепловым потоком через оболочку здания; $\Phi_{\text{отопл}}$ – теплота, поступающая от системы отопления; $\Phi_{\text{солн}}$ – теплота,

поступающая внутрь здания от Солнца; $\Phi_{\text{эл.об}}$ – теплота, выделяемая работающим внутри здания электрооборудованием; $\Phi_{\text{чел}}$ – теплота, выделяемая присутствующим оператором; $\Phi_{\text{инф}}$ – инфльтрационные потери теплоты, обусловленные движением воздуха естественным путем или принудительным за счет работы вентиляционного оборудования. Метод позволяет определить общие трансмиссионные потери через теплозащитную оболочку здания, однако не выявляет ни конкретные причины этих теплопотерь, ни дефекты или плохо изолированные участки ОК. В связи с этим трудно определить наиболее эффективные направления термомодернизации здания.

Другой метод – бесконтактный (термографический) [3–7] основан на дистанционном измерении поверхностной температуры ОК и определении показателей окружающей среды. Тепловизионный метод обеспечивает высокую производительность при обследовании ибо позволяет продиагностировать все здание и выявить локальные дефекты теплоизоляции путем сравнения температуры поверхности различных участков. Однако сам по себе тепловизионный метод не дает возможности определять численные значения теплового сопротивления ОК и тепловые потери здания.

Наиболее точные результаты получают при теплотехническом обследовании, основанном на контактных измерениях [8–11] плотности теплового потока через ОК и температуры ее обеих поверхностей и воздуха по обе стороны от ОК с последующим вычислением искомых величин по формулам:

– теплового сопротивления i -ой однородной зоны ОК: $R_{Ti} = (T_{Bi} - T_{Hi}) / q_i$,

– сопротивления теплопередаче i -ой однородной зоны: $R_i = R_{Ti} + \alpha_B^{-1} + \alpha_H^{-1}$,

– приведенного сопротивления теплопередаче конструкции: $R_{\text{пр}} = (\sum_{i=1}^N R_i \cdot A_i) / A$,

Для измерения температуры поверхности ОК и пограничного слоя воздуха применяют первичные преобразователи температуры (далее – ПТ) – термоэлектрические (термопары) или термометры сопротивления, а плотности теплового потока – первичные термоэлектрические преобразователи

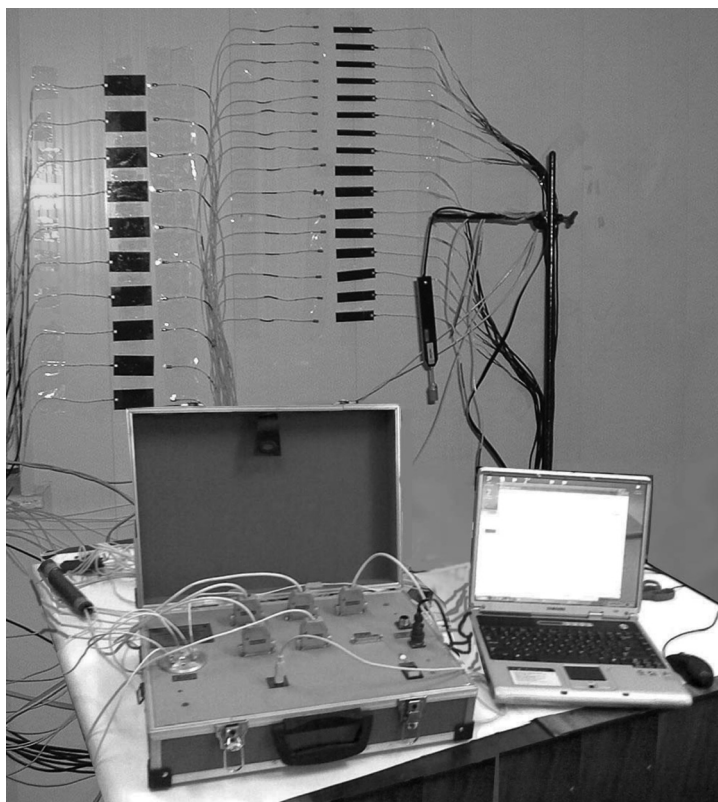


Рис. 1. Внешний вид универсальных компьютеризированных измерительных комплексов типа "РЕСУРС" для измерения плотности теплового потока и температуры.

