

RESEARCH OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THIN ENERGY-EFFICIENT COVERINGS BY HEATMETRICAL METHODS

A. Mazurenko

National University of Food Technologies

Z. Burova, L. Vorobyov, L. Dekusha

Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine

Key words:

*Thermophysical properties
Heat-insulating paints
Energy-efficient glasses
Heat flow transducers
Heat conductivity
Emission coefficient
Coefficient of solar radiation absorption*

ABSTRACT

The measurement techniques of heat conductivity, emission coefficient and coefficient of solar radiation absorption of thin energy-effective coverings are considered and it is offered to use measurement instrumentation for this purpose, produced in Ukraine — device IT-7C for heat conductivity measurement, heat flow transducers and the RAP-12SR radiometer. Results of measurement of thermophysical properties of some coverings, such as heat-insulating paints and energy-efficient glasses are given.

Article history:

Received 11.07.2014

Received in revised form
20.07.2014

Accepted 02.08.2014

Corresponding author:

A. Mazurenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОНКИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПОКРИТТІВ ТЕПЛОМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

О.Г. Мазуренко

Національний університет харчових технологій

З.А. Бурова, Л.Й. Воробйов, Л.В. Декуша

Інститут технічної теплофізики НАН України

У статті розглянуто методики вимірювання теплопровідності, коефіцієнта емісії й коефіцієнта поглинання сонячного випромінення тонких енергоефективних покриттів і запропоновано використовувати для цього засоби вимірювань, що випускаються в Україні, — установку ИТ-7С для вимірювання теплопровідності, перетворювачі теплового потоку та радіометр РАП-12СР. Приведено результати досліджень теплофізичних властивостей деяких покриттів — теплоізоляційних фарб та енергоефективних стекол.

Ключові слова: теплофізичні властивості, теплоізоляційні фарби, енерго-ефективні стекла, перетворювачі теплового потоку, теплопровідність, коефіцієнт емісії, коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання.

Применение современных высокоэффективных теплоизоляционных материалов для изоляции холодильного, технологического, энергетического оборудования и строительных ограждающих конструкций позволяет повысить энергоэффективность в производственной и коммунальной отраслях и уменьшить затраты энергоресурсов. На рынке все время появляются новые теплоизоляторы, среди которых особое место занимают материалы, применяемые в виде тонкого слоя, наносимого на конструкционный материал при его производстве либо непосредственно на готовое изделие или конструкцию. Наиболее распространены два вида таких материалов — стекла для светопрозрачных конструкций с энергоэффективными покрытиями и так называемые «теплоизоляционные» краски и мастики на основе акриловых и керамических связующих, содержащие полые керамические или стеклянные микросферы. Для объективной оценки энергоэффективности применения теплоизоляционных материалов необходимо выполнение двух условий — наличие достоверной информации о теплофизических свойствах материала и применение корректной методики расчета теплообмена и теплозащитных свойств конструкции в конкретных условиях применения этого материала.

«Теплоизоляционные» краски и мастики на основе акриловых и керамических связующих, как правило, наносят слоем толщиной 1...2 мм, который после высыхания образует твердое или относительно эластичное покрытие. Для оценки теплоизоляционных свойств таких материалов в разных условиях эксплуатации необходимы данные не только о коэффициенте эмиссии, но и о коэффициенте теплопроводности, а в случае условий эксплуатации при воздействии солнечного излучения — о коэффициенте поглощения солнечного излучения A_s . К сожалению, многие зарубежные и отечественные фирмы-производители указанных красок в рекламных целях используют не объективные теплофизические характеристики, а, например, некий «эффективный» или «эквивалентный» коэффициент теплопроводности либо значение некоего показателя «R-value», которые определяют в специально придуманных экспериментах, условия проведения которых существенно отличаются от реальных условий теплообмена при эксплуатации теплоизолированных конструкций [1, 2]. Методы расчета теплообмена, необходимой теплоизоляции и теплопотерь хорошо известны [3, 4], а для некоторых технических объектов нормированы стандартами [5, 6]. Однако методическое и приборное обеспечение экспериментального определения коэффициента теплопроводности тонких покрытий и терморadiационных характеристик требуют дополнительной проработки.

В Украине разработаны и выпускаются приборы, позволяющие определять теплофизические свойства материалов и параметры теплообмена установок и конструкций. В настоящей статье рассмотрены такие приборы и

специфические методики их применения для определения теплофизических свойств тонкослойных теплоизоляционных материалов.

Установка ИТ-7С (рис. 1), разработана в соответствии с ДСТУ ISO 8301:2007 [7] и предназначена для определения теплового сопротивления и коэффициента теплопроводности строительных материалов [8].

