

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА КОНДУКТИВНЫМ СПОСОБОМ

© Декуша Л., Грищенко Т., Менделеева Т., 2003

Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, 03057, Киев, Украина

Розроблено теоретичні засади і надано практичні рекомендації щодо проектування стендів для відтворення і передавання в кондуктивний спосіб одиниці густини теплового потоку еталонним перетворювачем теплового потоку. Сформульовано вимоги до кондуктивних компараторів та еталонних перетворювачів теплового потоку.

Разработаны теоретические основы и даны практические рекомендации по проектированию стендов для воспроизведения и передачи кондуктивным способом единицы плотности теплового потока эталонным преобразователем теплового потока. Сформулированы требования, предъявленные к кондуктивным компараторам и эталонным преобразователям теплового потока.

Theoretical based are developed, and practical recommendations on designing stands for reproduction and transfer in conductive way of heat flux density unit to the certified reference heat flux sensors are given. The requirements to the conductive comparators and to the certified reference heat flux sensors and formulated.

Увеличивающийся спрос на преобразователи теплового потока (ПТП) [1] и ужесточение требований, предъявляемых к ним как относительно эксплуатационных характеристик, так и, особенно, относительно повышения точности технических измерений с их применением, приводят к необходимости создать в Украине комплекс отвечающей современному уровню науки, техники и технологии метрологической аппаратуры нового поколения для обеспечения единства и достоверности измерения поверхностной плотности тепловых потоков.

В Украине сегодня практически отсутствует законодательная основа для метрологического обеспечения в этой области измерения. Действует только государственный стандарт Украины ДСТУ 3193 [2] и руководящий нормативный документ Украины КНД 50–031–94 [3], которые распространяются на измерение плотности потоков теплового излучения.

Согласно межгосударственному соглашению стран-участниц СНГ в области метрологии, стандартизации и сертификации Государственная поверочная схема для средств измерения поверхностной плотности теплового потока МИ 1855-85 [4] действует в Украине, однако она практически не может быть реализована из-за отсутствия ее основного звена – установки высшей точности. Поэтому актуальным является создание основ проектирования установок кондуктивного типа с высокими метрологическими характеристиками.

В области метрологического обеспечения единства измерений поверхностной плотности теплового

потока контактными тепломерами первично был создан усилиями многих исследователей-экспериментаторов ряд устройств и рабочих установок для градуировки ПТП типа вспомогательной стенки, которую выполняют различными косвенными методами: радиационными и кондуктивными [5]. При радиационной градуировке нормированную плотность теплового потока определяют приемником теплового излучения, а при контактном – по перепаду температур на образцах с известной теплопроводностью. Так как измерители нормированного теплового потока, применяемые в этих способах градуировки, аттестуют также косвенными методами, суммарная погрешность градуировки ПТП оказывается значительной, а привязка контактной теплотрии к измерениям теплопроводности – неоправданной.

Метрологическое обеспечение измерений теплового потока контактными ПТП целесообразно осуществлять прямым воспроизведением единицы поверхностной плотности теплового потока с последующей передачей ее размера рабочим ПТП. В связи с этим в СНИИМ Госстандарта СССР (г. Новосибирск) при содействии ИТТФ АН Украины и других компетентных организаций (например, НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) в конце восьмидесятых годов была разработана Государственная поверочная схема для средств измерения поверхностной плотности теплового потока в диапазоне значений от 10 до 2000 Вт/м² [4]. Для ее реализации разработаны методы и комплекс средств метрологической аттестации контактных пре-

образователей теплового потока при плотностях до 2000 Вт/м^2 . В этот комплекс вошли установка высшей точности УВТ-53-А-88 для абсолютной кондуктивной градуировки и аттестации эталонных ПТП в диапазоне температур от 200 до 400 К и установка-компаратор для относительной градуировки рабочих ПТП при температурах, близких к комнатной [6,7].

УВТ включает в себя устройство для создания и измерения аксиального теплового потока с заданной поверхностной плотностью и пропускания этого потока через аттестуемый контактный ПТП, а также набор термоэлектрических контактных ПТП для хранения воспроизводимой единицы и проверки стабильности установки. УВТ применяют для воспроизведения с наивысшей на момент ее создания точностью единицы поверхностной плотности теплового потока и передачи ее аттестуемым преобразователям рабочим эталоном, в качестве которого применяют термоэлектрические биметаллические гальванические и полупроводниковые контактные ПТП с пределами допускаемых относительных погрешностей от 1,5 до 3% [4].

Рабочие эталоны применяют для поверки исходных эталонов и рабочих средств измерений методом прямых измерений и сличением с помощью кондуктивного и радиационного компараторов.

