

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТЕКЛОПАКЕТОВ**

Баштовой А.А.

Запорожский национальный университет  
г. Запорожье, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Наведені конструкція установки та описання інтегральної методики для визначення термічного опору теплоізоляційних матеріалів і будівельних скло пакетів.

**АННОТАЦИЯ:** Приведены конструкция и описание интегральной методики для определения термического сопротивления теплоизоляционных материалов и строительных стеклопакетов.

**ABSTRACT:** The plant and method for determining the integral thermal resistance of insulation materials are developed.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Термическое сопротивление, стеклопакет, тепловой поток.

### **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день в Украине, в связи со стремительным ростом цен на традиционные энергоносители, остро стоит проблема термомодернизации зданий. В то же время на рынке материалов для теплоизоляционных покрытий существует множество товарных предложений, которые отличаются качественными и стоимостными показателями. Выбор того или иного материала зависит прежде всего от его теплофизических свойств, главным из которых является термическое сопротивление. Важными характеристиками теплоизоляторов являются также удельный вес, сорбционные свойства, водостойкость, морозостойкость, экологическая безопасность и др. От этих показателей существенно зависят также капитальные вложения в проекте. Определить преимущества и недостатки разных материалов, свойства которых зачастую неизвестны или требуют уточнения, а также энергетическую и экономическую целесообразность использования того или другого продукта для термомодернизации сооружений возможно путем расчетов или измерения общего термического сопротивления ограждающих конструкций с разным теплоизоляционным покрытием с последующим сравнением этих качественных показателей. То же самое касается и современных стеклопакетов, которые широко используются в настоящее время для термореновации сооружений. Существующие методики испытания тепловых свойств либо требуют дорогостоящего оборудования, либо громоздкие и трудоемкие. Для проведения сравнительного входного контроля изоляционных материалов авторами была разработана экспресс-методика определения термического сопротивления образцов строительных конструкций.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

На материально-технической базе лаборатории энергоэффективности и энергосбережения административно - хозяйственной части Запорожского национального университета при научно-техническом сопровождении Института технической теплофизики НАН Украины была создана установка по определению термического сопротивления интегральным методом. Установка (рис. 1) представляет собой термоизолированную камеру (термокамеру), изготовленную из двусторонне фольгированного пенопласта ПСБ-25 ДСТУ Б.В.2.7-8-94, толщиной 150 мм в верхней части которой устанавливается исследуемый образец в виде крышки. Внутри камеры установлен точечный электрический источник теплоты регулируемой мощности с известным КПД.

Термическое сопротивление на единицу поверхности  $R_{\text{sample}}$  испытуемого образца определяется соотношением

$$Q_{\text{sample}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{sample}} S_{\text{sample}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{sample}}$  – полный тепловой поток, проходящий через образец,

$\Delta T = T_2 - T_1$  – разность температур на внутренней и внешней поверхностях образца, соответственно.

В нашем случае величина  $Q_{\text{sample}}$  определялась как разница между мощностью нагревателя  $P_{\text{heat}}$  и тепловым потоком  $Q_{\text{tc}}$  через стенки термокамеры. Нагреватель представлял собой лампу накаливания в цепи переменного тока 220В 50Гц, покрытую алюминиевой фольгой для выравнивания степени черноты поверхностей теплообмена. Тепловая мощность нагревателя исходя из интегрального вида закона Джоуля-Ленца

$$P_{\text{heat}} = U \cdot I \cdot \eta. \quad (2)$$

Действующие значения силы тока  $I$  и напряжения  $U$  определялось при помощи мультиметра Picotest M3500a (КПД  $\eta \approx 0,99$ ). Регулировка напряжения осуществлялась лабораторным автотрансформатором РНО-250-5. Установка позволяла исследовать квазистационарный режим теплопередачи через экспериментальный образец.

