

УДК 536.5:536.6:621.36:006.05

ДЕКУША Л.В., ВОРОБЬЕВ Л.И.,  
ГРИЩЕНКО Т.Г., МЕНДРУЛ А.А., КОВТУН С.И.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭТАЛОННОГО УРОВНЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В УКРАИНЕ

Описано створену у відділі теплометрії ІТТФ НАН України вимірювальну установку УВТ-1 та розглянуто фактори, які впливають на її точність. Оцінено метрологічні характеристики установки УВТ-1.

Описана созданная в отделе теплометрии ИТТФ НАН Украины измерительная установка УВТ-1 и рассмотрены факторы, влияющие на ее точность. Оценены метрологические характеристики установки УВТ-1.

The measuring equipment UVT-1, which is created in the department of heat measuring at the Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine is described, and factors affecting its accuracy are considered. The metrological characteristics of UVT-1 are evaluated.

$A$  – площадь ПТП;  
 $D, d$  – диаметр;  
 $E$  – электрический сигнал;  
 $f$  – площадь сечения провода;  
 $h$  – толщина;  
 $P$  – периметр;  
 $q$  – поверхностная плотность теплового потока;  
 $R$  – тепловое сопротивление;  
 $r$  – радиус;  
 $T$  – температура;  
 $W$  – электрическая мощность;  
 $\alpha$  – коэффициент теплообмена;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  
 $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана;  
 $\varepsilon$  – степень черноты;  
 $\Phi$  – тепловой поток;  
 ПТП – преобразователь теплового потока;

НСП – неисключенная систематическая погрешность;  
 СКО – среднее квадратичное отклонение.  
**Индексы нижние:**  
 ПТП – преобразователь теплового потока;  
 бок – боковой;  
 в – вспомогательный;  
 к – конвективный;  
 н – нагреватель;  
 ос – окружающая среда;  
 пэ – первичный эталон;  
 р – радиационный;  
 ср – среднеинтегральный;  
 ст – стекло;  
 х – холодильник;  
 $\Sigma$  – суммарный.

В настоящее время в качестве средств измерения теплового потока и его поверхностной плотности наиболее востребованными являются термоэлектрические преобразователи теплового потока вида вспомогательной стенки (ПТП) [1, 2], на которые в 1998 году был утвержден разработанный ИТТФ межгосударственный стандарт ГОСТ 30619-98 (ДСТУ 3756-98). В Украине, Беларуси и Российской Федерации получили широкое распространение плоские многоэлементные (батареиные) ПТП, созданные и выпускаемые в ИТТФ НАН Украины отдельными

экземплярами и малыми сериями, которые проходят индивидуальную государственную аттестацию в установленном порядке по утвержденной программе и методике МДУ 013/06-2002.

В связи с применением в измерительной практике большого числа различных ПТП возникла проблема обеспечения единства в данной области измерений. В конце прошлого столетия совместными усилиями Сибирского института метрологии системы Госстандарта СССР (СНИИМ) и ИТТФ АН УССР эта проблема оказалась частично решенной, когда были разработаны и вве-

дены в действие Государственная поверочная схема [3], установка высшей точности УВТ-53-А-88 [4] (СНИИМ), перекрывающая диапазон тепловых потоков от 10 до 2000 Вт/м<sup>2</sup> в диапазоне температур от 173 К до 373 К, и исходные образцовые средства серии КГУ (ИТТФ), перекрывающие диапазон тепловых потоков от 1000 до 10000 Вт/м<sup>2</sup> в диапазоне температур от 100 К до 500 К, для измерения поверхностной плотности теплового потока [5]. В этих установках в качестве рабочих эталонных ПТП использовались ПТП диаметром 25 мм и толщиной до 2 мм.

