

УДК 536.2.083

Г.А. ФРОЛОВ¹, Д.В. БОРОВИК¹, А.Д. КОЛОТИЛО¹, А.Л. ЛАМЕКО²,
Е.В. ОЛИГОВ², В.Г. ТИХИЙ³, И.А. ГУСАРОВА³

¹ Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

² НИИ прецизионных измерений при Укрметртестстандарт, Украина

³ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛО- И ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Предложена установка для определения теплопроводности и температуропроводности низкотеплопроводных материалов, в том числе сотовых конструкций, в диапазоне температур от минус 100 до +300 °С при давлении от 10^5 до 10^{-3} Па. Установка позволяет определять тепло- и температуропроводность на образцах диаметром 120 мм и толщиной до 40 мм. Измерения проводятся в нестационарном режиме при постоянной температуре поверхности, которая обеспечивается специальной системой контроля и управления. На примере определения эффективной теплопроводности образца сотовой панели при температурах эксплуатации показана применимость предложенного метода измерений.

Ключевые слова: сотовая теплоизоляция, нихромовый нагреватель, автоматический режим, активная защита, факторы космического пространства, теплоприемник, термopара, измерительная ячейка

Введение

В последнее время широкое применение, в том числе в авиационной и ракетно-космической технике, находят сотовые материалы, представляющие собой трехслойную конструкцию. В качестве наполнителя в такой конструкции часто используются бумажные или алюминиевые соты [1]. Вместе с низким удельным весом и хорошими прочностными свойствами, они обладают также низкой теплопроводностью и могут применяться, например, для изготовления аэродинамических обтекателей ракет и элементов конструкций космических аппаратов. Если исследованию прочностных характеристик таких материалов посвящено достаточно большое количество работ, то их теплофизические характеристики изучены недостаточно и часто определяются расчетным методом. В условиях орбитального полета такие материалы должны работать в вакууме при термоциклировании в диапазоне температур от минус 100 °С до +150 °С. Поэтому определение теплофизических характеристик при моделировании этих факторов может накладывать серьезные ограничения на конструкцию и размеры, по крайней мере, измерительной ячейки установки.

В настоящее время разработано большое количество методов и установок для определения эффективных коэффициентов теплопроводности для широкого круга материалов. Наиболее устоявшаяся их классификация: стационарные и нестационарные.

Первая группа отличается хорошей степенью изученности, высокой повторяемостью результатов и исторически была основной для практического применения, например [2]. Это позволило занять ей лидирующие позиции в качестве эталонного метода во многих ГОСТ и стандартах теплопроводности.

Вторая группа в силу усложнения испытательного оборудования, повышения требований к методическому обеспечению (в первую очередь расчетной части) долгое время оставалась в тени и на практике мало применялась. Однако с распространением ЭВМ, развитием численных методов и доступностью средств сопряжения ЭВМ с различными приборами, начинают шире применяться и нестационарные методы. Как правило, они требуют меньшего времени для поведения измерений, обеспечивают высокую точность регистрации температурных полей и низкую чувствительность к случайным погрешностям. При таких измерениях упрощается конструкция измерительных блоков, так как не требуется поддержание стационарного режима в течение всего времени эксперимента.

Существуют сложные и дорогие комплексы, которые дают возможность одновременного определения теплопроводности и теплоемкости, в том числе и в вакууме, с помощью обратных задач теплопроводности (ОЗТ) [3]. Однако они часто требуют установки термopар в образце и применения тепломера, что очень сложно выполнить для сотовых конструкций.

Кроме того, из-за неустойчивости численного решения ОЗТ погрешности таких методов могут достигать 25% [4].

Достаточно полный анализ стационарных и нестационарных методов измерений теплопроводности выполнен в [5]. При разработке методики и установки для измерения теплопроводности низкотеплопроводных материалов в данной работе за основу взят метод, описанный в [6] и реализованный на установке ИТ-λ-400.