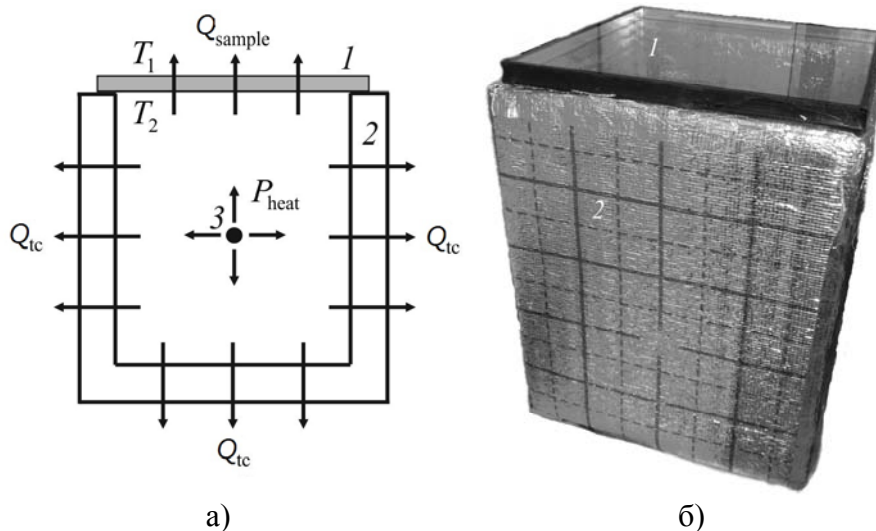


Рис. 1. Схема термокамеры (а) и ее фотография (б):  
1 – образец, 2 – термокамера, 3 – нагреватель

Тепловой поток  $Q_{tc}$  определяется в следующей последовательности. Для полностью закрытой термокамеры определяем ее термическое сопротивление на единицу поверхности в состоянии теплового равновесия

$$R_{tc} = \frac{\Delta T_{0tc}}{P_{heat} S_{tc}}, \quad (3)$$

где  $\Delta T_{0tc} = T_{02} - T_{01}$  – разность температур поверхностей внутри и снаружи камеры,

$S_{tc} = 0,72 \text{ м}^2$  – эффективная площадь внутренней поверхности камеры. Тогда тепловой поток через стенки камеры с образцом будет равен

$$Q_{tc} = P_{heat} \frac{\Delta T_{tc}}{\Delta T_0} \left( 1 - \frac{S_{sample}}{S_{tc}} \right), \quad (4)$$

где  $\Delta T_{tc}$  – разность температур на внутренней и внешней поверхности термокамеры с образцом,

$S_{sample} = 0,13 \text{ м}^2$  – площадь образца.

В ходе проведения эксперимента мощность нагревателя составляла  $P_{heat} = 30 \text{ Вт}$ .

В нашем случае температуры измерялись цифровыми датчиками DS18B20 (Dallas Semiconductor) с точностью 0,1 К. При этом расчетное термическое сопротивление теплопередаче через стенки камеры составило  $R_{tc} = 2,35 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ . Комбинируя (4), (2) и (1) получаем окончательную рабочую формулу для определения термического сопротивления образца

