



## System for Monitoring Thermal Resistance of Building Constructions

Vitalii BABAK, Oleg DEKUSHA, Leonid DEKUSHA,  
Leonid VOROBIOV, Sergey IVANOV

Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
e-mail: [teplomer@ukr.net](mailto:teplomer@ukr.net)

### Abstract

Described multichannel measuring system for monitoring the thermal resistance of enclosing structures using thermoelectric sensors for heat flow and temperature, which will allow to determine directly on the object the quality indices of the heat-shielding envelope of the building. The main factors influencing the process of determining the thermal resistance and methods for reducing the measurement error are analyzed.

**Keywords:** heat flux, thermal transmission properties, thermal resistance.

## Система мониторинга теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий

Виталий БАБАК, Олег ДЕКУША, Леонид ДЕКУША,  
Леонид ВОРОБЬЁВ, Сергей ИВАНОВ

### 1. Введение

Существенное повышение требований к уровню теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий различного назначения обусловило широкое применение новейших утеплителей, удовлетворяющих повышенным нормативным требованиям к их теплому сопротивлению. Актуальным является также контроль степени соответствия фактических значений теплотехнических характеристик ограждающих конструкций установленным нормам. Такой контроль осуществляют при энергетическом обследовании, цель которого заключается 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 тепловых потерь здания и оформления раздела «Теплотехнические показатели» энергетического паспорта.

### 2. Анализ публикаций

Существует несколько методов определения теплопотерь зданий и сооружений. Один основан на принципе теплового баланса [1], и позволяет определить общие трансмиссионные потери через теплозащитную оболочку здания, однако не выявляет ни конкретных причин теплопотерь, ни дефектных или плохо изолированных участков ограждающих конструкций. В связи с этим трудно определить наиболее эффективные направления термомодернизации здания.

Другой метод – бесконтактный (ISO 6781-1983, EN13187:1998) [2,3] основан на дистанционном измерении поверхностной температуры ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники. Он является наиболее производительным при

обследовании, позволяет продиагностировать все здание и выявить локальные дефекты теплоизоляции путем сравнения температуры поверхности различных участков. Однако, выдавая качественную картину, сам по себе тепловизионный метод не дает возможности определять численные значения теплового сопротивления ограждающих конструкций и тепловых потерь здания.

Наиболее точные результаты получают при теплотехническом обследовании зданий, основанном на контактных измерениях [4, 5, 6] плотности теплового потока через ограждающую конструкцию и температуры ее обеих поверхностей и воздуха по обе стороны с последующим вычислением искомых величин приведенного теплового сопротивления ограждающей конструкции в целом.

### 3. Цель исследования

Целью работы является создание и апробация методов, средств мониторинга теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий с использованием сенсоров теплового потока.

### 4. Аппаратура и методики исследований

Для приборного обеспечения контактного метода теплотехнических обследований объектов в натуральных условиях предложена компьютеризированная измерительная система, обеспечивающая длительное непрерывное измерение плотности теплового потока и температуры одновременно во многих точках обследуемой поверхности.