В ИТТФ за последние годы выполнен комплекс фундаментальных и прикладных работ по созданию метрологической аппаратуры нового поколения для обеспечения единства и достоверности измерений поверхностной плотности теплового потока. Проведенные аналитические исследования [6, 7] показали, что имеются резервы повышения точности метрологических работ в области теплоточных измерений. Результаты исследования пространственных искажений полей теплового потока при различных соотношениях размеров и характеристик ПТП, условий теплообмена и взаимного расположения ПТП и объекта, на который установлен ПТП, методов поддержания граничных условий теплообмена позволили добиться уменьшения погрешности задания и воспроизведения плотности теплового потока в 1,5...2 раза и разработать измерительную установку [8, 9], которая по точностным характеристикам соответствует современному эталонному уровню. Основным отличием созданной установки является увеличение диаметра эталонных ПТП до 60 мм и выполнение их двухзонными, т.е. имеющими рабочую чувствительную зону, расположенную в центре, и охранную зону. Обе зоны выполнены с равными теплофизическими характеристиками, при этом ширина охранной зоны ПТП равна пяти его толщинам. Это изменение позволяет успешно использовать эталонные ПТП при проведении метрологических исследований на радиационных, кондуктивных и конвективных компараторах, исключая влияние краевых эффектов на чувствительную зону.

Наличие такой установки – это основа для создания эталонной базы в области теплоточных измерений в Украине, включая разработку ее

обязательных элементов: Государственной поверочной схемы, первичного и рабочих эталонов для воспроизведения и хранения единицы данной физической величины с последующей передачей ее размера рабочим средствам измерения.

Для решения этой проблемы в ИТТФ разработан проект ДСТУ на государственную поверочную схему для контактных средств измерения поверхностной плотности теплового потока. Верхний уровень этой схемы отведен государственному первичному эталону, состоящему из эталонной измерительной установки для воспроизведения единицы плотности теплового потока и передачи ее размера с наивысшей на данный момент точностью преобразователю теплового потока, входящему в состав эталона, с целью хранения размера этой единицы. Второй уровень схемы распространяется на Рабочие эталоны. Рабочими эталонами могут быть эталонные преобразователи теплового потока (далее – ПТП-РЭ) и эталонные теплотметрические установки (далее ТУ-РЭ), которые получают размер единицы плотности теплового потока непосредственно от первичного эталона и передают его рабочим средствам измерительной техники – рабочим ПТП и другим измерителям теплового потока как методом прямых измерений, так и посредством кондуктивного, радиационного и конвективного компарирования. Третий уровень поверочной схемы занимают рабочие средства измерительной техники.