Для оценки температуропроводности образцов в работе предлагается использовать закономерности автоматического режима прогрева. В классической теории теплопроводности считается, что для установления такого режима необходимо, чтобы температура внешней, нагреваемой поверхности, сохранялась постоянной, отсутствовал унос, и теплофизические свойства материала не зависели от температуры. В то же время в [7] на примере многочисленных экспериментальных исследований коксующихся теплозащитных материалов и кварцевой стеклокерамики было доказано, что даже в условиях абляции после достижения постоянной температуры поверхности путь, пройденный изотермами температурного поля, включая изотерму коксования, прямо пропорционален $\sqrt{\tau}$ (τ – время нагрева). При этом теплофизические характеристики материала могут достаточно сильно зависеть от температуры, поскольку после достижения постоянной температуры поверхности в слое материала выше контролируемой изотермы T^* они практически не изменяются. Это дает основание использовать закономерности автоматического режима прогрева для определения температуропроводности образцов с переменными теплофизическими характеристиками.

1. Методы измерений и установка

1.1. Применение закономерностей автоматического режима прогрева для определения температуропроводности

Решение линейного уравнения теплопроводности для полупространства [8]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (1)$$

при $T_w = \text{const}$ имеет вид

$$\theta^* = \frac{T^* - T_0}{T_w - T_0} = \operatorname{erfc}\left(\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}\right). \quad (2)$$

где T – температура;

τ – время;

a – температуропроводность;

y – координата;

T_w – температура нагреваемой поверхности;

θ^* – безразмерная температура;

T^* – температура контролируемой изотермы;

T_0 начальная температура.

Отсюда можно записать

$$y = K\sqrt{a\tau}, \quad (3)$$

где температурный коэффициент K определяется выражением:

$$\theta^* = \frac{T^* - T_0}{T_w - T_0} = \operatorname{erfc}\left(\frac{K}{2}\right). \quad (4)$$

Решение (2) получено для полубесконечного тела, когда при $y \rightarrow \infty$ $T = T_0$. Поэтому длительность эксперимента не должна превышать времени достижения тепловой волны тыльной поверхности образца.

С этой целью можно установить одну термопару внутри образца, а с помощью другой термопары контролировать начало изменения температуры на тыльной поверхности. Если это обеспечить трудно (сотовые конструкции), применяют установку датчика температуры между двумя одинаковыми образцами. В этом варианте также надо фиксировать момент времени, соответствующий началу изменения температуры тыльной поверхности первого образца. Хотя чувствительность хромель-копелевых термопар составляет 0,001 градуса, возникают проблемы с контролем времени достижения такой температуры, и в этом случае расчет температурного коэффициента K по (4) не обеспечивает необходимой точности.

Эксперименты показали, что при установке датчика температуры между двумя одинаковыми образцами можно ограничиться повышением температуры тыльной поверхности первого образца на ~0,5 градуса, что вполне достаточно для надежного определения времени ее установления. Это соответствует безразмерной температуре $\theta^* \sim 0,01$, при которой $K = 3,62$.

1.2. Определение теплопроводности низкотеплопроводных материалов при постоянной температуре поверхности

Тепловой поток, подводимый к фронтальной поверхности образца от нагревателя, поглощается образцом и теплоприемником практически без потерь при условии, что теплоприемник и боковые поверхности образца адиабатически изолированы.

Как показано в [6], можно пренебречь тепловым потоком, поглощаемым образцом при условии, если:

– объемная теплоемкость образца в 3–5 раз меньше объемной теплоемкости теплоприемника;

– теплопроводность образца в 10–20 раз меньше теплопроводности теплоприемника;

– тепловое сопротивление образца в 10–20 раз превышает величину возможных контактных сопротивлений на границах образца с нагревателем и теплоприемником;

темп нагрева образца и теплоприемника не более 0,1 К/с;

перегрев теплоприемника относительно окружающей среды не превышает 10–20 К;

перепады температуры в теплоприемнике малы по сравнению с перепадом температуры в образце;

скорость разогрева теплоприемника постоянна и остается практически одинаковой во всех его точках;

перепад температур в образце остается небольшим (10–30 К).

Для наилучшего приближения к перечисленным условиям, стараются теплоприемник и нагреватель изготавливать из меди, теплопроводность которой на порядки превышает теплопроводность измеряемых образцов.

Таким образом, если выполняются условия [6] и тепловой поток, подводимый к образцу от нагревателя, приблизительно равен тепловому потоку поглощаемому теплоприемником, то температурное поле в образце близко к стационарному и можно применить формулу для плоской пластины:

$$-\lambda_o \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\lambda_o}{\delta_o} (T_w - T_{\Pi}) \approx \rho_M c_M h_M \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right), \quad (5)$$

где λ_o , ρ_o , δ_o – теплопроводность, плотность и толщина образца;

ρ_M , c_M , h_M – плотность, удельная теплоемкость и высота медного теплоприемника;

T_{Π} – температура теплоприемника.