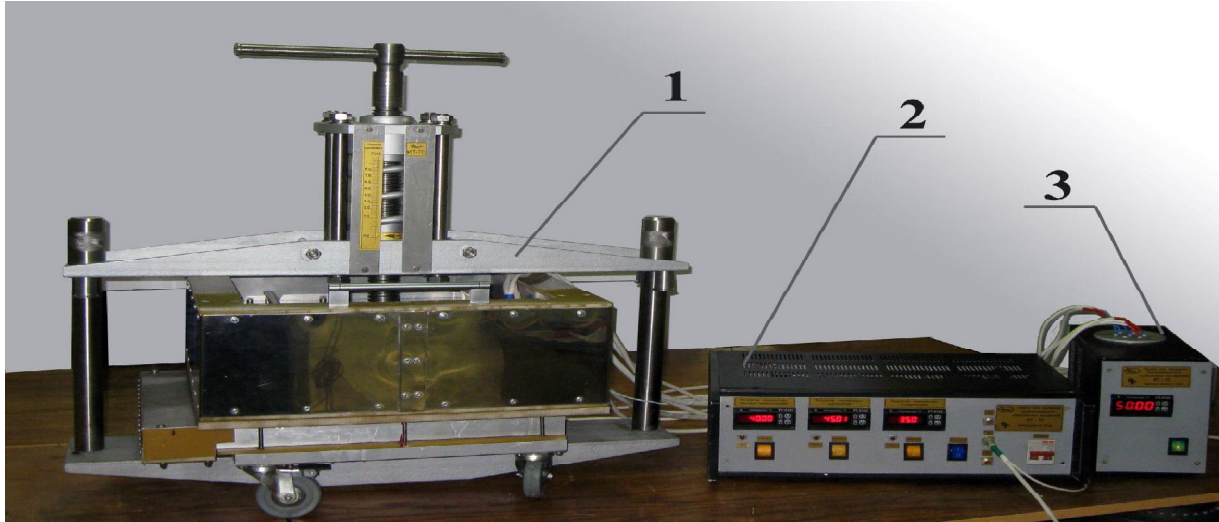


Рис. 1. Внешний вид установки ИТ-7С: 1 — тепловой блок, 2 — электронный блок, 3 — блок термостатирования опорных спаев

Технические характеристики установки ИТ-7С:

- диапазон значений коэффициента теплопроводности 0,02...3,0 Вт/(м·К);
- границы основной относительной погрешности измерений $\pm 3\%$;
- диапазон рабочих значений температуры - 40...180 °С;
- размер образца 300×300×120 мм (max).

Метод измерения, реализованный в установке ИТ-7С, заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец в направлении, перпендикулярном лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, разности температуры противоположных лицевых граней и толщины образца и вычисления коэффициента теплопроводности образца по результатам измерений. Толщина образца материала, исследуемого в установке ИТ-7С, не должна превышать 120 мм, а минимальная рекомендуемая толщина составляет 5...10 мм.

Методика измерения коэффициента теплопроводности тонких покрытий

Для исследования теплопроводности тонких теплоизоляционных красок (покрытий) разработана следующая методика измерения: Из жесткого листового диэлектрического материала, например, из ровного листового стекла толщиной 3...4 мм, изготавливают подложку образца с размерами в плане 300×300 мм. С помощью штангенциркуля измеряют толщину подложки.

На установке ИТ-7С измеряют тепловое сопротивление подложки. На подложку наносят равномерный слой исследуемой краски толщиной 1...2 мм, соблюдая технологию нанесения, и выдерживают образец необходимое время до полного высыхания краски. Штангенциркулем измеряют полную толщину

подготовленного образца и вычисляют толщину покрытия как разницу между толщиной окрашенного образца и толщиной подложки.

Помещают окрашенный образец в ячейку теплового блока установки ИТ-7С (рис.2), причем в центрах рабочих поверхностей образца размещают спаи ленточной дифференциальной термопары толщиной 0,05...0,07 мм. Между рабочими поверхностями образца и преобразователями теплового потока установки ИТ-7С располагают слои мягкого пористого материала — поролона, который обеспечивает прижатие спаев термопар к поверхности образца и нивелирует возможные микронеровности поверхности покрытия.