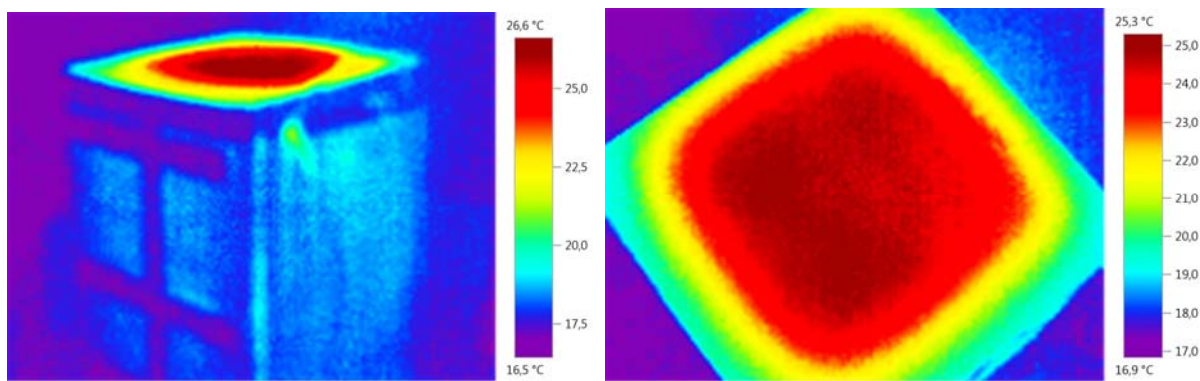
$$R_{sample} = \frac{\Delta T}{P_{heat} S_{sample}} \left( 1 - \frac{\Delta T_{tc}}{\Delta T_{0tc}} \left( 1 - \frac{S_{sample}}{S_c} \right) \right)^{-1}. \quad (5)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В качестве объекта исследований были выбраны образцы современных стеклопакетов: однокамерный (4-16-4), двухкамерный (4-10-4-10-4) и однокамерный с i-стеклом (4-16-4i) изготовленные по ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009. «Настанова з проектування світлопрозорих елементів огорожувальних конструкцій». Для подобного рода образцов характерен сложный механизм теплообмена, включающий теплопроводность, конвекцию и излучение. Расчеты, проведенные по вышеизложенной методике будут давать интегральные значения термического сопротивления, которые представляют наибольший интерес для практического энергоаудита зданий.

На рис. 2 приведено распределение температурного поля по поверхности термокамеры и исследуемого образца (стеклопакет 4-10-4-10-4). Тепловизионная съемка велась согласно требованиям [1]. Термограммы показывают, что наибольший градиент температур имеет место быть через образец.

На рис. 3 показано изменение температуры внутри термокамеры во времени на поверхности исследуемого стеклопакета. После 21 часа непрерывного эксперимента наблюдается выход на квазистационарный режим, о чем свидетельствует дальнейшее постоянство значений температуры на протяжении последующих 3 часов. Для последующих расчетов принимались данные температур внутренней и наружной поверхностей стеклопакета 24 часа эксперимента.



а) б)  
Рис. 2. Термограммы камеры (а) и образца-стеклопакета (б), полученные с помощью тепловизора Testo 875-1