Тогда выражение для определения теплопроводности принимает вид

$$\lambda_o \approx \frac{\rho_M c_M h_M \delta_o \Delta T}{T_w - T_{\Pi} \Delta \tau}, \quad (6)$$

где $\Delta T/\Delta \tau$ – темп разогрева теплоприемника.

Как будет показано ниже, при выполнении условия $T_w = \text{const}$ и ограничении времени эксперимента участком разогрева теплоприемника с постоянной скоростью (постоянный тепловой поток) расчет теплопроводности по (6) обеспечивает достаточную точность полученных значений.

1.3. Конструкция установки для определения тепло- и температуропроводности

Установка включает следующие основные системы:

1 Вакуумную систему, в состав которой входят вакуумная камера, форвакуумный насос 2НВР-5ДМ, турбомолекулярный насос НВТ-340-028-А с блоком питания БП-267,

вакуумные клапаны КВУМ-40Л, прибор для контроля вакуума в диапазоне от 10^5 до 10^{-4} Па SEO-VAC.

2 Систему подачи жидкого и газообразного азота, включающую сосуд Дюара, трубопроводы, натекаль и теплоизоляцию.

3 Компьютеризированную систему контроля и управления температурами основного и компенсирующего нагревателей.

4 Измерительную ячейку, в которой расположены образец, основной и компенсирующий нагреватели, теплоприемник и высокотемпературная теплоизоляция.

При измерениях температуропроводности вместо теплоприемника применяется датчик температуры, изготовленный с использованием круга из медной фольги с зачеканенной термопарой.

Компьютеризированная система автоматического управления экспериментом предназначена для измерения и управления температурами основного и компенсирующего нагревателей (рис. 1).

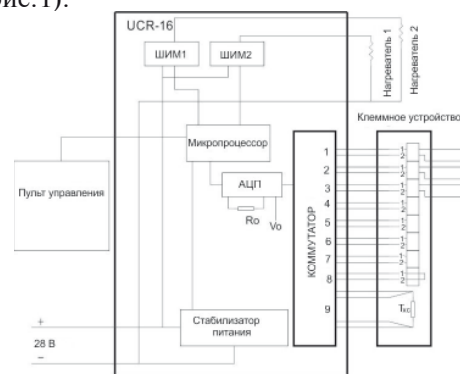


Рис. 1. Структурная схема системы управления экспериментом:
ШИМ1, ШИМ2 – широтно-импульсный модулятор

Система создана на базе многоканального термометра UCR-16, разработанного в НИИ прецизионных измерений при ГП «Укрметрестандарт», и состоит из измерительного модуля, микропроцессора, широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) для регулировки мощности на нагревателях (дискретность ШИМа составляет меньше чем $3 \cdot 10^{-5}$ отн.ед.) и стабилизаторов питания. Измерительный модуль может принимать сигналы от семи термопар и одного термометра сопротивления. Термопары подключаются через клеммное устройство, в котором расположены винтовые соединения и термометр сопротивления. Каналы с 1 по 7 включительно предназначены для подключения термопар, 8 канал – переключатель для калибровки нуля измерительного модуля, 9 канал – термометр T_{xc} (ТСМ100). Настройка режимов работы осуществляется с помощью пульта управления. Информация отображается на том же пульте и дисплее компьютера.

Измерительная ячейка выполняется в двух вариантах. Схема ячейки показана на рис.2.

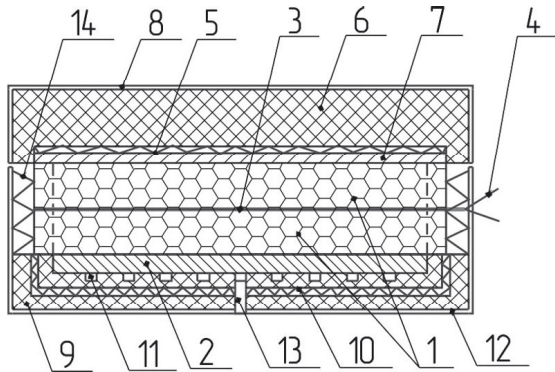


Рис.2. Схема измерительной ячейки:

- 1 – образец (в варианте измерения температуропроводности состоит из двух пластин); 2 – теплоприемник; 3 – датчик температуры, изготовленный из медной фольги; 4 – хромель-копелевая термопара; 5 – спираль основного нагревателя; 6 – теплоизоляция; 7 – медная пластина основного нагревателя; 8 – крышка блока нагревателя; 9 – теплоизоляция теплоприемника; 10 – спираль компенсирующего нагревателя; 11 – каналы для газообразного азота; 12 – корпус измерительной ячейки; 13 – подача газообразного азота; 14 – боковая теплоизоляция образца

В варианте измерения температуропроводности теплоприемник и компенсирующий нагреватель не используются.

Теплоизоляция измерительной ячейки изготовлена из материала ТЗМК-10. Этот материал применялся для теплозащиты космического корабля «Буран» и предназначен для работы в диапазоне от минус 150 до + 1250 °С. Поэтому можно гарантировать его надежную работу в предлагаемом диапазоне температур. Спирали основного 5 и компенсирующего 10 нагревателей изготовлены из термостатированного пластинчатого нихрома. Для охлаждения измерительной ячейки газообразным азотом в спирали компенсирующего нагревателя и теплоизоляции предусмотрено отверстие 13 и выполнены каналы 11.

Активная теплоизоляция теплоприемника обеспечивается компенсирующим нагревателем 10 и теплоизоляцией 9. Диаметр основного нагревателя равен размеру образца и составляет 120 мм. В тоже время размер теплоприемника 100 мм и равен зоне измерения. Такое конструктивное решение позволяет приблизить профили температур боковой поверхности образца к профилю температуры в измерительной зоне. Это обеспечивает защиту боковых поверхностей области измерения горячей охранной зоной [9]. Кроме этого, для предотвращения конвективного и радиационного теплопереноса в зазоре между образцом и корпусом также помещается специальная теплоизоляция 14.

Поскольку методика предусматривает проведение эксперимента при постоянной температуре на поверхности образца, блок нагревателя должен прижиматься к образцу только после установления на нем заданной температуры. При проведении эксперимента в условиях вакуума и низких температур это делается автоматически с помощью специального устройства, обеспечивающего заданную силу прижима.

Небольшой перепад температур по толщине образца (до 30 К) необходим для выполнения одного из условий [6]. Его можно достигнуть предварительным прогревом до заданной температуры теплоприемника и образца с помощью компенсирующего нагревателя.

2. Результаты исследования температуропроводности и теплопроводности образцов

Поскольку основная задача данной работы состояла в исследовании предложенной установки, для экспериментов были выбраны материалы с известными теплофизическими характеристиками: полиметилметакрилат, фторопласт-4 и пеностекло. Из этих материалов были изготовлены образцы диаметром 120 мм и толщиной от 12 до 30 мм. Эксперименты в основном проводились при одинаковой температуре поверхности 70 °С. Поэтому, найденные значения теплофизических характеристик следует относить к среднеинтегральной температуре (температура отнесения) равной $(T_w + T_0)/2$.

Для проверки методики измерения температуропроводности в качестве эталонного образца был выбран полиметилметакрилат [10], с плотностью 1190 кг/м³ и теплоемкостью 1460 Дж/(кг·К) [11], из которого изготовили образцы диаметром 120 мм и толщиной 12, 19 и 23 мм. Было выполнено 9 измерений. Значение теплопроводности, рассчитанное с помощью найденного значения температуропроводности, составило 0,194±10%. Согласно [10] при 50 °С коэффициент теплопроводности полиметилметакрилата равен 0,196 Вт/(м·К).

Было проведено несколько измерений образцов фторопласта-4 толщиной 21,4 мм. Получено среднее значение температуропроводности 0,108·10⁻⁶ м²/с. Откуда при плотности этого материала 2200 кг/м³ и теплоемкости 1040 кДж/(кг·К) получается значение теплопроводности 0,25±15% Вт/(м·К), что согласуется с данными при комнатной температуре [11].