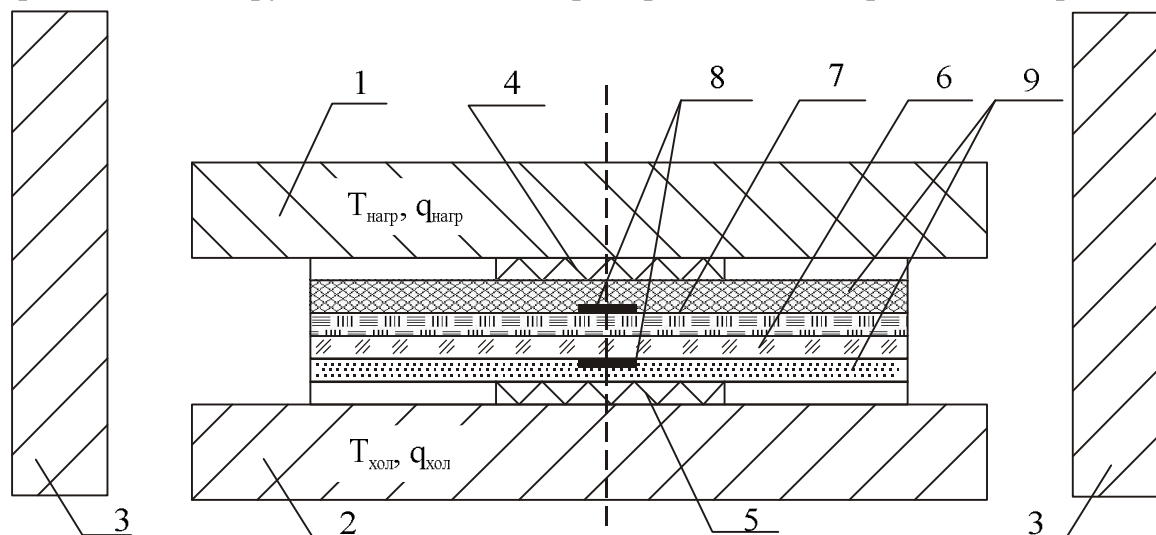


Рис. 2. Схема размещения образца в измерительной ячейке теплового блока установки ИТ-7С: 1 — нагреватель; 2 — холодильник; 3 — боковая теплоизоляция; 4 — верхний преобразователь теплового потока; 5 — нижний преобразователь теплового потока; 6 — стеклянная подложка; 7 — исследуемое покрытие; 8 — спаи ленточной дифференциальной термопары; 9 — слои поролона

В установке ИТ-7С устанавливают такие значения температуры нагревателя и холодильника, чтобы перепад температуры на лицевых гранях исследуемого образца составлял 5...7 К, а средняя температура образца соответствовала необходимой температуре измерения.

После установления стационарного теплового режима регистрируют значения разницы температуры, плотности теплового потока через образец и вычисляют значение коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия по формуле:

$$\lambda_{\text{ПОК}} = h_{\text{ПОК}} \cdot (\Delta T / q_{\text{СР}} - R_{\text{СТ}})^{-1}, \quad (1)$$

где $h_{\text{ПОК}}$ — толщина слоя покрытия;

ΔT — разница значений температуры на рабочих поверхностях образца;

$q_{\text{СР}}$ — средняя плотность теплового потока через образец;

$R_{\text{СТ}}$ — тепловое сопротивление стеклянной подложки.

По данной методике установке ИТ-7С проведены экспериментальные исследования теплопроводности нескольких типов красок и мастик.

Измеренные значения коэффициента теплопроводности для исследованных покрытий лежат в диапазоне 0,05...0,13 Вт/(м·К), то есть соответствуют теплопроводности обычных теплоизоляционных материалов и не противоречат расчетным данным для пористой акриловой смолы.

Теплозащитные свойства тонких покрытий характеризуются не только коэффициентом теплопроводности, но терморрадиационными характеристиками (ТРХ) поверхности. Для теплообмена между поверхностями с температурой до нескольких сотен градусов наиболее важной ТРХ является коэффициент эмиссии (степень черноты) — отношение количества энергии, излучаемой поверхностью к энергии, излучаемой абсолютно черным телом с той же температурой. Стекла с энергоэффективными покрытиями обычно характеризуют интегральным полусферическим коэффициентом эмиссии, который для обычного оконного стекла составляет 0,837, а для стекол с низкоэмиссионным покрытием — менее 0,12. Методы расчета теплозащитных свойств многослойных светопрозрачных конструкций достаточно хорошо разработаны, действуют соответствующие стандарты [9, 10], на основе которых разработаны программные пакеты, позволяющие рассчитывать сопротивление теплопередаче (или обратную величину — коэффициент теплопередачи) на основе данных о свойствах применяемых материалов. В Украине применяют низкоэмиссионное стекло как отечественного, так и зарубежного производства, причем отсутствие на данный момент единой методики определения ТРХ энергоэффективных стекол и покрытий приводит к расхождениям в определении их свойств, а иногда и к целенаправленному декларированию высококачественных характеристик с целью рекламы в сугубо коммерческих целях. Известные методы и приборы для измерения ТРХ предназначены, как правило, для работы в видимом и ближнем ИК-диапазоне, что ограничивает их широкое применение для измерения теплозащитных характеристик энергоэффективных стекол и покрытий.