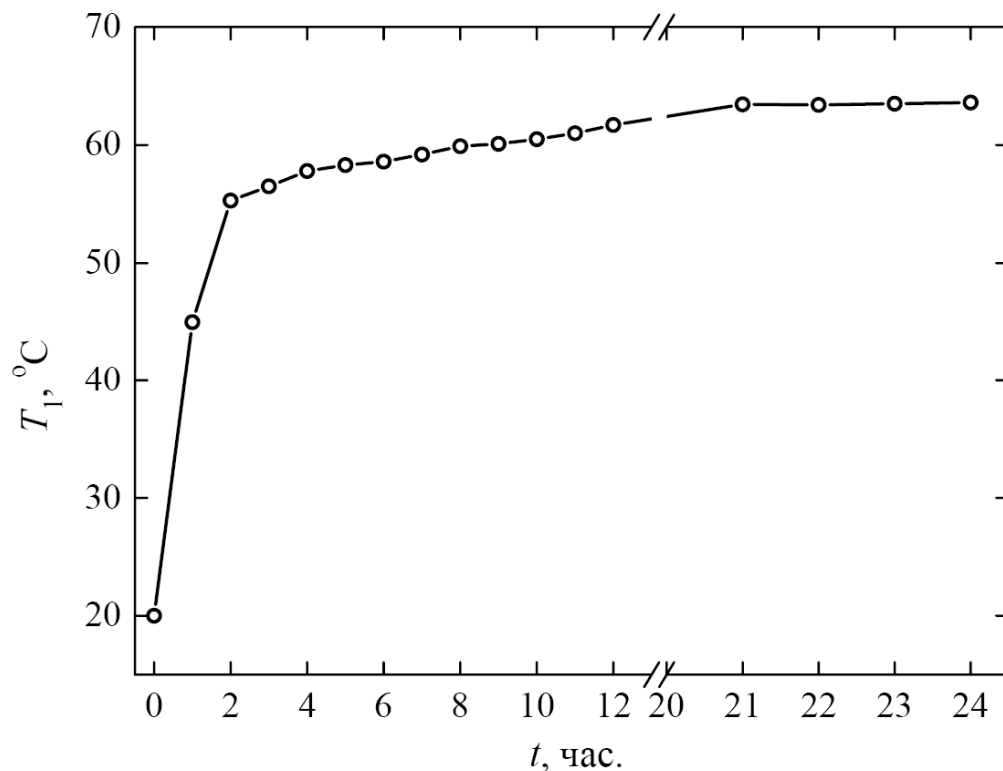


Рис. 3. Изменение температуры внутри термокамеры во времени для стеклопакета

Для анализа расчетных результатов экспериментов с разными стеклопакетами использовалось специальное программное обеспечение The Pilkington Glazing Calculator v. 02.01.01 одного из мировых лидеров в производстве стекла разного назначения компании Pilkington. Программа позволяет определить коэффициент термического сопротивления многокамерного стеклопакета с произвольными технологическими расстояниями по периметру между оконными стеклами (в том числе и с низкоэмиссионными покрытиями) из типоряда производителя и газовым заполнением прослоек между последними, а также показатели светопропускания стеклопакета в целом. Также, в качестве референсных значений для сравнения, были взяты приведенные термические

сопротивления теплопередаче для исследуемых стеклопакетов из ДСТУ Б В.2.7-107:2008 «Стеклопакеты клееные строительного назначения».

В табл. 1 представлены расчеты по результатам экспериментов для исследуемых стеклопакетов в сравнении с программными расчетами и данными из нормативной документации. Следует заметить, что максимальное расхождение между значениями для одного стеклопакета не превысило 15% (в среднем около 7%), что свидетельствует о приемлемости данной экспресс-методики для выборочного входящего контроля продукции или проведения энергоаудитных мероприятий в случае отсутствия сертификации стеклопакетов.

Таблица 1

Сравнение результатов эксперимента с нормативными данными

| Формула<br>стеклопакета | Термическое сопротивление $R$ , (м <sup>2</sup> ·К)/Вт |                                     |                           |
|-------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------|
|                         | Эксперименты   | Pilkington<br>Glazing<br>Calculator | ДСТУ Б В.2.7-<br>107:2008 |
| 4-16-4                  | 0,38   | 0,34                                | 0,32                      |
| 4-10-4-10-4             | 0,50   | 0,52                                | 0,47                      |
| 4-16-4i                 | 0,51   | 0,58                                | 0,59                      |

## ВЫВОДЫ

Разработанная интегральная экспресс-методика позволяет с приемлемой допустимой точностью определить коэффициент термического сопротивления теплоизоляционного материала или строительного стеклопакета, которые используются для термомодернизации существующих зданий и строений. При этом, материальные и временные затраты для создания испытательного стенда и проведения эксперимента существенно ниже, чем для исследований, проводимых согласно ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Данная методика может быть рекомендована для выборочного входящего контроля продукции или проведения энергоаудита в случае отсутствия сопроводительной документации (сертификата) на изделия.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Опір теплопередаванню крізь огорожувальні конструкції будівель та споруд різного призначення. Типова методика виконання вимірювань комбінованим тепловізійно-теплометричним методом із застосуванням комп'ютеризованого вимірювального комплексу / [Воробйов Л.Й., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. та ін.]. – МВУ. - 06:2011 // Інститут технічної теплофізики НАН України, ДП «Укрметртест-стандарт», ПП «Укртеплогідроізоляція». – 2011. – 96 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2013 р.