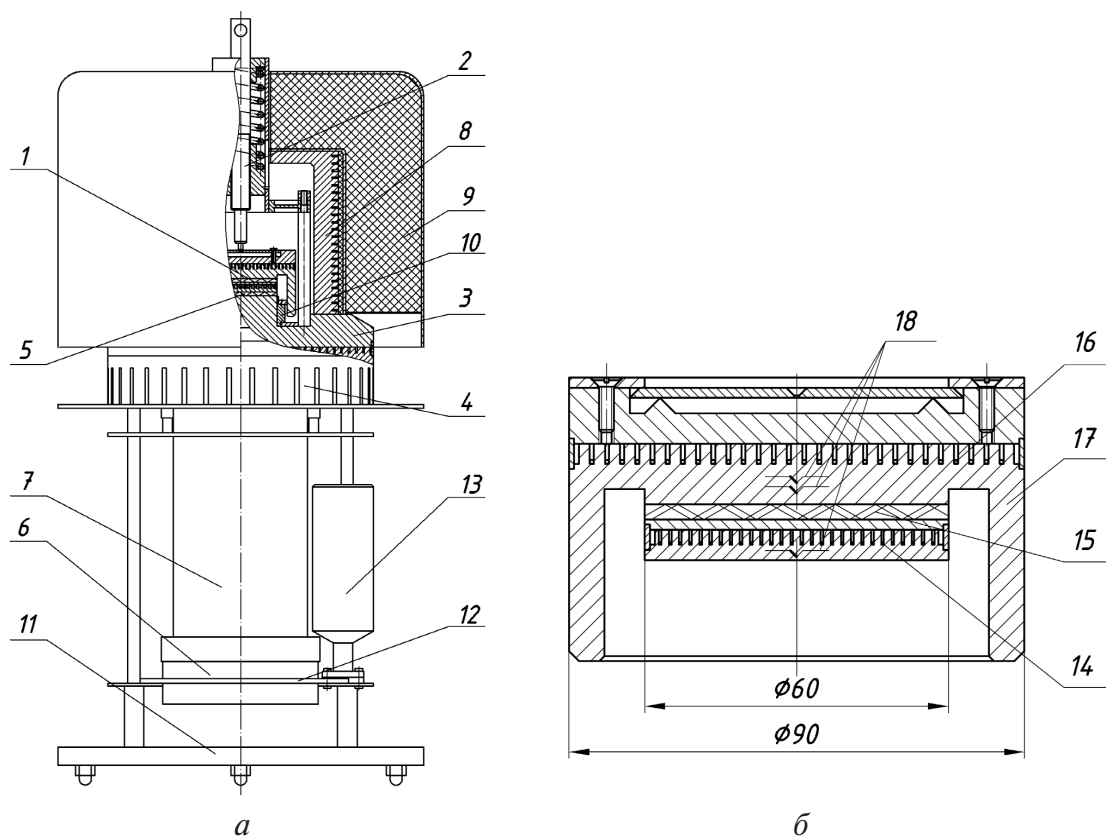
Установка УВТ-1, внешний вид которой представлен на рис. 1, предназначена для воспроизведения единицы поверхностной плотности теплового потока в диапазоне от 102 Вт/м<sup>2</sup> до 2·10<sup>4</sup> Вт/м<sup>2</sup> при значениях температуры отнесения от 300 К до 500 К и передачи размера этой единицы нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения. Для хранения размера единицы плотности теплового потока в состав Первичного эталона введены ПТП, выполненные в виде вспомогательной стенки по ГОСТ 30619 (далее – ПТП<sub>ПЭ</sub>).

В установке УВТ-1 реализован абсолютный метод определения статической функции преобразования ПТП<sub>ПЭ</sub> в температурном диапазоне при кондуктивном способе подведения воспроизводимого теплового потока. При этом тепло-



**Рис. 1. Внешний вид эталонной измерительной установки УВТ-1.**

вой поток, пронизывающий ПТП<sub>ПЭ</sub>, является однонаправленным и одномерным. Это достигнуто благодаря специальному устройству теплового блока (см. рис. 2), центральным узлом которого является тепловая головка 1 (см. рис. 2, б). Она содержит (последовательно снизу вверх) электрический нагреватель 14; вспомогательный преобразователь, состоящий из двух термобатарей ПТП<sub>В1</sub> и ПТП<sub>В2</sub>, конструктивно совмещенных в одном элементе 15; охранный нагреватель 16, корпус которого выполнен в виде единого узла с температуровыравнивающим боковым экраном 17. Аттестуемый ПТП 5 помещают в зазор между основным нагревателем 14 и тепловоспринимающей платформой 3 теплостока (см. рис. 2, б).



**Рис. 2. Конструктивная схема теплового блока установки УВТ-1:**

**а** – конструктивная схема теплового блока. **б** – конструктивная схема тепловой головки.  
 1 – тепловая головка; 2 – прижимное устройство; 3 – тепловоспринимающая платформа теплостока; 4 – радиатор; 5 – аттестуемый ПТП; 6 – вентилятор; 7 – воздуховод;  
 8 – теплозащитный экран; 9 – теплоизоляционный колпак; 10 – центрирующая втулка;  
 11 – станина; 12 – опорный фланец; 13 – устройство термостатирования термопар;  
 14 – градуировочный нагреватель; 15 – вспомогательные ПТП<sub>В1</sub> и ПТП<sub>В2</sub>, конструктивно совмещенные в одном элементе; 16 – охранный нагреватель; 17 – температуровыравнивающий экран;  
 18 – термодатчики ПТ1, ДПТ2 и ПТ2 (сверху вниз).