В настоящее время в Украине действует ряд нормативных документов [9—11], в которых регламентирована методика определения ТРХ энергоэффективных стекол оптическим способом. Согласно этой методике для 30 рекомендованных значений длины волны в диапазоне 5,5...50,0 мкм с применением специализированного прибора (ИК-спектрофотометра Фурье) измеряют спектральные коэффициенты отражения при средней температуре 283 К, после чего рассчитывают нормальный коэффициент отражения как их среднее арифметическое. Используя нормальный коэффициент отражения, определяют нормальный коэффициент эмиссии, а затем проводят пересчет в интегральные полусферические величины с использованием рекомендованных эмпирических коэффициентов. Собственная приборная база для проведения таких исследований в Украине отсутствует, а стоимость же ИК-спектрофотометра импортного производства со спектральным диапазоном до 50 мкм составляет несколько сотен тысяч гривен. Вследствие длительности и дороговизны подобных исследований проводят их, как правило, один раз при сертификации нового типа энергоэффективного стекла при уже отработанной технологии производства или вообще используют литературные данные для близких аналогов. В ИТТФ НАНУ разработан калориметрический метод и

соответствующий прибор для определения ТРХ стекол [11, 12]. Однако, пока этот прибор также не получил достаточного распространения.

Методика измерения коэффициента эмиссии поверхности

Для проведения измерений ТРХ энергоэффективных покрытий на установке ИТ-7С формируют опытный образец (рис. 3) в виде блока (пакета) из стекол с воздушным промежутком заданной величины $h_{\text{ВОЗД}}$. Стекла располагают параллельно одно к другому, при этом стороны с покрытием должны быть внутри, то есть обращены друг к другу. Пакет стекол устанавливают в измерительную ячейку теплового блока установки ИТ-7С и задают значения температуры нагревателя $T_{\text{НАГР}}$ и холодильника $T_{\text{ХОЛ}}$ блока таким образом, чтобы перепад температуры на поверхностях опытного пакета составлял приблизительно 10 К. В стационарном режиме измеряют разницу температур на верхней и нижней поверхностях блока стекол и плотность теплового потока, проходящего сквозь этот блок.

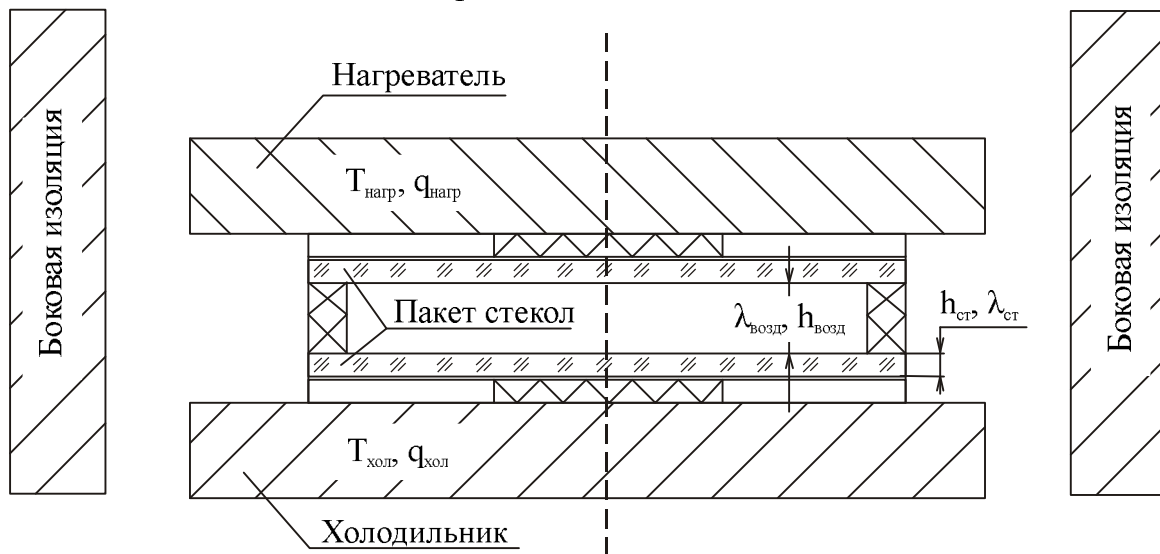


Рис. 3. Схема размещения опытного пакета в измерительной ячейке теплового блока установки ИТ-7С