Кроме того, в конце 80-х годов в ИТТФ НАНУ были разработаны и аттестованы СНИИМ исходные образцовые средства измерения теплового потока (установки КГУ-1-25, КГУ-3-20, КГУ-2-25 [8,9]) и утверждены локальные поверочные схемы. Однако за более чем десятилетний период выработан технический ресурс установок, устарела элементная база электронных блоков, установки утратили, по существу, эталонный характер.

В связи с этим актуальной стала проблема исследования возможных способов создания метрологических установок нового поколения, которые обеспечили бы наивысшую для современного состояния науки, техники и технологии точность воспроизведения и передачи единицы теплового потока или поверхностной плотности теплового потока.

Из анализа известных методов и средств градуирования первичных преобразователей теплового потока вида вспомогательной стенки [5,8,9,10] следует, что принципиально метрологическую установку высшей точности целесообразно выполнять, используя абсолютный метод измерения. Такая установка может быть реализована по любой из таких схем.

На рис. 1 приведена схема, по которой может быть выполнена метрологическая установка, реализующая кондуктивный способ подведения нормированного теплового потока к аттестуемому ПТП 1 от электрического нагревателя 2. ПТП 1 устанавливают на термостатируемый теплосток 3. Наличие дополнительной батареи термоэлементов 4 и верхнего термостата 5 позволяет организовать измерения абсолютным способом как в режиме полной компенсации, так и по методу двух измерений [9].

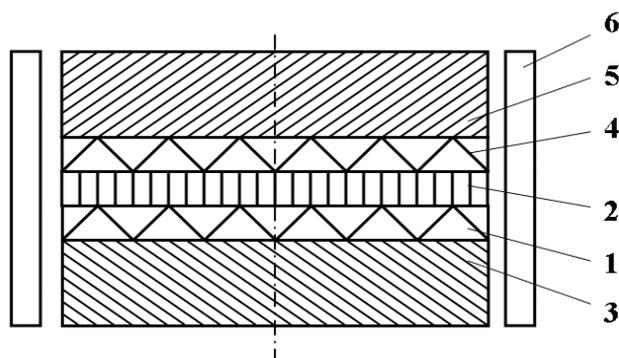


Рис. 1. Схема метрологической установки:

- 1 – аттестуемый ПТП; 2 – источник теплоты;
- 3 – теплосток; 4 – дополнительная термобатарея;
- 5 – термостатирующее устройство (охранный нагреватель); 6 – теплозащитный экран

Эта схема наиболее полно реализует преимущества градуировочного нагревателя 2, выполняемого с равномерно распределенными по поверхности источниками энергии, что соответствует строгому заданию граничного условия второго рода ($q = const$) на входе в ПТП. Однако технология изготовления электрического нагревателя с равномерно распределенными источниками является достаточно тонкой и требующей высокой квалификации исполнителя, из-за чего она фактически труднопроизводима.

Более практичной является вторая схема, приведенная на рис. 2, которая базируется на применении изотермического нагревателя 2, изготовленного с применением высокотеплопроводного металла (меди или серебра), строго обеспечивающего на теплопринимающей поверхности градуируемого ПТП граничное условие первого рода ($T_{нов} = const$).

Работая с изотермическими нагревателем и теплостокком, то есть при граничных условиях первого рода необходимо строго обеспечивать равномерность теплопроводности ПТП по контактным поверхностям.

Известны еще градуировочные устройства, в которых теплоотвод осуществляют конвекцией, т.е. при граничном условии третьего рода: $q_{нов} = \alpha \cdot (T_{нов} - T_{ос})$. Принципиальная схема такого устройства представлена на рис. 3.

В этом случае погрешность воспроизведения единицы теплового потока определяется, в основном, погрешностью измерения количества теплоты, выделяемой основным нагревателем, погрешностью измерения площади контакта ПТП с нагревателем и тепловыми потерями из-за несовершенства адиабатической изоляции, а также неоднородностью теплового потока по теплоотдающей поверхности из-за неодинаковых коэффициентов теплообмена вдоль нее.

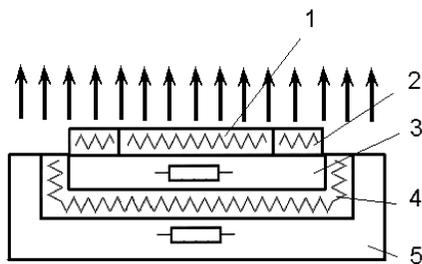


Рис. 3. Принципиальная схема градуировочного устройства: 1 – аттестуемый ПТП; 2 – охранная зона; 3 – источник теплоты; 4 – термобатарея; 5 – компенсационный нагреватель

При всех недостатках этой схемы ее применение в установке высшей точности целесообразно для аттестации ПТП, площадь которых отличается от площади основного нагревателя (см. рис. 1 и 2), а также ленточных гибких ПТП, аналогичных поясу Шмидта [11], когда линейный размер ПТП составляет от 0,5 до 2 м. В последнем случае принципиальная схема установки должна соответствовать схеме, изображенной на рис. 4.