теплового потока (далее – ПТП) вида вспомогательной стенки [12]. Измерение сигналов ПТП и термопар выполняют с помощью электрических приборов прямого преобразования для измерения неэлектрических величин, например, милливольтметры, а также переносные цифровые измерители теплового потока и (или) температуры, например, серии ИТП [9, 11]. Для работы с термометрами сопротивления применяют измерительные потенциометры постоянного тока.

Для приборного обеспечения контактного метода теплотехнических обследований зданий в натуральных условиях в ИТТФ НАНУ разработаны компьютеризированные измерительные комплексы типа «РЕСУРС» [13, 14] для длительного непрерывного измерения плотности теплового потока и температуры одновременно во многих точках обследуемой поверхности. Основными составляющими измерительных комплексов, внешний вид которых приведен на рисунке 1, яв-

ляются многоканальное электронное измерительное устройство, персональный компьютер (ноутбук) и набор различных первичных преобразователей и измерительных устройств.

Для измерения температуры поверхности ОК и пограничного слоя воздуха каждый комплекс укомплектован термопарами двух типов: для измерения температуры поверхности ПТ_{пов} – и температуры воздуха – ПТ_{воз}. Возможность компенсации температуры опорных спаев термопар обеспечена пассивным блоком опорных спаев, конструктивно размещенным в корпусе измерительного устройства. Для измерения плотности теплового потока через ОК в комплекс входят набор ПТП различных типоразмеров.

Как было сказано выше, в современных требованиях к теплоизоляции зданий [1] нормативные значения сопротивления теплопередаче ОК в 2...3 раза превышают ранее действовавшие. При соблюдении этого требования плотность теплового потока через ОК существенно уменьшается, но при этом увеличивается динамическая погрешность измерения. Эта составляющая погрешности вызвана нестационарностью контролируемого теплового процесса и пропорциональна изменению теплосодержания самого преобразователя, включенного последовательно в цепь измерения теплового потока, т.е. динамическая погрешность пропорциональна собственной теплоемкости ПТП и скорости изменения темпе-

ратуры $C_{\text{ПТП}} \frac{dT_{\text{ПТП}}}{dt}$. Для уменьшения динамичес-

кой составляющей погрешности измерения малых тепловых потоков (на уровне 10...20 Вт/м², характерном для хорошо изолированных строительных элементов), в состав комплекса введены ПТП с корректирующей термобатареей [15], которые имеют постоянную времени в 5...10 раз меньшую, чем у традиционных ПТП таких же размеров и чувствительности.

Основным достоинством контактного метода теплотехнического обследования является возможность определения численных значений теплового сопротивления ограждающих конструкций. Недостатки метода проявляются при обследовании крупногабаритных объектов, имеющих большие теплоотдающие поверхности

и неоднородные в пространстве тепловые поля. К недостаткам нужно отнести большие трудозатраты по креплению первичных преобразователей на поверхностях различных участков, в т.ч. труднодоступных (например, стены верхних этажей здания), и их переустановке на новые участки, а также длительные (не менее 4 суток) измерения. При использовании только контактного метода трудно обнаружить локальные дефекты.