Для исследования теплопроводности по двум описанным методикам выбрано пеностекло, из которого были изготовлены образцы диаметром 120 мм и толщиной 13,5, 20 и 29,5 мм. Проведено от 5 до 10 измерений для каждого образца. Для определения теплопроводности по

закономерности (3) выполнено 10 измерений на образце толщиной 20 мм. Теплоемкость пеностекла, согласно [12], была принята 840 кДж/(кг·К). Плотность каждого образца определялась путем взвешивания и измерения объема. Для образца толщиной 13,5 мм она составила 180 кг/м³, для 20 мм – 200 кг/м³ и для 29,5 мм – 190 кг/м³. Полученные результаты представлены в таблице 1. Случайная ошибка оценена при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 1 – Теплопроводность пеностекла

Толщина образца, мм	λ , Вт/(м·К)	
	Автомодельный режим (3)	Формула (6)
13,5	-	0,065 ±5%
20,0	0,072 ±3%	0,071 ±3%
29,5	-	0,066 ±9%

Для пеностекла, изготовленного ОАО «Гомельстекло» по ГОСТ 30108-94, значения коэффициента теплопроводности при комнатной температуре должны находиться в диапазоне 0,035...0,070 Вт/(м·К), указанном производителем материала. Для измерений, проведенных на образце плотностью 200 кг/м³ (толщина 20 мм) при температуре поверхности 30 °С, получено значение $\lambda = 0,06$ Вт/(м·К). Учитывая, что почти во всех экспериментах температура поверхности была 70 °С, можно считать, что найденные значения также соответствуют паспортным данным. При этом прослеживается зависимость коэффициента теплопроводности от плотности образца: 180 кг/м³ – 0,065 Вт/(м·К); 190 кг/м³ – 0,066 Вт/(м·К); 200 кг/м³ – 0,071 Вт/(м·К).

Была проведена проверка применимости (6) для определения теплопроводности материалов с высокой объемной теплоемкостью (кварцевого стекла, полиметилметакрилата). Полученные значения теплопроводности значительно отличаются от данных [10]. Однако с учетом тепла, поглощенного в образцах, для оценки которого была продифференцирована (2):

$$q_0 = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a \tau}} e^{-\frac{\delta^2}{4a\tau}} (T_w - T_0), \quad (7)$$

средние значения коэффициентов теплопроводности, рассчитанные для суммарного теплового потока ($q_0 + q_{\text{пл}}$) по (6) составили:

– для образцов кварцевого стекла толщиной 15 и 20 мм – 1,4 Вт/(м·К);

– для образцов полиметилметакрилата толщиной 12, 19 и 23 мм – 0,24 Вт/(м·К).

Это хорошо согласуется с данными [10] (1,35 и 0,25 Вт/(м·К), соответственно).

Для оценки значения времени нагрева и температуры теплоприемника брались на конце линейного участка возрастания температуры теплоприемника, а тепловой поток $q_{\text{пл}}$, поглощаемый теплоприемником, определялся по (5).

Таким образом, применимость установки для определения теплопроводности ограничена условием [6] – объемная теплоемкость образца должна быть в 3–5 раз меньше объемной теплоемкости теплоприемника.

2.1. Определение теплопроводности образцов с сотовым наполнителем

Для проверки применимости методики и установки для определения теплопроводности образцов сотовых панелей максимально возможной толщины (~ 40 мм) ГП «КБ «Южное» был представлен образец в форме цилиндра с обшивками из углепластика на основе ТС-36S (20 слоев со схемой армирования 0°; +45°; -45°; 90°), связующего ЭДТ-10П и сотового наполнителя ПСП с размером грани 2,5 мм (рис. 3).

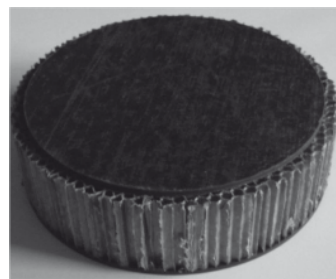


Рис. 3. Образец сотовой панели для определения коэффициента теплопроводности

Среднее значение коэффициента теплопроводности этого образца, определенное в ГП «КБ «Южное» при нормальных условиях на приборе «ИТС-1» по ГОСТ 7076-99, составило 0,073 Вт/(м·К).

Для обеспечения равномерного распределения температур в зоне измерений (100 мм) и создания горячей охранной зоны образец имел диаметр, равный диаметру основного и компенсирующего нагревателей – 120 мм.