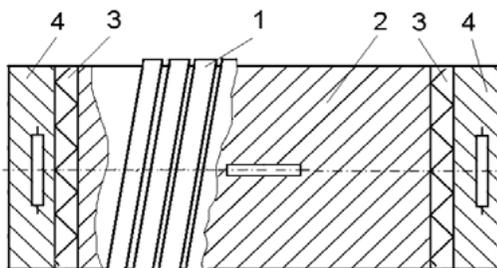


Рис. 4. Принципиальная схема установки высшей точности: 1 – ленточный ПТП (аттестуемый); 2 – источник теплоты; 3 – термобатарея; 4 – компенсационный нагреватель

Аттестуемый ПТП 1 плотно наматывается на градуировочный нагреватель 2, выполненный в виде цилиндра с вмонтированным электрическим элементом. На обоих торцах установлены термобатареи 3 и компенсационные нагреватели 4, мощность которых должна обеспечивать режим нулевых сигналов термобатарей 3.

На теплоотдающую поверхность основного нагревателя, не занятую размещенным на ней градуируемым ПТП, должна быть установлена охранная зона с термическим сопротивлением, равным термическому сопротивлению ПТП.

Явное преимущество кондуктивного подведения тепловой энергии к градуируемому ПТП состоит в том, что может быть обеспечено измерение ее мощности с высокой точностью в широком диапазоне значений, а режим градуировки организован при различных температурах с любым шагом прохождения температурного интервала. Следует учитывать, что при конвективном теплоотводе естественной конвекцией измерения необходимо осуществлять при нескольких углах поворота относительно оси градуировочного цилиндрического нагревателя. Это вызвано неравномерностью коэффициента теплообмена по поверхности горизонтально ориентированного цилиндра [11]. Обеспечивая теплоотвод за счет вынужденной конвекции, необходимо использовать предвключенный участок гидродинамической и тепловой стабилизации, обеспечивающий равномерность коэффициента теплообмена на рабочем участке градуировочного нагревателя.

Градуировку или аттестацию рабочих ПТП, то есть определение их оцененных индивидуальных функций преобразования, выполняют на метрологических установках, предназначенных для передачи единицы теплового потока (или его плотности) рабочему ПТП методом компарирования с применением ПТП – рабочего эталона.

Градуировочные компараторы также могут быть как радиационными, так и кондуктивными.

Кондуктивное компарирование реализуют, применяя один или два рабочие эталоны, а также при необходимости проградуировать ПТП, неразъемно вмонтированные в поверхность объекта эксплуатации. Эти три возможные принципиальные схемы кондуктивного компарирования приведены на рис. 5, а, б, в.

В кондуктивном компарировании, согласно схеме а, оба ПТП, эталонный и градуируемый,

устанавливают соосно друг на друга и помещают между двумя изотермическими поверхностями, соответственно, нагревателя и теплотока. Площади ПТП должны быть одинаковыми и термические сопротивления также.

При компарировании с применением двух эталонных ПТП все три ПТП устанавливают также соосно и помещают между двумя изотермическими поверхностями. Градуируемый ПТП помещают между эталонными ПТП, как показано на рис. 5, б.