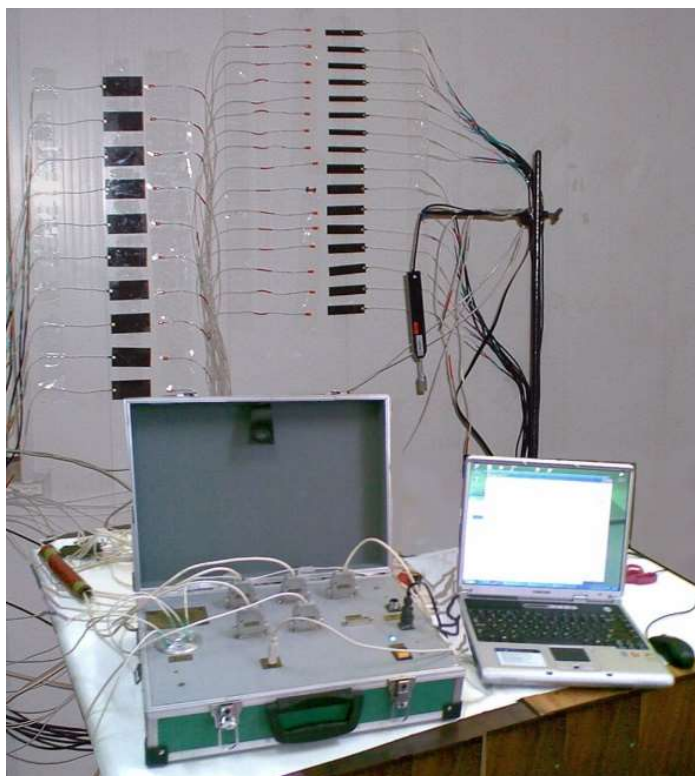


Рисунок 1. Общий вид о многоканального измерительного комплекса

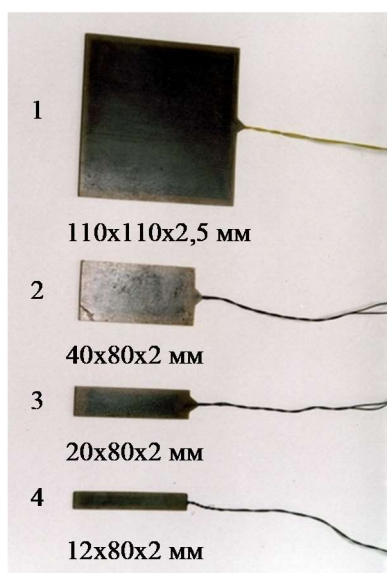
Основными составляющими системы, внешний вид которой приведен на рисунке 1, являются многоканальное электронное измерительное устройство (измерительный блок), персональный компьютер (ноутбук) и набор различных первичных

преобразователей тепловых величин. Для измерения плотности теплового потока через ограждающие конструкции система оснащена набором сенсоров различных типоразмеров, а для измерения температуры – набором пятачковых термопар, предназначенных для установки на поверхности ограждающих конструкций, и термопар в корпусе из тонкостенной трубки с отражающей поверхностью, предназначенных для измерения температуры воздуха. Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Основные технические характеристики**

Диапазон измеряемых значений поверхностной плотности теплового потока, Вт/м <sup>2</sup>	от –300 до +300
Основная допускаемая относительная погрешность измерения поверхностной плотности теплового потока, %	± 4
Диапазон измеряемых значений температуры, °С	от –40 до +50
Основная допускаемая абсолютная погрешность измерения температуры, °С	±1

Учитывая особенности ограждающих конструкций зданий (сооружений), предложено несколько модификаций сенсоров, предназначенных для установки на различные типы строительных ограждающих конструкций [7, 8] которые приведены на рисунке 2.



Сенсоры для установки:

1 – на фрагменте кирпичной кладки и других стен;

2 – на стекле оконных блоков;

3 – на обвязке оконных блоков (рамы);

4 – на коробке оконных блоков.

**Рисунок 2. Модификации сенсоров теплового потока для мониторинга строительных ограждающих конструкций**

При измерении на строительных объектах существенный вклад в погрешность измерения вносит динамическая погрешность. Эта составляющая погрешности вызвана нестационарностью контролируемого теплового процесса и пропорциональна изменению теплосодержания самого сенсора, включенного по тепловому потоку последовательно с контролируемой конструкцией. Таким образом, динамическая

погрешность пропорциональна собственной теплоемкости сенсора и скорости изменения температуры. Для уменьшения этой составляющей погрешности измерения в диапазоне малых значений теплового потока, характерном для строительных элементов с высоким сопротивлением теплопередаче, в наборе преобразователей предусмотрены сенсоры с корректирующей термобатареей [9], которые имеют постоянную времени в (5...10) раз меньшую, чем у традиционных сенсоров 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 также отнести большие трудозатраты по креплению первичных преобразователей на поверхностях различных участков, в том числе труднодоступных (например, стены верхних этажей здания), и их переустановке на новые участки, а также длительные (не менее 4 суток) измерения. При использовании контактного метода трудно обнаружить локальные дефекты.

Для проведения испытаний, предложено использовать методику определения теплового сопротивления через ограждающую конструкцию зданий и сооружений, основанную на сочетании тепловизионного обследования поверхностной температуры ограждающих конструкций в соответствии с ISO 6781-2015, с количественными контактными измерениями значений поверхностных температуры и плотности теплового потока в соответствии с ISO 9869:2014 [10]. Тепловизионное обследование позволяет выявить особенности внутренней структуры и состава фрагментов обследуемой ограждающей конструкции (наличие участков с неодинаковыми техническими характеристиками, теплопроводных включений, узлов, стыковых соединений, скрытых производственных дефектов и прочее), которые приводят к термической неоднородности.