На основании проведенных измерений рассчитывают тепловое сопротивление пакета стекол по формуле:

$$R_{\text{ПАК}} = \frac{\Delta T}{q_{\text{СР}}} = \frac{T_{\text{НАГР}} - T_{\text{ХОЛ}}}{0,5 \cdot (q_{\text{НАГР}} + q_{\text{ХОЛ}})}. \quad (2)$$

С другой стороны, учитывая тепловое сопротивление самих стекол и теплообмен в воздушном зазоре, тепловое сопротивление блока стекол составляет:

$$R_{\text{ПАК}} = 2R_{\text{СТ}} + \left(\frac{1}{R_{\text{ВОЗД}}} + \frac{1}{R_{\text{РАД}}} \right)^{-1} = \frac{2h_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \left(\frac{\lambda_{\text{ВОЗД}}}{h_{\text{ВОЗД}}} + 4\varepsilon_{\text{ГР}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{СР}}^3 \right)^{-1}, \quad (3)$$

где тепловое сопротивление стекла и воздушного зазора равны, соответственно:

$$R_{\text{СТ}} = h_{\text{СТ}} / \lambda_{\text{СТ}}, \quad R_{\text{ВОЗД}} = h_{\text{ВОЗД}} / \lambda_{\text{ВОЗД}}, \quad (4)$$

а радиационная составляющая теплового сопротивления воздушного зазора составляет:

$$R_{\text{РАД}} = \left(4\varepsilon_{\text{ПР}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{СР}}^3 \right)^{-1}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\text{ПР}}$ — приведенный коэффициент эмиссии пакета;

$T_{\text{СР}} = 0,5 \cdot (T_{\text{НАГР}} + T_{\text{ХОЛ}})$ — среднее значение температуры пакета, К;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — постоянная Стефана-Больцмана.

Из выражений (2) и (3) получим формулу для расчета $\varepsilon_{\text{ПР}}$:

$$\varepsilon_{\text{ПР}} = \left[\left(\frac{\Delta T}{q_{\text{СР}}} - \frac{2h_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} \right)^{-1} - \frac{\lambda_{\text{ВОЗД}}}{h_{\text{ВОЗД}}} \right] / 4\sigma \cdot T_{\text{СР}}^3. \quad (6)$$

Используя полученное значение приведенного коэффициента эмиссии пакета и учитывая, что для двух бесконечных параллельных пластин справедливым является выражение [4]

$$\varepsilon_{\text{ПР}} = \left(2\varepsilon_{\text{ПОК}}^{-1} - 1 \right)^{-1}, \quad (7)$$

рассчитывают коэффициент эмиссии поверхности энергоэффективного стекла (покрытия) по формуле:

$$\varepsilon_{\text{ПОК}} = 2 \cdot \left(\varepsilon_{\text{ПР}}^{-1} + 1 \right)^{-1}. \quad (8)$$

Апробация методики проведена путем исследования чистых прозрачных и затененных стекол, а также стекол с низкоэмиссионным мягким (i-стекло) и жестким (k-стекло) покрытием с варьированием толщин стекла и воздушной прослойки в опытном пакете. Для чистых оконных стекол найденные значения коэффициента эмиссии составляют 0,838...0,843, для i-стекла — 0,055...0,062, для k-стекла — 0,182...0,188. Полученные данные соответствуют справочным и сертификационным данным для низкоэмиссионных стекол в пределах погрешности измерений.

С применением описанной методики измерен коэффициент эмиссии некоторых «теплоизоляционных» красок. При этом в качестве значения теплового сопротивления стекла $R_{\text{СТ}}$ принимается суммарное сопротивление стекла с покрытием. Значения коэффициента эмиссии для исследованных красок — 0,82...0,87.

Методика измерения коэффициента поглощения солнечного излучения A_s

Часто одной из основных задач покрытий конструкций, оборудования и зданий является защита от нагрева солнечным излучением. Покрытия, отражающие солнечное излучение, используются в аэрокосмической отрасли, для защиты рефрижераторов, газопроводов и газгольдеров, зданий и сооружений в регионах с высокой инсоляцией. Основная доля энергии солнечного излучения приходится на ближний инфракрасный, видимый и ультрафиолетовый спектральные диапазоны. ТРХ материалов могут

существенно зависеть от спектрального диапазона излучения, поэтому характеристики солнцезащитных покрытий нужно определять при воздействии излучения близкого по спектру к солнечному.

Коэффициент поглощения солнечного излучения A_S определяется как отношение поглощенной радиационной энергии к полной энергии падающего солнечного излучения. Предлагаемая схема размещения приборов при измерении A_S представлена на рис. 4.