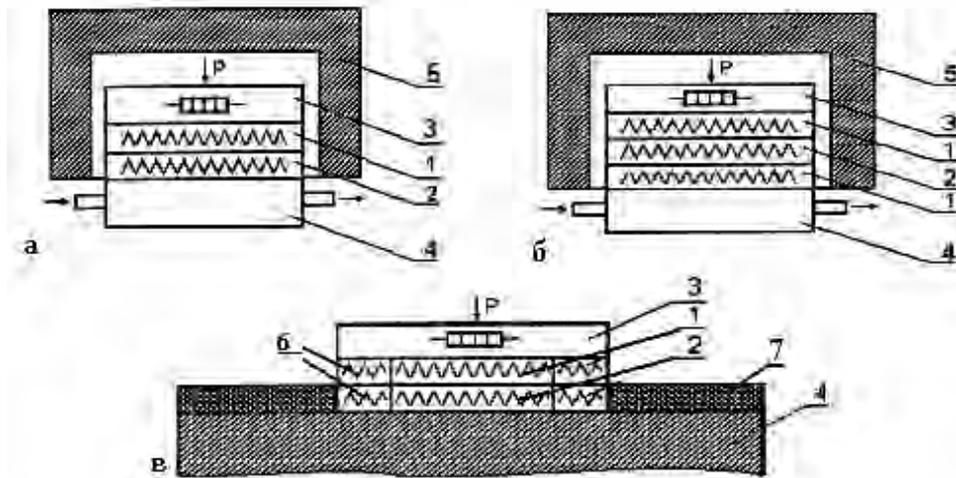


Рис. 5. Принципиальные схемы кондуктивных компараторов: а – с применением одного рабочего эталонного ПТП, б – с применением двух эталонных ПТП, в – с применением одного эталонного ПТП по месту установки градуируемого ПТП: 1 – эталонный ПТП; 2 – градуируемый ПТП; 3 – градуировочный нагреватель; 4 – теплосток; 5 – теплозащитный экран, б – охранный зона ПТП, 7 – периферийная часть ПТП

В последнем случае измерения могут быть выполнены как в стационарном, так и в квазистационарном режимах.

На практике иногда еще необходима градуировка ПТП, неразъемно вмонтированного в поверхность объекта эксплуатации. Например, в приборе ИТ-5 для определения теплопроводности [10] ПТП вмонтирован в поверхность термостатируемого холодильника и окружен по периметру охранной зоной. Его градуировка выполняется кондуктивным компарированием с применением одного эталонного ПТП (рис. 5, в).

При любом способе задания нормированного теплового потока для достижения высшей точности измерения необходимо соблюдать требование об одномерности теплового потока, проходящего через градуируемый ПТП.

В известных градуировочных установках реальные погрешности измерения теплового потока или его поверхностной плотности достаточно высоки (не менее 4–5 %). Это объясняется наличием многих влияющих на поле тепловых потоков факторов, которые приводят к неодинаковости значений заданного теплового потока и измеренного преобразователем вида вспомогательной стенки. Исследование степени влияния этих факторов позволяет аргументированно принимать практические меры по его устранению.

Тепловая модель ПТП, помещенного в градуировочное устройство метрологической установки кондуктивного типа, представлена на рис. 6. Оценка погрешности воспроизведения эталонным ПТП единицы плотности теплового потока выполнена по результатам аналитического исследования влияния таких факторов, как наличие контактных термических сопротивлений на обоих торцах ПТП и их соотношение с термическим сопротивлением самого ПТП, наличие теплообмена по боковой поверхности ПТП, а также геометрических параметров ПТП.

Решена задача, сформулированная так: определить стационарное осесимметричное распределение тепловых потоков в ПТП, представляющем собой тонкий диск высотой $h_{ПТП}$ и диаметром $D_{ПТП} = 2r_{ПТП}$. Оба торца ПТП ($z = 0$ и $z = h_{ПТП}$) соприкасаются с объектами (источником и стоком теплоты), температуры которых T_1 и T_2 постоянны.

В плоскостях контакта имеются контактные термические сопротивления, которые можно принять одинаковыми: $R_{T1} = R_{T2} = R_K$. Наличие контактных термических сопротивлений R_K учитывают в первом приближении через граничное условие III рода на этих поверхностях.

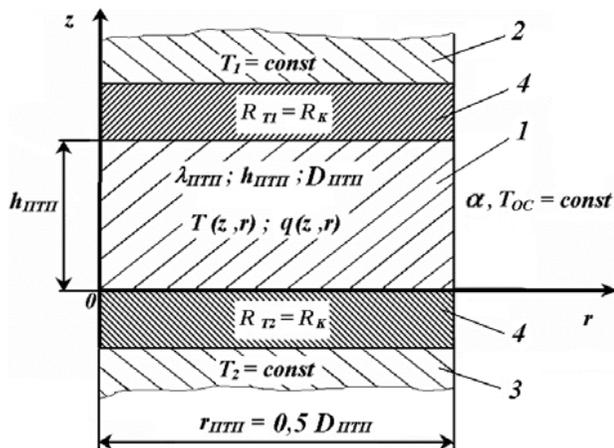


Рис. 6. Установка кондуктивного типа: 1 – ПТП; 2 – источник теплоты (изотермический нагреватель); 3 – теплосток (изотермический); 4 – контактные термические сопротивления

Между боковой поверхностью ПТП и защитным экраном происходит конвективно-кондуктивно-радиационный теплообмен через газовую прослойку с постоянной температурой T_{oc} и эффективным коэффициентом теплообмена α , что учитывается также граничным условием III рода.