Измерения с применением преобразователей температуры и теплового потока фактических значений поверхностных температуры и плотности теплового потока позволяют найти реальные значения теплового сопротивления ограждающих конструкций.

Достоверность результатов измерения поверхностной плотности теплового потока и температуры определяется наличием метрологического обеспечения соответствующих средств измерения.

## **Результаты исследований**

Для экспериментальной проверки созданной измерительной системы и методики было проведено обследование ограждающих конструкций двухэтажного здания.

Тепловизионное обследование здания проведено с применением тепловизора марки Ti50FT фирмы Fluke.

Приведена термограмма фасада здания (рисунок 3), на которой видно, что наибольшие теплопотери через оболочку здания наблюдаются на забатарейных участках стен. Существенной разницы значений температуры на характерных участках внешней стороны стен первого и второго этажей не обнаружено.

Также было проведено тепловизионное обследование внутри помещения (рисунок 4). На термограмме внутренней стороны ограждающей конструкции первого этажа (рисунок 4, а) видно мостики холода, образованные металлическим профилем, который проходит сквозь слой минеральной ваты и на котором закреплены листы гипсокартона.

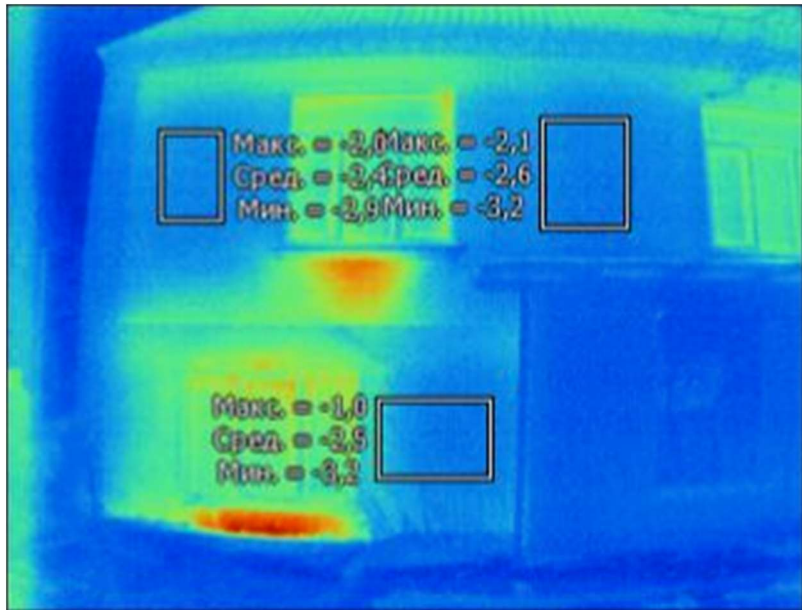


Рисунок 3. Термограммы фасада здания

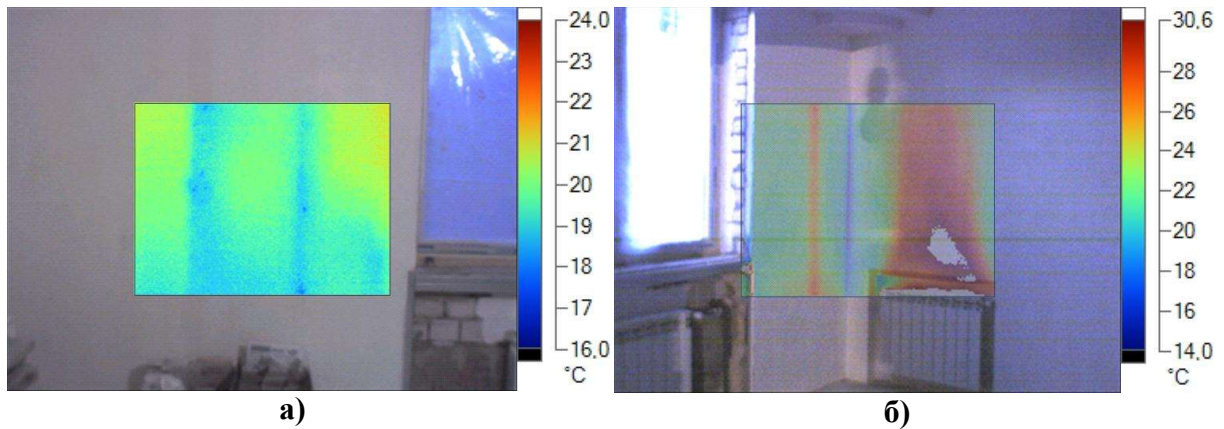


Рисунок 4. Термограммы внутренней стороны ограждающей конструкции первого этажа