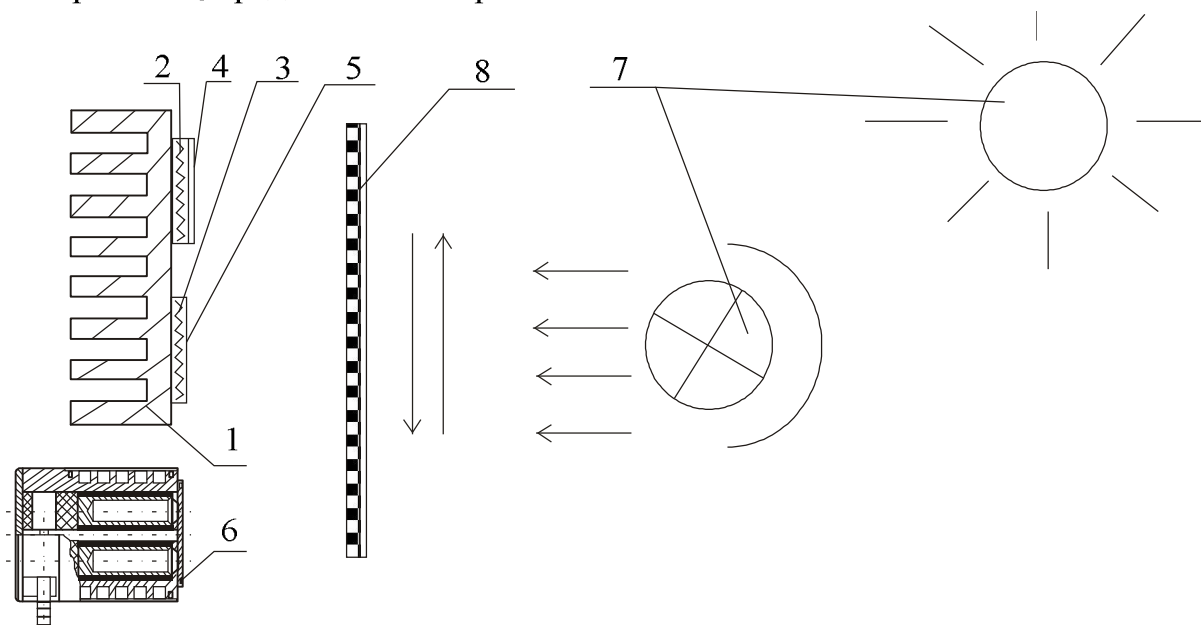


Рис. 4. Схема размещения приборов при измерении коэффициента поглощения солнечного излучения A_S : 1 — термостатированное основание; 2, 3 — преобразователи теплового потока (ПТП); 4 — образец исследуемого покрытия; 5 — образец покрытия с известным коэффициентом поглощения солнечного излучения; 6 — абсолютный полостной приемник излучения; 7 — источник излучения, по спектру соответствующий излучению Солнцу; 8 — подвижный экран с отражающим покрытием

На термостатируемом теплопроводном основании 1 размещены преобразователи теплового потока (ПТП) 2 и 3 [13, 14], на один из которых нанесен образец исследуемого покрытия 4 с неизвестным коэффициентом поглощения A_{SX} , а на другой — образец покрытия 5 с известным коэффициентом поглощения солнечного излучения A_{SO} . В случае отсутствия покрытия с известным коэффициентом поглощения солнечного излучения дополнительно может быть применен абсолютный полостной приемник солнечного излучения 6, например, радиометр РАП-12СР [15], позволяющий провести прямые измерения плотности потока излучения. Полостной приемник солнечного излучения устанавливается так, чтобы его входная диафрагма располагалась в той же плоскости, что и исследуемое покрытие. Образцы покрытий и радиометр подвергаются действию излучения от источника 7, в качестве которого может быть применено либо непосредственно Солнце, либо имитатор солнечного излучения. Использование для экспозиции Солнца возможно только при ясной безоблачной погоде, а также необходимо корректировать положение приемников излучения в зависимости от видимого движения диска Солнца по небосводу. При использовании имитатора солнечного излучения,

например, на базе ксеноновых ламп с температурой около 6000°С, необходимо обеспечить равномерное поле потока излучения на рабочих поверхностях применяемых приборов. При использовании любого типа источника излучения необходимо минимизировать воздействие на приемники переотраженного от окружающих объектов излучения или излучения нагретых тел. Перед экспонируемыми приборами располагают подвижный экран с отражающим покрытием δ , позволяющий попеременно подвергать приемники воздействию излучения и закрывать от него.