При условии независимости теплофизических свойств ПТП от температуры и осевой симметрии стационарное распределение температуры T в массиве ПТП описывают известным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах r и z [12]. В [13] получено аналитическое решение этого уравнения при граничных условиях III рода и приведены результаты серии вычислительных экспериментов по исследованию степени воздействия указанных влияющих факторов в установке кондуктивного типа с применением изотермического нагревателя. Результаты решения систематизированы и представлены в виде графиков, иллюстрирующих распределение приведенных плотностей локального и среднеинтегрального по поверхности тепловых потоков в зависимости от отношения текущего радиуса к высоте ПТП $r/h_{ПТП}$. Варианты расчетов охватывают широкий диапазон значений отношений термических сопротивлений $R_к/R_{ПТП}$ и $R_{ПТП}/(1/\alpha)$ и геометрического параметра ПТП $D_{ПТП}/h_{ПТП}$.

Полученные результаты показывают, что применение в установке изотермических нагревателя и теплостока обеспечивает на тепловоспринимающей и теплоотдающей поверхностях ПТП зоны одномерного теплового потока.

Эти зоны расположены в центральной области и сильно зависят не только от условий теплообмена на боковой поверхности ПТП, но и от геометрических размеров и теплофизических характеристик ПТП. Расширению зоны одномерного теплового потока по поверхности ПТП способствует выполнение ПТП с охранной зоной вокруг чувствительного элемента. Эффективные размеры охранной зоны, а также геометрических размеров ПТП и его теплопроводности необходимо выбирать, пользуясь графиками распределения среднеинтегрального теплового потока [13]. С повышением теплопроводности ПТП и увеличением отношения $D_{ПТП}/h_{ПТП}$ зона одномерности теплового потока по поверхности ПТП расширяется. По результатам вычислений определены некоторые конкретные случаи, когда нет необходимости добиваться минимального контактного или бокового термических сопротивлений.

Там же определены поправки, представленные на рис. 7, которые учитывают влияние боковых теплопритоков к мощности основного нагревателя градуировочного устройства, а также контактных термических сопротивлений и термических сопротивлений ПТП при вариации параметра $D_{ПТП}/h_{ПТП}$.

Рабочей формулой для определения значения поверхностной плотности нормированного теплового потока является такое соотношение:

$$q = \frac{I}{\kappa} \cdot IU / S,$$

где I, U – сила тока и напряжение питания градуировочного нагревателя; S – площадь контакта нагревателя с ПТП; κ – упомянутая поправка (см. рис. 7), равная отношению $q_{изм}/q_0$.

Поскольку в реальных градуировочных установках отношение $R_{ПТП}/R_{бок}$ лежит в пределах от 0,1 до 0,5 при относительном диаметре $D/h_{ПТП} > 30$, значения поправки κ лежат в диапазоне [0,998÷1,001].

Совокупность полученных результатов позволяет так подобрать комплекс геометрических параметров и тепловых условий при проектировании эталонного ПТП, чтобы его чувствительный элемент всей своей поверхностью воспринимал одномерный тепловой поток. При выполнении эталонного ПТП с охранной зоной не менее трех толщин ПТП определяющим фактором точности воспроизведения единицы теплового потока является качество регулирования мощности градуировочного нагревателя и термостатирования теплостока.