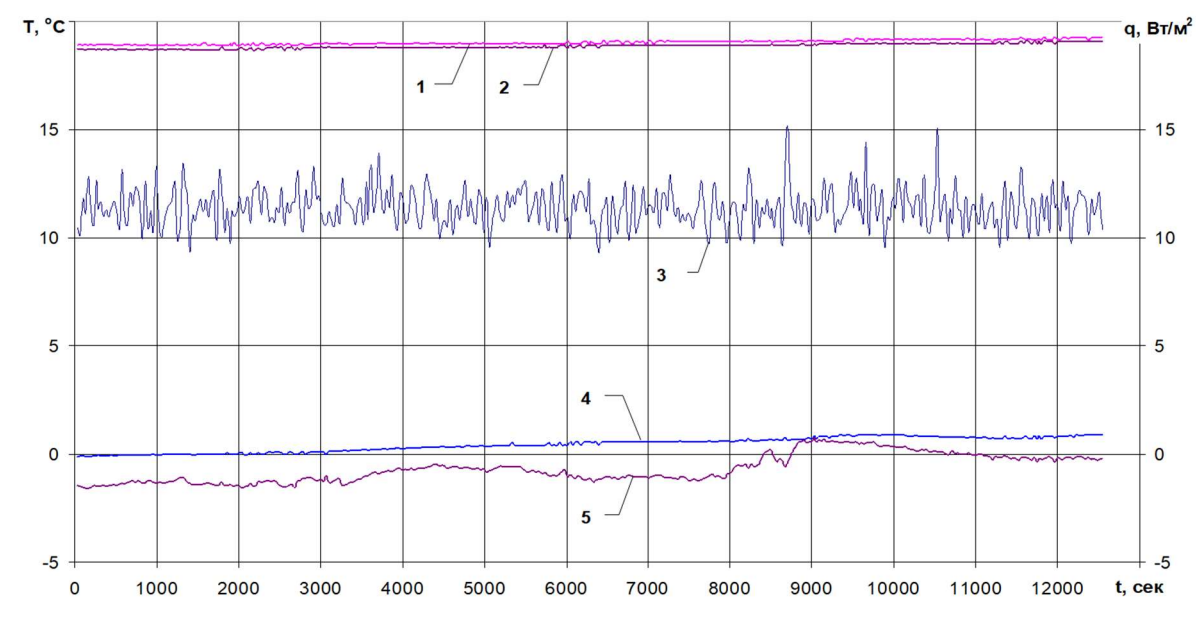


Рисунок 5. Внутренний вид помещений дома во время контактных измерений.

На рисунке 4 б видно зоны сильного перегрева поверхности стены над утепленной в слой утеплителя батареей (энергия от нагревательного прибора теряется через неутепленный участок стены, а от нагретого воздуха быстро отдается поверхности стены над батареей). Необходимо также обратить внимание на перегрев поверхности гипсокартона в зоне, где расположена труба системы отопления, а рядом с ней – холодный, плохо утепленный угол помещения.

Использование термограмм, полученных в ходе тепловизионного обследования, позволило выявить места установки сенсоров теплового потока и температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции, которые позволяют контролировать как наиболее характерные для конструкции участки, так и зоны повышенных теплотерь. На фотографиях (рисунок 5) показаны сенсоры, установленные на внутренней поверхности оболочки здания, а также измерительная система в комплекте с ноутбуком.

На каждом из этажей был проведен мониторинг температур и тепловых потоков в течении 4-х дней. Далее были отобраны участки записей результатов измерений, на которых измеряемые теплофизические параметры (температура и плотность теплового потока) относительно стабильны. Результаты одного из таких участков мониторинга продолжительностью 3,5 часа для характерной зоны стены первого этажа представлены на рисунке 6.