Измерения проводят методом поочередной смены солнечного облучения и затенения с помощью подвижного экрана δ . Измеряют сигналы преобразователей теплового потока и радиометра при затенении, а затем, убирая подвижный экран, воздействуют на приемники солнечным излучением и также измеряют выходные сигналы преобразователей. Полагаем, что при затенении тепловой поток через преобразователи теплового потока определяется конвективным теплообменом с окружающей средой и радиационным теплообменом с окружающими телами — собственным излучением и падающим от окружающих тел радиационным потоком $q_{\text{ПАД}}$. При воздействии солнечного излучения к указанным выше составляющим теплообмена добавляется поглощенное солнечное излучение. Для результатов измерений с помощью преобразователя, на который нанесено исследуемое покрытие, справедливы следующие равенства:

для затененного состояния:

$$q_{T1} = a_1 \cdot q_{\text{ПАД}} - \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{T1}^4 + \alpha_K \cdot (T_{\text{ОС}} - T_{T1}); \quad (9)$$

для облученного состояния:

$$q_{\text{ОБЛ}} = A_{\text{СХ}} \cdot q_S + a_1 \cdot q_{\text{ПАД}} - \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{ОБЛ}}^4 + \alpha_K \cdot (T_{\text{ОС}} - T_{\text{ОБЛ}}), \quad (10)$$

где q_{T1} , $q_{\text{ОБЛ}}$ — тепловые потоки через ПТП при затенении и при облучении;

q_S — плотность потока солнечного излучения;

T_{T1} , $T_{\text{ОБЛ}}$ — температура поверхности покрытия при затенении и при облучении;

$T_{\text{ОС}}$ — температура окружающей среды;

a_1 — коэффициент поглощения (для теплообмена при низких температурах) поверхности покрытия;

ε_1 — коэффициент эмиссии поверхности покрытия.

Для температуры поверхности покрытия справедливы соотношения:

$$T_{T1} = T_{\text{СТ}} + R_1 \cdot q_{T1}; \quad T_{\text{ОБЛ}} = T_{\text{СТ}} + R_1 \cdot q_{\text{ОБЛ}}, \quad (11)$$

где $T_{\text{СТ}}$ — температура термостатирования основания 1 (рис.4);

R_1 — тепловое сопротивление ПТП с покрытием.

С учетом (11) и соотношения $\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \approx 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_2^3 \cdot (T_1 - T_2)$, из уравнений (9) и (10) следует:

$$(q_{\text{ОБЛ1}} - q_{\text{T1}}) \cdot \left(1 + R_1 \cdot (\alpha_k + 4\varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{T1}}^3)\right) = A_{\text{SX}} \cdot q_S. \quad (12)$$

Аналогично для ПТП, на который нанесено покрытие с известным коэффициентом A_{SO} :

$$(q_{\text{ОБЛ2}} - q_{\text{T2}}) \cdot \left(1 + R_2 \cdot (\alpha_k + 4\varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{T2}}^3)\right) = A_{\text{SO}} \cdot q_S. \quad (13)$$

Из уравнений (12) и (13) получим расчетное соотношение для определения коэффициента поглощения солнечного излучения для исследуемого образца:

$$A_{\text{SX}} = A_{\text{SO}} \frac{(q_{\text{ОБЛ1}} - q_{\text{T1}}) \cdot \left(1 + R_1 \cdot (\alpha_k + 4\varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{T1}}^3)\right)}{(q_{\text{ОБЛ2}} - q_{\text{T2}}) \cdot \left(1 + R_2 \cdot (\alpha_k + 4\varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{T2}}^3)\right)}. \quad (14)$$

В случае использования абсолютного приемника излучения — радиометра, позволяющего провести прямые измерения плотности потока солнечного излучения q_S , и в котором исключена конвективная составляющая теплообмена, расчетная формула имеет вид:

$$A_{\text{SX}} = A_p \frac{(q_{\text{ОБЛ1}} - q_{\text{T1}}) \cdot \left(1 + R_1 \cdot (\alpha_k + 4\varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{T1}}^3)\right)}{(q_{\text{Р-ОБЛ}} - q_{\text{Р-Т}})}, \quad (15)$$

где A_p — коэффициент поглощения радиометра;

$q_{\text{Р-ОБЛ}}$; $q_{\text{Р-Т}}$ — плотность потоков солнечного излучения, измеренная радиометром при облучении и при затенении.

С применением описанной методики измерен коэффициент поглощения солнечного излучения некоторых «теплоизоляционных» красок. Значения коэффициента A_S для исследованных красок — 0,05...0,09, то есть эти краски поглощают малую долю падающего солнечного излучения. Таким образом, такие краски эффективны для нанесения на оборудование, которое нужно защитить от перегрева солнечным излучением: космические аппараты, газгольдеры, крыши домов в южных регионах и тому подобное. В этом смысле краски действительно являются «энергоэффективными», потому что дают возможность экономить энергию на охлаждение и кондиционирование указанных объектов.