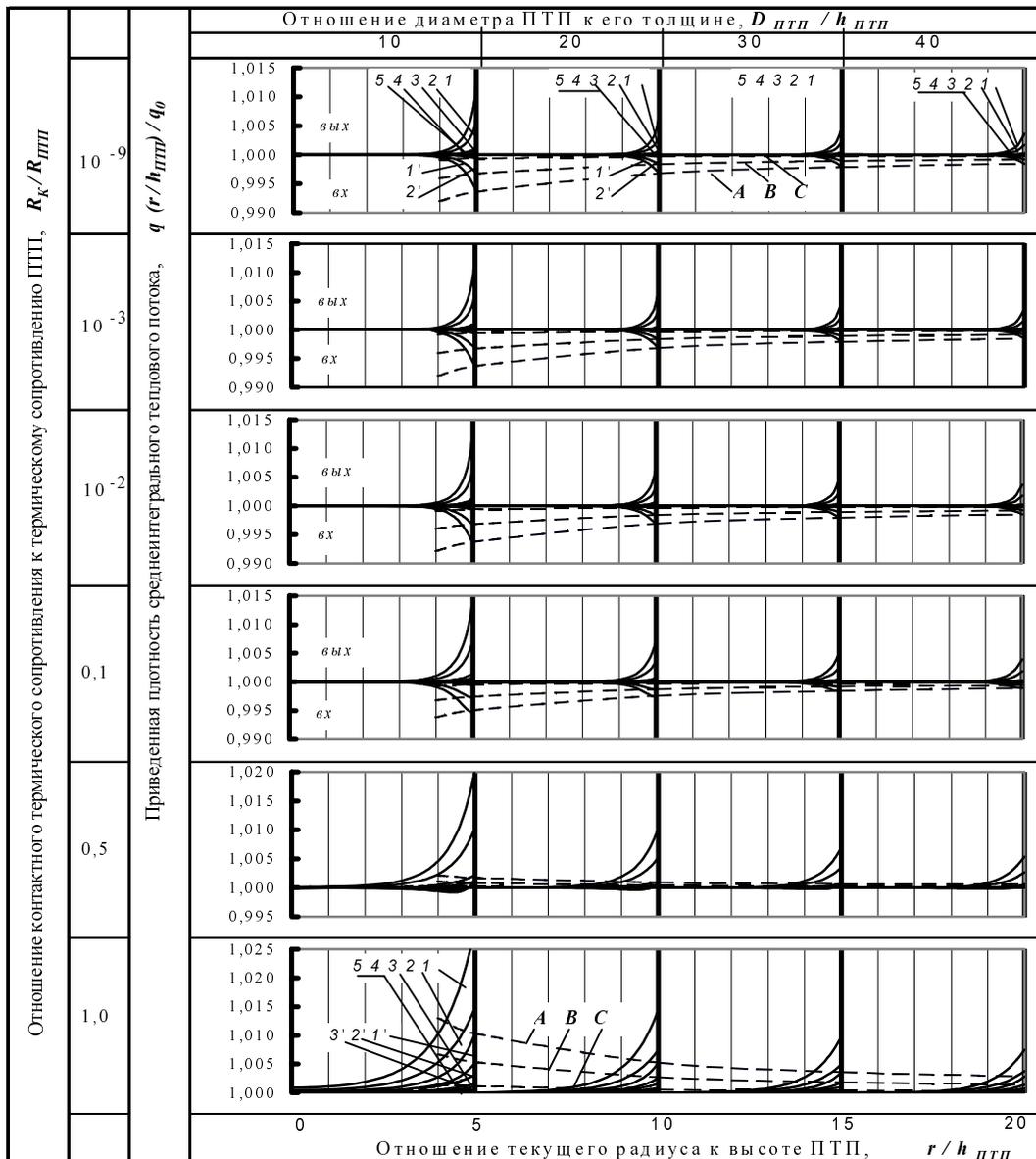


Рис. 7. Зависимость приведенной плотности среднееинтегрального по поверхности ПТП теплового потока от геометрических размеров ПТП, контактного и бокового термических сопротивлений

Вход 1' – $R_{ПТП}/R_{БОК} = 0,1$; 2' – $0,05$; 3' – $0,01$.

Выход 1 – $R_{ПТП}/R_{БОК} = 0,1$; 2 – $0,05$; 3 – $0,01$; 4 – $0,005$; 5 – $0,001$.

Поправка κ к мощности градуировочного нагревателя, обусловленная влиянием бокового теплообмена:

A – $R_{ПТП}/R_{БОК} = 0,1$; B – $0,05$; C – $0,01$

Результаты аналитического исследования, представленные на рис. 7, используют при проектировании как эталонных ПТП, так и тепловых блоков метрологических установок.

Аналитическое исследование выполнено также и для компарирования ПТП, неразъемно вмонтированного в некую поверхность (см. схему рис. 5, в). Причем

довольно часто поперечный размер ПТП значительно меньше размера поверхности, в которую он вмонтирован и которая может быть принята за бесконечную в радиальном направлении. В этом случае подведение нормированного теплового потока можно локализовать через пятно конечного размера, несколько превышающего размеры чувствительного элемента.