- 1 – температура воздуха внутри здания;
- 2 – температура внутренней поверхности ограждающей конструкции;
- 3 – плотность теплового потока через ограждающую конструкцию;
- 4 – температура внешней поверхности ограждающей конструкции;
- 5 – температура воздуха снаружи здания.

**Рисунок 6. Участок записи теплофизических параметров для характерной зоны**

Из приведенных данных видно, что при достаточно медленном изменении температуры воздуха внутри помещения и на поверхностях ограждающей конструкции, плотность теплового потока имеет быстрые колебания вокруг среднего значения (до 25%), обусловленные конвективным теплообменом в пограничном слое воздуха. Это еще раз указывает на необходимость достаточно длительных измерений с последующим

усреднением результатов. В таблице 2 приведены усредненные результаты контактных измерений на характерных участках стен обследуемого здания.

**Таблица 2. Усредненные результаты контактных измерений**

Наименование	температура внутренней поверхности °С	температура воздуха внутри здания °С	температура внешней поверхности °С	температура воздуха снаружи здания °С	плотность теплового потока Вт/м <sup>2</sup>
Внешняя стена 1-й этаж	18,58	18,37	1,9	1,25	12,17
Внешняя стена 2-й этаж	21,9	20,2	4,04	3,95	9,64

По результатам контактных измерений определены фактические значения теплового сопротивления через характерные зоны ограждающей конструкции:

- на стене 1-го этажа с утеплителем из минеральной ваты – 1,52 м<sup>2</sup> К / Вт;
- на стене 2-го этажа с утеплителем из пенопласта – 1,85 м<sup>2</sup> К / Вт.

## 5. Выводы

Разработанная многоканальная система мониторинга теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий позволяет проводить испытания в соответствии с ISO 9869:2014

Комбинированная методика определения теплового сопротивления через ограждающую конструкцию зданий и сооружений, основанную на сочетании тепловизионного обследования поверхностной температуры ограждающих конструкций в соответствии с ISO 6781-2015, с количественными контактными измерениями значений поверхностных температуры и плотности теплового потока в соответствии с ISO 9869:2014, позволяет исключить субъективные факторы при проведении испытаний.

## Литература

1. Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление. ГОСТ 31168-2014, М.: Стандартинформ, 2014. 30 с. (Международный стандарт).
2. Thermal performance of building – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method. ISO 6781-2015, 16 с. (Международный стандарт).
3. Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод. ДСТУ Б EN 13187:2011 (EN13187:1998, IDT). К.: Мінрегіон України, 2012 (Міжнародний стандарт).
4. ДСТУ Б В.2.6-23-2009 (ГОСТ 26602.1-99) Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі). К.: Мінрегіон України, 2009 (Міжнародний стандарт).
5. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій ДСТУ Б В.2.6-101:2010 ). К.: Мінрегіон України, 2010 (Міжнародний стандарт ).

6. Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: Heat flow meter method: ISO 9869-1:2014. (Acting from 2014-08). International Organization for Standardization, 2014, 36 p. (International Standard).
7. Грищенко Т. Г., Л. В. Декуша, Л. И. Воробьев. Комплекс приборов для контроля тепловых характеристик ограждающих конструкций, материалов и изделий. труды XII конф. СНГ с межд. участием «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики» (Севастополь-2002), Киев: ИПЦ «АЛКОН» НАУ, 2002, с.75-80.
8. Воробйов Л. Й., Л. В. Декуша, Т. В. Менделесва. Теплофізичні прилади для теплових випробувань будівельних конструкцій. Тези доповідей Київської міської науково-практ. конф. «Промисловості міста – інноваційний шлях розвитку», Київ: КМДА, 2002, с.236-242.
9. Теплометрия: теория, метрология, практика. Монография в 3-х книгах. Кн. 1. Методы измерения теплового потока. (Т. Г. Грищенко, Л. В. Декуша, Л. И. Воробьев и др.). Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017, 438 с., <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/27263>.
10. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія. В.П. Бабак, В.С. Берегун, З.А. Бурова та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака, К.: ІТТФ НАН України, 2016, 298 с.