Воспринятая им теплота отводится посредством радиатора 4 через воздухопровод 6 с помощью вентилятора 7.

Хороший воспроизводимый тепловой контакт между поверхностями источника теплоты (нагревателя 14), ПТП и теплостока 3 обеспечиваются с помощью прижимного устройства 2 и применением контактной смазки.

Адиабатные условия теплообмена по поверхности основного нагревателя, не контактирующей с ПТП, создаются благодаря совместной работе охранного нагревателя и системы электронного регулирования, направленной на компенсацию той части теплового потока, которая уходит от нагревателя 14 в противоположную от ПТП сторону. При этом полной компенсации соответствует нулевой сигнал одной из термобатарей вспомогательного преобразователя. Наличие теплозащитных элементов 17, 8 и 9 способствует предотвращению тепловых потерь (притоков) через боковую поверхность ПТП.

Таким образом, применение в качестве источника теплоты электрического нагревателя, который контактирует с тепловоспринимающей поверхностью ПТП<sub>ПЭ</sub> своей рабочей поверхностью, а остальная поверхность при этом адиабатизирована, в совокупности с системой теплозащитных экранов позволило обеспечить одномерность и однонаправленность теплового потока от источника теплоты через ПТП. Одномерность теплового потока на выходе ПТП достигнута изготовлением теплостока из высокотеплопроводного металла, а одномерность поля теплового потока в области расположения чувствительной зоны ПТП обеспечивается наличием у него охранной зоны.

Все эти меры позволяют реализовать абсолютный метод определения коэффициента преобразования. Значение коэффициента преобразования  $K_{\text{ПТП}}$  при фиксированной температуре вычисляют по результатам измерения сигнала ПТП  $E$  при постоянной электрической мощности  $W$ , подведенной к основному нагревателю, по формуле

$$K_{\text{ПТП}} = \frac{W}{AE}. \quad (1)$$

На точность воспроизведения и передачи единицы плотности теплового потока при кондук-

тивной теплопередаче влияют такие факторы: контактное тепловое сопротивление между торцевыми поверхностями ПТП и соприкасающимися с ними поверхностями источника и стока теплоты, условия теплообмена на боковой поверхности ПТП, собственное тепловое сопротивление ПТП и соотношение между эффективным поперечным размером ПТП и его высотой. Исследование влияния совокупности этих факторов, выполненное путем решения уравнения теплопроводности при соответствующих граничных условиях и проведения вычислительных экспериментов с использованием полученного аналитического решения [7], дало информацию о характере изменения отношения плотности среднеинтегрального по поверхности ПТП теплового потока  $q_{\text{ср}}$  на входе и выходе из него к плотности заданного теплового потока (неискаженного)  $q_0$  в зависимости от относительного текущего радиуса ПТП ( $r/h_{\text{ПТП}}$ ) при вариации геометрического параметра ПТП ( $D_{\text{ПТП}}/h_{\text{ПТП}}$ ) и отношения тепловых сопротивлений: контактного и ПТП ( $R_{\text{К}}/R_{\text{ПТП}}$ ), а также ПТП и по его боковой поверхности ( $R_{\text{ПТП}}/R_{\text{БОК}}$ ).

Полученные результаты показали, что, во-первых, с увеличением геометрического параметра ПТП методическая погрешность, обусловленная боковым теплообменом и контактным тепловым сопротивлением, уменьшается. Исходя из этих результатов, эталонные преобразователи ПТП<sub>ПЭ</sub> и ПТП-РЭ выполнены с геометрическим параметром, который удовлетворяет условию  $D_{\text{ПТП}}/h_{\text{ПТП}} \geq 30$ . Во-вторых, в температурном диапазоне методическая погрешность также зависит и от контактного теплового сопротивления, и от условий теплообмена в боковом зазоре, влияющих на тепловое сопротивление газовой прослойки в нем.