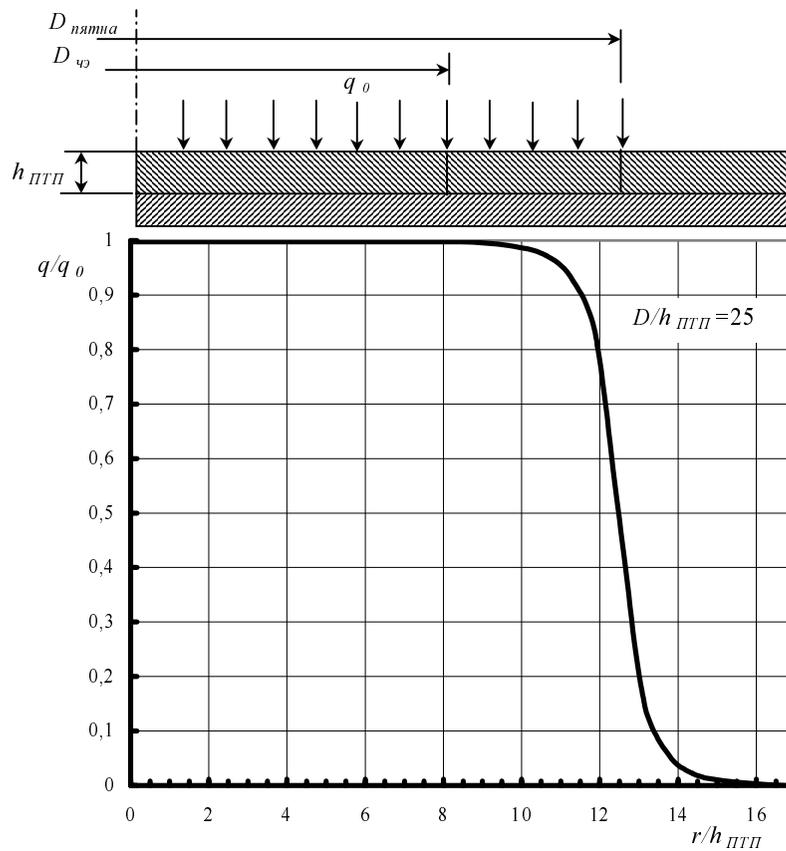


Рис. 8. Характер распределения вдоль относительной радиальной координаты приведенной плотности среднего по высоте ПТП теплового потока для фиксированного значения относительного диаметра пятна $D/h_{\text{ПТП}}=25$

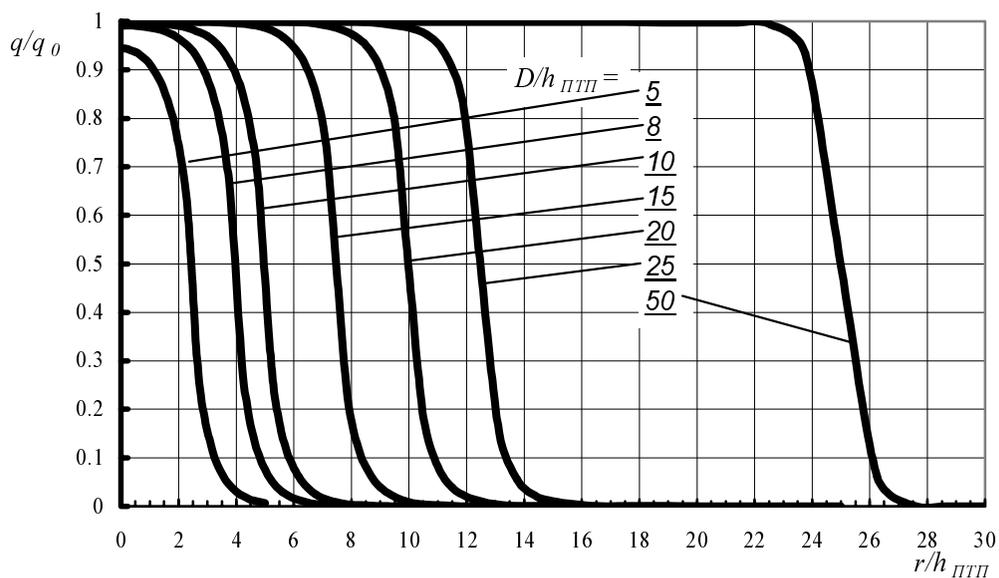


Рис. 9. Распределение приведенной плотности среднего по высоте теплового потока вдоль относительного радиуса $r/h_{\text{ПТП}}$ для термического контактного сопротивления $R_k = 10^{-9} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ при вариации относительного диаметра пятна теплового воздействия $D/h_{\text{ПТП}}$