Совместное использование различных методов позволяет реализовать достоинства каждого из них и в значительной мере нивелировать их недостатки. В ИТТФ НАНУ по заданию ЧП «Укртеплогидроизоляция» разработана комбинированная тепловизионно-теплометрическая методика определения сопротивления теплопередаче через ОК зданий и сооружений, основанная на сочетании инфракрасного (бесконтактного) обследования тепловизионной техникой полей поверхностной температуры ОК с контактными измерениями температуры и плотности теплового потока с применением первичных преобразователей и вторичной измерительной аппаратуры в одних и тех же характерных участках поверхностей ОК. Таким образом, методика включает в себя качественный анализ полей температуры поверхностей ОК с количественным определением теплотехнических параметров и характеристик: температуры внутренней и наружной поверхностей ОК и воздуха по обе стороны от нее, поверхностной плотности теплового потока через ОК, коэффициентов теплообмена с прилегающей окружающей средой и теплового сопротивления пограничных слоев по обе стороны ОК. Работы по теплотехническому обследованию теплозащиты здания по данной методике включают несколько этапов:

– качественный анализ полей температуры поверхностей ОК; выделение характерных по теплоизоляции зон и выявление дефектных участков;

– контактные измерения температуры внутренней и наружной поверхностей ОК и воздуха по обе стороны от нее, плотности теплового потока через ОК, коэффициентов теплообмена с прилегающей ОС;

– расчет теплового сопротивления различных участков ОК и приведенного сопротивления теплопередаче всей конструкции.

Для реализации этой методики при теплотехнических обследованиях зданий, сооружений в натуральных условиях в ИТТФ разработана на базе упомянутых компьютеризированных комплексов «РЕСУРС» компьютеризированная измерительная система «РЕСУРС-С».

Кроме наборов вышеперечисленных первичных преобразователей (ПТ и ПТП), система содержит:

- измеритель влажности воздуха;
- измеритель коэффициента теплообмена («Альфамер»);
- устройство измерения степени черноты покрытий;
- накладной экспресс-измеритель теплопроводности материалов (при необходимости).

Многоканальное электронное измерительное устройство системы «РЕСУРС-С» построено на базе унифицированных измерительных и интерфейсных модулей промышленных систем сбора информации. Сигналы первичных преобразователей поступают на модули типа I-7018 – восьмиканальные 16-разрядных АЦП для измерения малых (термопарных) сигналов. Модули объединены между собой шиной интерфейса RS-485, что позволяет изменять конфигурацию измерительной системы и в случае необходимости разнести измерительные модули в составе отдельных конструктивных блоков на расстояние до 100 м. Для связи с компьютером могут быть использованы интерфейсы RS-232 и USB. Конструктивно блоки системы «РЕСУРС-С» оформлены в виде переносных кейсов.

Разработано программное обеспечение, которое позволяет настраивать порядок опроса каналов измерительной системы, изменять интервалы времени между опросом каналов, задавать период опроса, накапливать значения измеренных величин в течение нескольких суток, перезапускать процесс измерений. Компьютеризация позволяет автоматизировать измерения и накапливать информацию для ее хранения и дальнейшей обработки.

Апробация методики проведена при натурном обследовании реальных жилых зданий с использованием описанной выше многоканальной измерительной системы и тепловизора Fluke Ti50 FlexCam. Апробация подтвердила эффектив-

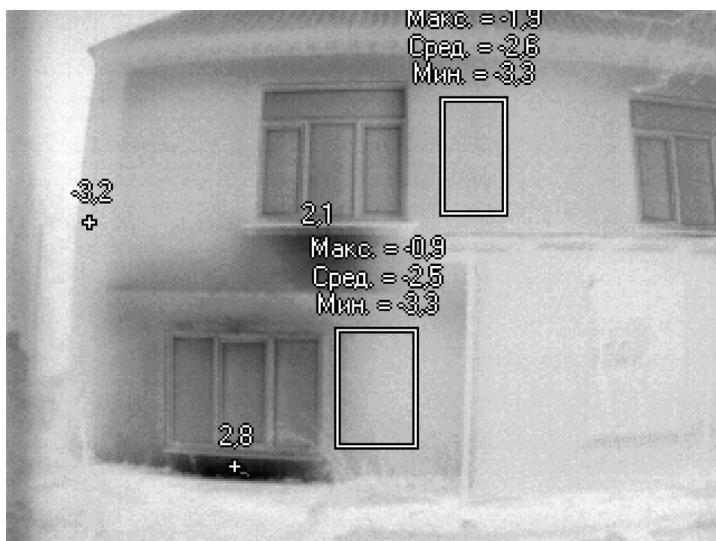


Рис. 2. Сравнение температуры наружной поверхности характерных термически однородных участков фрагмента стены.