Для уменьшения влияния контактного теплового сопротивления необходимо не только стабилизировать, но и уменьшить его значение. Первое достигается применением специального прижимного устройства с постоянным усилием прижима, второе — применением контактной теплопроводной смазки.

Реальные значения контактного теплового сопротивления в установке УВТ-1 исследованы экспериментально в диапазоне значений темпе-

ратуры от 300 К до 500 К. Для этого вместо аттестуемого ПТП вставлен эталонный образец стекла марки ЛК 5 диаметром, равным диаметру ПТП (60 мм), и толщиной  $h_{ст} = 2,5$  мм с известной зависимостью коэффициента теплопроводности  $\lambda_{ст}$  от температуры [10]. Данные, полученные для трех перезакладок образца, обработаны по формуле

$$R_k = 0,5 \left( \frac{\Delta T \cdot A}{W} - h_{ст} / \lambda_{ст} \right), \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – разность температуры между нагревателем и теплостокком.

Результаты эксперимента показали, что контактное сопротивление в рабочем температурном диапазоне изменяется от  $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  до  $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Эти данные использованы при расчете составляющей неисключенной систематической погрешности (НСП) определения температурной зависимости коэффициента преобразования ПТП в диапазоне значений температуры от 300 К до 500 К, обусловленной совместным влиянием бокового теплообмена и контактного теплового сопротивления. Полученные результаты систематизированы в виде графиков на рис. 3. Как видим, эта составляющая НСП с учетом реального контактного теплового сопротивления, присущего установке УВТ-1 (см. график 3 для  $R_k = 0,0005 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ) не превышает 0,2 %.

Другой важной составляющей НСП является погрешность, обусловленная тепловыми притоками по потенциалосъемным проводам ПТП. Для ее оценки использовано решение задачи, в которой провод рассмотрен как стержень неограниченной длины.

Согласно [11], температура такого стержня с охлаждаемой боковой поверхностью в сечении, отстоящем на расстоянии  $x$  от основания,  $T_x$ , определяется по формуле

$$T_x = T_{oc} + (T_1 T_{oc}) \exp(-mx), \quad (3)$$

$$\text{где } m = \sqrt{\alpha P / (\lambda f)},$$

а тепловой поток  $\Phi$  – по формуле

$$\Phi = (T_1 - T_{oc}) \sqrt{\alpha \lambda P f}. \quad (4)$$

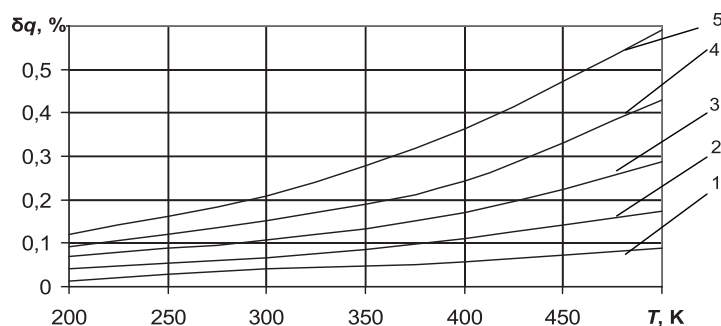


Рис. 3. Погрешность, обусловленная боковым теплообменом и контактным тепловым сопротивлением.

$$1 - R_k = 0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}; \quad 2 - 0,5 \cdot 10^{-3}; \\ 3 - 1 \cdot 10^{-3}; \quad 4 - 2 \cdot 10^{-3}; \quad 5 - 3 \cdot 10^{-3}.$$

Эффективный коэффициент теплообмена  $\alpha$  с учетом конвективной и радиационной составляющих вычисляется по формуле