Эксперименты выполнялись в атмосфере и в вакуумной камере. Образец размещался в испытательной ячейке между основным и компенсирующим нагревателями.

Управление температурой основного и компенсирующего нагревателей осуществлялось многоканальным термометром UCR-16 (рис.1). Поскольку сотовая панель такой конструкции предназначалась для эксплуатации при температуре до 260 °С для испытаний были выбраны такие режимы:

при атмосферном давлении – температура основного нагревателя – 50 °С и 260 °С; начальная температура теплоприемника – 28 °С и 8,3 °С;

вакуум 10⁻² мм рт. ст. – температура основного нагревателя – 260 °С; начальная температура теплоприемника – 14,6 °С и 36,8 °С.

Для проверки согласования коэффициента теплопроводности образца 3-слойной теплоизоляции, полученного при нормальных условиях, (0,073 Вт/(м·К)) первичные испытания были выполнены при температуре поверхности 50 °С и начальной температуре теплоприемника 28 °С (температура окружающей среды во время измерений).

На рисунке 4 показан пример работы компенсирующего нагревателя, который обеспечивает активную защиту теплоприемника под управлением многоканального термометра URC-16 в увеличенном масштабе.

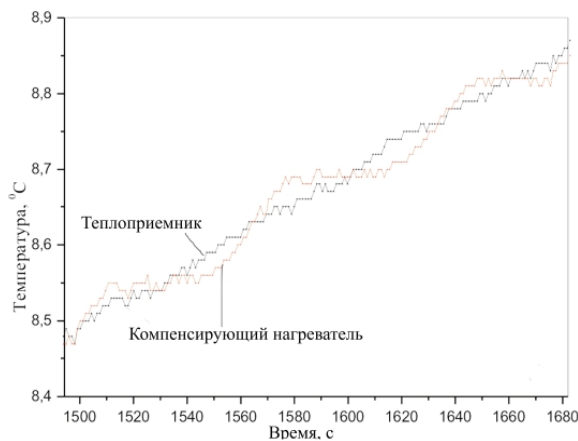


Рис.4. Сравнение температур теплоприемника и компенсирующего нагревателя

В таблице 2 приведены результаты исследований представленного образца, как при условиях эксплуатации, так и близких к нормальным. Из таблицы видно, что результаты измерений теплопроводности образца сотовой панели в диапазоне температур 28...50 °С хорошо согласуются с данными, полученными на установке ГП «КБ «Южное» ИТС-1 по ГОСТ 7076-99 в нормальных условиях. Следует отметить сильное влияние на коэффициент теплопроводности воздуха, содержащегося в сотовом заполнителе (при давлении 10⁻² мм рт.ст. его значение уменьшается более, чем в 2 раза) и заметное влияние средней температуры образца.

Таблица 2 – Теплопроводность образца сотовой теплоизоляции в различных условиях нагрева

Номер опыта	T_w , °С	T_p , °С	λ , Вт/(м·К)	Примечание
1	50	28	0,075	атмосфера
2	260	8,3	0,102	атмосфера
3	260	14,6	0,039	10 ⁻² мм рт.ст.
4	260	36,8	0,052	10 ⁻² мм рт.ст.

Заключение

1 Установка позволяет определять теплопроводность и температуропроводность образцов низкотеплопроводных материалов при температурах до + 300 °С при атмосферном давлении и в вакууме без нарушения целостности образца.

2 Значения коэффициента теплопроводности 3-слойной теплоизоляции с отношением толщины δ_0 к диаметру $D > 0,3$, полученные на установке в условиях активной теплоизоляции, хорошо согласуются с измерениями при стационарном режиме на установке ИТС-1, хотя формулу для пластины (5) рекомендуется применять при $\delta_0/D \leq 0,1$.