ность совместного применения контактных и бесконтактных измерений, возможность определения локальных дефектов теплоизоляции и определения численных значений теплового сопротивления. Результаты обследования предоставляют возможность планировать эффективные мероприятия по термомодернизации зданий для уменьшения теплопотерь.

В качестве иллюстрации на рис. 2 представлена термограмма коттеджа, обследованного как с помощью тепловизора, так и контактным методом. При том, что средние значения температуры поверхностей характерных участков различаются не более, чем на $\pm 0,1$ К, тепловые сопротивления этих участков различаются почти на 25%. На первом этаже, теплое сопротивление стены, утепленной минеральной ватой, составило $1,35 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$, а на втором этаже, утепленном пенополиуретаном – $1,68 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$. Участки стены под окнами за отопительными радиаторами имеют повышенную температуру наружной поверхности (на $6\dots 8$ К), что свидетельствует о необходимости дополнительного утепления этих зон.

Вывод

Разработанные компьютеризированная измерительная система и комбинированная теплови-

зионно-тепловая методика обследования теплозащиты ОК зданий, сооружений успешно прошли апробацию на натуральных жилых зданиях. Основные положения методики предварительно обсуждены со специалистами заинтересованных организаций. В настоящее время проводятся работы по ее согласованию и утверждению в профильных ведомствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Конструкції будинків і споруд. Теплової ізоляція будівель/Державні будівельні норми ДБН В.2.6-31:2006.* – Київ: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства в Україні, 2006. – 64 с.
2. *ГОСТ 31168-2003 Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление.*
3. *ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.*
4. *ISO 6781-1983 Thermal performance of building – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method (Теплоизоляция зданий. Качественное обнаружение тепловых искажений в ограждающих конструкциях. Инфракрасный метод).*
5. *Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике.* – М.: "Энергопрогресс", 2003. – 76 с. [Библиотека электротехника/Приложение к журналу "Энергетик". – Вып. 9 (57)].
6. *Маслова В.А., Стороженко В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле.* – Харьков: "Компания СМИТ", 2004. – 160 с.
7. *Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным методом/Аттестация в ФГУ "Российский центр испытаний и сертификации: Свидетельство № 02/442-2002.* – М.: ФГУ РОСТЕСТ, 2002. – 41 с.
8. *ГОСТ 22254-84 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.*
9. *ДСТУ 4035-2001 (ГОСТ 25380-2001) Енергозбереження. Будівлі та споруди. Методи*

вимірювання поверхневої густини теплових потоків та визначення коефіцієнтів теплообміну між огорожувальними конструкціями та доквіллям (Энергосбережение. Здания и сооружения. Методы измерения поверхностной плотности теплового потока и определения коэффициентов теплообмена).

10. *ДСТУ ISO 9869:2006* Теплоізоляція. Будівельні елементи. Натурні вимірювання теплового опору та коефіцієнта теплопередавання.

11. *Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції/ Методика М00013184.5.023-01* – Київ: "Логос", 2002. – 131 с.

12. *ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98)* Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови. (Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия).

13. *Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й.* Засоби вимірювальної техніки для діагностики,

моніторингу та оптимізації режимів роботи об'єктів у комунальній теплоенергетиці та будівельній індустрії/В кн.: Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації, том I. – К.:ТОВ "Поліграф-Сервіс", 2007. – С. 346-386.

14. *Долінський А.А., Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й. та ін.* Вимірювально-діагностичний комплекс "Ресурс" для типових обстежень котлів, котельного обладнання та трубопроводів/В сб.: "Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин". – Київ: ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, 2006. – С. 255–260.

15. *Декуша Л.В., Воробйов Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша О.Л., Пархоменко Г.А.* Особенности проектирования преобразователей теплового потока для исследования нестационарного теплообмена //Пром. теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 2. – С. 99–104.

Получено 23.09.2008 г.