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_p, \quad (5)$$

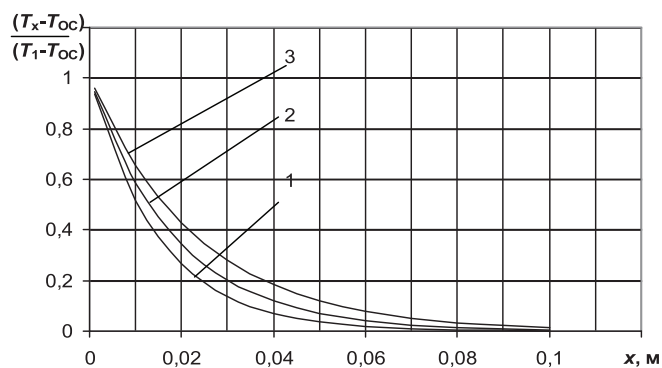
где  $\alpha_k = 0,5(\lambda_{oc}/d)$  – конвективная составляющая теплообмена для тонких проволок при малых значениях произведения чисел Грасгофа и Прандтля:  $Gr \cdot Pr < 1$  [17],  $\alpha_p = 4\epsilon\sigma T^3$  – радиационная составляющая.

Для определения длины потенциалосъемного провода, по которой происходит теплообмен с окружающей средой, рассмотрен характер изменения температуры вдоль потенциалосъемного провода. На рис. 4 приведены графики изменения безразмерной температуры, представленной исходя из формулы (3) следующим образом:

$$(T_x T_{oc}) / (T_1 T_{oc}) = \exp(-mx). \quad (6)$$

Графики построены для трех значений рабочей температуры ПТП: 300К, 400К и 500К, согласно которым длина потенциалосъемных проводов, на которых происходит теплообмен с окружающей средой, составляет 0,1 м. Следовательно, именно такой длины провода следует разместить в зазоре между боковой поверхностью сборки и теплозащитным экраном.

Исходя из формулы (4) для теплопритоков по проводам и формулы для теплового потока, проходящего через ПТП, неучтенную погрешность,



**Рис. 4.** Изменение приведенной температуры вдоль потенциалосъемного провода в диапазоне температур от 300 К до 500 К. 1 –  $T = 500$  К; 2 – 400; 3 – 300.

обусловленную теплопритоками по потенциалосъемным проводам, можно оценить по формуле

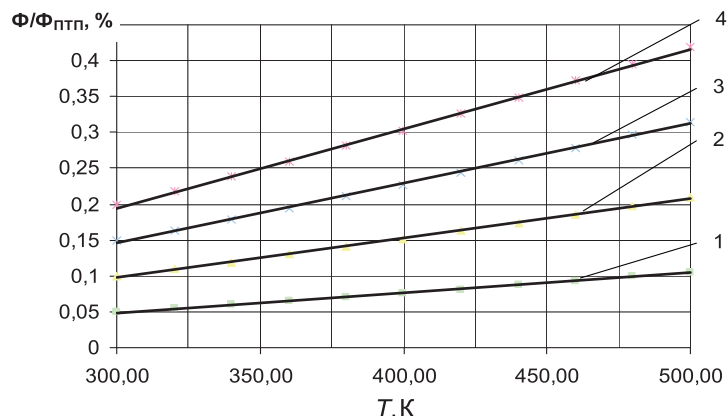
$$\Phi / \Phi_{\text{ПТП}} = 2R_{\Sigma} \sqrt{\alpha \lambda P f} (T_1 - T_{\text{oc}}) / A(T_{\text{н}} - T_{\text{х}}), \quad (7)$$

где  $R_{\Sigma} = R_{\text{ПТП}} + 2R_{\text{к}}$  – суммарное тепловое сопротивление передаче теплоты через ПТП. Как показали эксперименты, в рабочем диапазоне температуры от 300К до 500К суммарное тепловое сопротивление  $R_{\Sigma}$  не превышает  $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , а контактное тепловое сопротивление –  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