Литература

1. Сливинский В.И. Объективные предпосылки эффективного применения сотовых конструкций [Текст] /В.И. Сливинский, Г.В. Ткаченко, А.Н. Колоскова // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. Аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 25(2). – Х., 2001. – С. 109 –115.
2. Декуша Л.В. Новые приборы для контроля теплофизических свойств материалов ракетно-космической техники [Текст] / Л.В.Декуша, Т.Г.Грищенко, Л.И.Воробьев, З.В. Бурова, О.Л. Декуша // Космические технологии настоящее и будущее: тез. докл. III Междунар. конф. 20-22 апр. 2012 г. – Днепропетровск, 2012. – С.73-74.
3. Алифанов О.М. Автоматизированная система научных измерений для исследования перспективных теплотехнических материалов методами обратных задач теплообмена [Текст] /О.М. Алифанов, С.А. Будник, В.В. Михайлов, А.В. Ненарокомов, Д.М. Титов // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 5 – С.67-68.
4. Исаев К.Б. Теплофизические характеристики материалов в широких диапазонах температур и скоростей нагрева [Текст] / К.Б.Исаев. – К.: Вид-во «Куприянова О.О.», 2007. – 239 с.
5. Пономарев С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измере-

- ний [Текст] / С.В.Пономарев [и др.] в 2 кн. – Тамбов: Изд-во Тамб.гос.техн.ун-та, 2006. кн.1. – 204 с.
6. Волков Д.П. Приборы и методы для измерения теплофизических свойств веществ [Текст] / Д.П. Волков, В.А. Кораблев, Ю.П. Заричняк: метод. указ. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 66 с.
 7. Полежаев Ю.В. Тепловое разрушение материалов [Текст] /Ю.В. Полежаев, Г.А. Фролов; под ред. акад. НАН Украины В.В.Скорохода. – К.: Изд-во «Академперіодика», 2006. – 354 с.
 8. Лыков А. В. Теория теплопроводности [Текст]: моногр./А.В.Лыков – М.: Энергия, 1976. – 392 с.
 9. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме [Текст]. – Взамен ГОСТ7076-99. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 27 с.
 10. ГОСТ 23630.2-79. Пластмассы. Метод определения теплопроводности [Текст]. – Введ. 1.07.1981. – 9 с.
 11. Справочник по пластическим массам в 2 т. [Текст] /под ред. М.И. Гарбара, М.С. Акутина, Н.М.Егорова – М: «Химия». –1976. – Т.1. – 455 с.
 12. Теплоизоляционные изделия из пеностекла FOAMGLAS в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Рекомендации по применению с альбомом технических решений. ТР12310-ТИ.2006 [Электронный ресурс]. М.: 2006 – / База нормативной документации / Режим доступа: WWW.URL: <http://www.complexdoc.ru>.

Поступила в редакцию 01.06.2013

Г.О. Фролов, Д.В. Боровик, О.Д. Колотило, О.Л. Ламеко, Е.В. Олігов, В.Г. Тихий, І.О. Гусарова. Дослідження установки для визначення тепло- та температуропровідності при моделюванні деяких факторів космічного простору

Запропоновано установку для визначення теплопровідності та температуропровідності низькотеплопровідних матеріалів, в тому числі стільникових конструкцій, в діапазоні температур від мінус 100 до +300 °С при тиску від 10^5 до 10^{-3} Па. Установка дозволяє визначати тепло- та температуропровідність на зразках діаметром 120 мм і товщиною до 40 мм. Вимірювання проводяться у нестационарному режимі при постійній температурі поверхні, яка забезпечується спеціальною системою контролю і управління. На прикладі визначення ефективної теплопровідності зразка стільникової панелі при температурах експлуатації показана застосовність запропонованого методу вимірів.

Ключові слова: *стільникова теплоізоляція, ніхромовий нагрівач, автотельний режим, активний захист, фактори космічного простору, теплоприймач, термонара, вимірювальна комірка.*

G.A. Frolov, D.V. Borovik, A.D. Kolotilo, A.L. Lameko, E.V. Oligov, V.G. Tykhyy, I.A. Gusarova Research of installation for definition of thermal conductivity and thermal diffusivity at simulation of some space factors

Installation for definition of thermal conductivity and thermal diffusivity of low thermal conductivity materials, including honeycomb structures in the temperature range from minus 100 to 300 °C at pressure from 10^5 to 10^{-3} Pa is offered. Installation allows to define the thermal conductivity and thermal diffusivity on samples in diameter of 120 mm and thickness up to 40 mm. Measurements are spent in a non-stationary mode at constant temperature of surface which is provided by the special monitoring and managements system. It is shown the applicability of the offered method of measurements on an example of definition of the effective heat conductivity of the cellular panel sample at operation temperatures.

Key words: *honeycomb thermal insulation, nichrome heater, autotodel regime, active protection, space factors, heat receiver, thermocouple, measuring cell.*