Выводы

Разработаны методики измерения теплопроводности, коэффициента эмиссии и коэффициента поглощения солнечного излучения тонких энергоэффективных покрытий. Для этого предложено использовать выпускаемые в Украине средства измерения, базирующиеся на применении термоэлектрических преобразователей теплового потока.

Литература

1. *Устройство* для контроля тонких энергосберегающих покрытий и результаты исследования «теплоизоляционных» красок / Л.В. Декуша, Л.И. Во-

робьев, А.Г. Мазуренко [и др.] // Оконные технологии. — 2006. — № 24. — С. 45—46.

2. *Матвиевский А.А.* Жидкокерамические теплоизоляционные покрытия: сказка о голом короле / А.А. Матвиевский, Т.Ю. Абызова, М.Г. Александрия // ССК «КРОВЛЯ и ИЗОЛЯЦИЯ» — 2010. — № 2—3 (50—51) — С. 14—17.

3. *Исаченко В.П.* Теплопередача: Учебник для вузов/ В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А. С.Сукомел. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 1981. — 416 с.

4. *Уонг Х.* Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Справочник / Х. Уонг; пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1979. — 216 с.

5. *Конструкції будівель і споруд.* Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. — [Чинні від 2007-04-01] / Мінбуд України. — К.: Укрархбудінформ, 2006. — 65 с. — (Державні будівельні норми України).

6. *Тепловая изоляция* оборудования и трубопроводов : СНиП 2.04.14-88 / Госстрой России. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. — 28 с.

7. *Теплоізоляція.* Визначення теплового опору та пов'язаних із ним характеристик в усталеному режимі приладом із перетворювачем теплового потоку (ISO 8301:1991, IDT) : ДСТУ ISO 8301:2007. — [Чинний від 2009-01-01]. — К.: Держспоживстандарт, 2009. — (Національний стандарт України).

8. *Установка* для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С / З. Бурова, Л. Воробйов, Л. Декуша [та ін.] // Метрологія та прилади: Науково-виробничий журнал. — Харків, 2009. — № 6 — С. 9—15. — ISSN 2307-2180.

9. *Скло будівельне.* Методика визначення коефіцієнта теплопередавання багат шарових конструкції (EN 673:1997, IDT) : ДСТУ EN 673:2009 — [Чинний від 2012-01-01]. — К.: Держспоживстандарт, 2012. — (Національний стандарт України).

10. *Стекло* строительное. Расчет коэффициента теплопередачи U в стационарном режиме при многослойном остеклении : ISO 10292:1994 / ISO/TC 160/SC 2. — 8 с.

11. *Будівельні матеріали.* Скло з низькоемісійним м'яким покриттям. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-228:2009 (ГОСТ 31364-2007, MOD) — [Чинний від 2010-10-01]. — К.: Держспоживстандарт, 2010. — (Державний стандарт України).

12. *Установка* для прямого измерения интегральных полусферических терморрадиационных характеристик энергоэффективных стекол и покрытий ИТРС-1 / Декуша Л.В., Грищенко Т.Г. [и др.] // «Оконные технологии», 2006. — № 23. — С. 36—39.

13. *Енергозбереження.* Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови: ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98)

14. *Грищенко Т.* Перетворювачі теплового потоку / Т. Грищенко, Л. Декуша, Л. Воробйов // Метрологія та прилади: Науково-виробничий журнал. — Харків, 2009. — № 1 — С. 17—21. — ISSN 2307-2180.

15. *Прилад* для дослідження надходження сонячної енергії на похилий геліоколектор / Б.І. Басок, Л.І. Воробйов, Л.В. Декуша [та ін.] // Промыш-

ленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал.— К., 2013. — Т. 35. — № 5. — С. 78—87. — ISSN 0204-3602.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТОНКИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ
ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

А.Г. Мазуренко

Национальный университет пищевых технологий

З.А. Бурова, Л.И. Воробьев, Л.В. Декуша

Институт технической теплофизики НАН Украины

В статье рассмотрены методики измерения теплопроводности, коэффициента эмиссии и коэффициента поглощения солнечного излучения тонких энергоэффективных покрытий и предложено использовать для этого выпускаемые в Украине средства измерения — установку ИТ-7С для измерения теплопроводности, преобразователи теплового потока и радиометр РАП-12СР. Приведены результаты измерения теплофизических свойств некоторых покрытий — теплоизоляционных красок и энергоэффективных стекол.

Ключевые слова: *теплофизические свойства, теплоизоляционные краски, энергоэффективные стекла, преобразователи теплового потока, теплопроводность, коэффициент эмиссии, коэффициент поглощения солнечного излучения.*