На рис. 5 представлены результаты расчетов по формуле (7) в виде графиков изменения неучтенной составляющей НСП  $\Phi / \Phi_{\text{ПТП}}$  в зависимости от рабочей температуры ПТП при вариации значений суммарного теплового сопротивления для максимально возможного перепада между температурой основания провода и газовой среды в зазоре  $T_1 T_{\text{oc}}$ , равного разности  $T_{\text{н}} T_{\text{х}}$ . Эта оценка является максимальной, так как практически  $(T_1 T_{\text{oc}}) / (T_{\text{н}} T_{\text{х}}) < 1$ . Из графиков рис. 5 следует, что максимальная неучтенная методическая погрешность, обусловленная теплопритоками по потенциалосъемным проводам  $\Phi / \Phi_{\text{ПТП}}$  для максимального значения суммарного теплового сопротивления не превышает 0,2%.

Составляющие погрешности воспроизведения плотности теплового потока в установке УВТ-1 систематизированы в таблице.

Расчет итоговых значений выполнен по формулам согласно ГОСТ 8.381-80:



**Рис. 5.** Максимальная неучтенная погрешность, обусловленная теплопритоками по потенциалосъемным проводам, для ряда значений суммарного теплового сопротивления 1 –  $R_{\Sigma} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ; 2 –  $2 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $3 \cdot 10^{-3}$ ; 4 –  $4 \cdot 10^{-3}$ .

$$\Theta = 1,4 \cdot \sqrt{\Sigma \Theta_i^2} \quad \text{и} \quad S_0 = \sqrt{\Sigma S_i^2} . \quad (8)$$

Основные технические характеристики установки УВТ-1:

- диапазон воспроизведения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока от  $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$  до  $20000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;
- диапазон значений рабочей температуры от 300 К до 473 К;
- границы относительной неисключенной систематической погрешности первичного эталона  $\theta_0$  не превышают 0,7%;
- относительное среднее квадратичное отклонение результата воспроизведения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока первичным эталоном при 24-х независимых наблюдениях  $S_0$  и при доверительной вероятности 0,99 не превышает 0,3%.

### Выводы

Установка УВТ-1 соответствует современному эталонному уровню. Внедрение созданного в ИТТФ НАН Украины эталона и разработанной национальной поверочной схемы обеспечит единство теплоточных измерений, проведение метрологических аттестаций и поверок теплоточного оборудования, используемого в Украине.

Таблица.

Составляющая погрешности и ее источник	Обозначение	Значение составляющей погрешности, найденное экспериментально или по расчету, %	
		НСП	СКО
Случайная погрешность воспроизведения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока первичным эталоном	$S_0$		0,3
Погрешность измерения площади ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_1$	0,07	
Погрешность измерения площади посадочного места под ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_2$	0,07	
Погрешность измерения напряжения, подаваемого на градуировочный нагреватель	$\theta_3$	0,09	
Погрешность измерения напряжения на катушке сопротивления	$\theta_4$	0,09	
Погрешность катушки сопротивления	$\theta_5$	0,01	
Погрешность измерения сигнала ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_6$	0,12	
Погрешность, обусловленная теплообменом на боковой поверхности ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_7$	0,2	
Погрешность адиабатизации градуировочного нагревателя системой компенсации	$\theta_8$	0,1	
Погрешность, обусловленная тепловыми притоками по подводящим проводам ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_9$	0,25	
Погрешность, обусловленная нестационарностью температуры градуировочной головки с установленным ПТП <sub>ПЭ</sub>	$\theta_{10}$	0,28	
НСП исходного эталона $\theta_0 = \pm 1,4(\sum_{i=1}^N \theta_i^2)^{1/2}$	$\theta_0$	0,67	
СКО результата воспроизведения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока исходным эталоном при 24-х независимых наблюдениях	$S_0$		0,3

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Геращенко О.А.* Основы теплотетрии. — К.: Наук. думка, 1972. — 192 с.
2. *ГОСТ 30619-98 (ДСТУ 3756-98)* Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия.
3. *МИ 1855-88 ГСИ.* Государственная поверочная схема для средств измерения поверхностной плотности теплового потока в диапазоне 10 — 2000 Вт/м<sup>2</sup>. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — 5 с.

4. *Томбасов Е.А., Лозинская О.М., Черепанов В.Я.* Образцовая установка для градуировки и поверки преобразователей теплового потока //Метрология: ежемесячное приложение к журналу «Измерительная техника». — 1987. — № 1. — С.31 —39.
5. *Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. и др.* Аппаратура для метрологической аттестации первичных преобразователей теплового потока //Сб. научн. трудов «Теплотетрия и теплосбережение». — Киев, 1991. — С. 64—69.
6. *Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Ланий А.В.* Исходные образцовые средства для аттестации об-

разцовых преобразователей теплового потока //Тези доповідей V наук.-техн. конф. “Метрологічне забезпечення температурних та теплофізичних вимірювань” — Харків: Держстандарт України, ДНВО “Метрологія”, 1994. — С. 184–186.

7. *Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції: Методика М00013184.5.023-01/ Розробники: Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. та ін. — К.: ЛОГОС, 2002. — 132 с.*

8. *Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. и др. Установка для воспроизведения, хранения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока // Наук. праці V міжн. наук.-практ. конф. “Метрологія-2006”. — Харків:*

Держстандарт України, ННЦ “Інститут метрології”, 2006. —Т.2. — С. 329–332.

9. *Ковтун С.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. и др. Аппаратурное обеспечение теплоточных измерений //Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. — Випуск 68. — С. 126–133.*

10. *Теплофизические измерения и приборы / Е.С.Платунов, С.Е.Буравой, В.В.Курелин, Г.С.Петров / Под общей ред. Е.С.Платунова. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1986. — 256 с., ил.*

11. *Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 367 с.*

*Получено 15.04.2009 г.*

УДК 536.532:536.629 ;631.243.5

**ВИНОГРАДОВ-САЛТЫКОВ В.А.<sup>1</sup>, ЯНЧАРЕК М.<sup>2</sup>, ФЕДОРОВ В.Г.<sup>3</sup>, КЕПКО О.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный университет пищевых технологий,*  
<sup>2</sup>*Люблинская Политехника,*  
<sup>3</sup>*Уманский государственный аграрный университет*

## ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЙ

На підставі теплометричних досліджень огорожень термічних камер, що були виготовлені з традиційних матеріалів (цегляна кладка, мінеральна вата), а також із сучасних полегшених композицій (сендвіч-панелі або сендвіч-панелі з додатковим шаром з пінобетонних блоків), зроблено висновок, що усі три варіанти не вимагають зсуву фази теплової хвилі у теплоізоляції. Зроблено спробу упорядкування деяких термінів будівельної теплофізики.

На основе теплометрических исследований ограждений термических камер, изготовленных из традиционных материалов (кирпичная кладка, минеральная вата) и современных облегченных композиций (сендвич-панели или сендвич-панели с дополнительным слоем из пенобетонных блоков), сделан вывод, что все три варианта не нуждаются в сдвиге фазы тепловой волны в теплоизоляции. Сделана попытка упорядочения некоторых терминов строительной теплофизики.

On the basis of heatfluxmetric tests of thermal chambers, whose walls are made of traditional materials (brickwork and mineral wadding) or present-day lightened compositions (sandwich-panels or sandwich-panels plus foam concrete blocks), conclude that all three variants don't need for heat-wave phase shift in isolation. It was demonstrated, that some terms of civil-engineering thermophysics should be ordered.

$a$  — температуропроводность;  
 $A_q$  — амплитуда колебаний плотности теплового потока;  
 $A_t$  — амплитуда колебаний температуры;  
 $c$  — массовая теплоемкость;  
 $q$  — плотность теплового потока;  
 $t$  — температура;

$D$  — тепловая инерция (по О.Е.Власову);  
 $R$  — термическое сопротивление;  
 $s$  — коэффициент теплоусвоения слоя ограждения (по О.Е.Власову);  
 $Y$  — коэффициент теплоусвоения поверхности слоя;  
 $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  
 $\delta$  — толщина слоя;