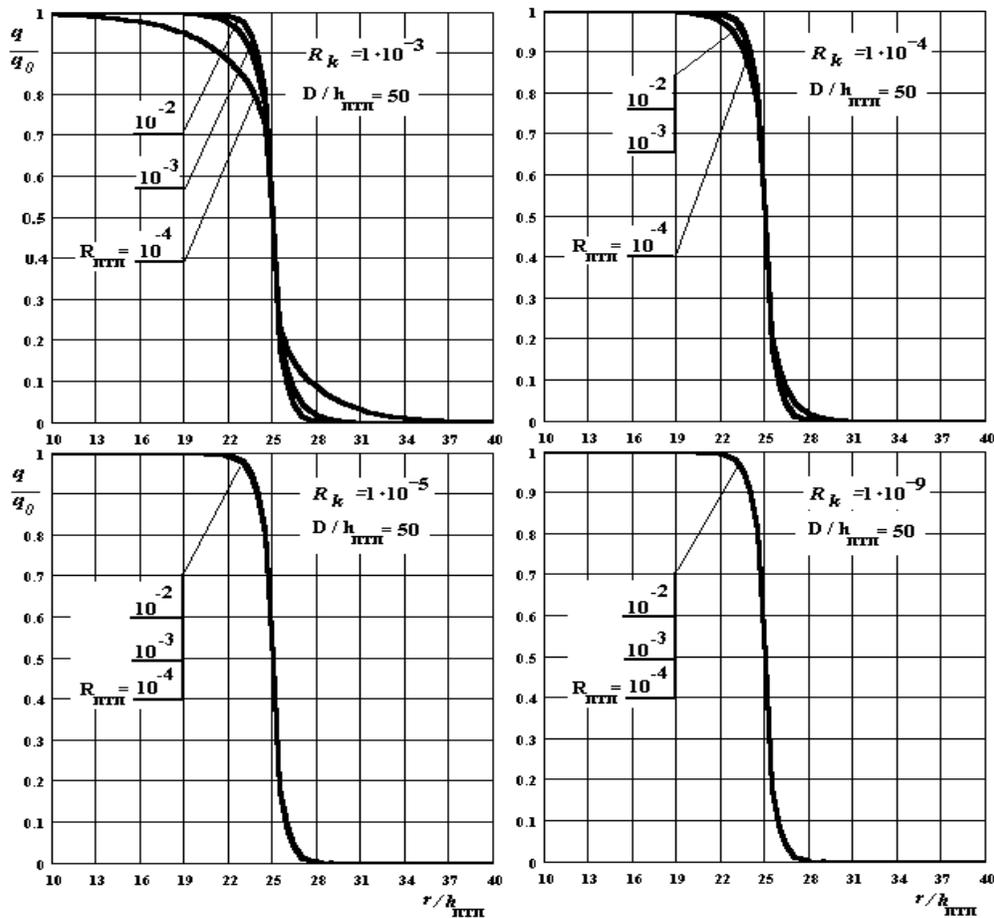


Рис. 10. Зависимость от контактного термического сопротивления R_k распределения приведенной плотности среднего по высоте теплового потока вдоль относительного радиуса $r/h_{\text{ПТП}}$ при вариации термического сопротивления ПТП $R_{\text{ПТП}}$ для фиксированного диаметра пятна теплового воздействия $D/h_{\text{ПТП}}=50$

Задача исследования сведена к определению размера теплового пятна, т.е. зоны теплового воздействия, и соотношения его с размером чувствительного элемента [14]. На рис. 8 показан характер распределения вдоль относительной радиальной координаты $r/h_{\text{ПТП}}$ приведенной плотности среднего по высоте теплового потока \bar{q}/q_0 для некоего фиксированного значения приведенного диаметра пятна теплового воздействия, например, для $D/h_{\text{ПТП}} = 25$, при условии нулевого контактного термического сопротивления.

Плотность среднего по высоте теплового потока \bar{q} приведена к плотности q_0 нормированного теплового потока, прошедшего через эталонный ПТП. Как видно на рис. 8, тепловой поток на границе пятна искажен.

Глубина распространения искажения, как видно на рис. 9, практически одинакова для различных диаметров пятна теплового воздействия и зависит от

контактного термического сопротивления и термического сопротивления ПТП, как это видно на графике рис. 10.

На графиках, построенных для $R_k = 10^{-9} \text{ м}^2\text{К/Вт}$, что фактически соответствует отсутствию контактного термического сопротивления, глубина проникновения искажения внутрь от границы пятна теплового воздействия не превышает трех высот ПТП. Эта закономерность сохраняется до тех пор, пока контактное термическое сопротивление на порядок меньше термического сопротивления ПТП.

Практический вывод из результатов этого исследования состоит в том, что ПТП, подлежащий градуировке методом кондуктивного компарирования, должен быть изготовлен обязательно с охранной зоной, ширина которой не меньше трех высот ПТП.

1. ГОСТ 30619-98 (ДСТУ 3756-98). Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические

общего назначения. Общие технические условия. – К., 2000. 2. ДСТУ 3193-95 Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості некогерентним випромінюванням. – К., 1995. 3. КНД 50-031-34 Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості малих рівнів. – К., 1994. 4. МИ 1855–88 Государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности теплового потока в диапазоне 10 – 2000 Вт/м² / Методические указания. – М., 1988. 5. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г., Лукашевич Л.А. Методы и средства градуировки датчика теплового потока (обзор) // Пром. Теплотехника. – 1986. – Т.8 №1. – С. 78–90. 6. Томбасов Е.А., Лозинская О.И., Черепанов В.Я. Образцовая установка для градуировки и поверки преобразователей теплового потока // Метрология: ежемесячное приложение к науч.-техн. журналу “Измерит. техника”. – 1987. – №1. – С. 31–39. 7. Томбасов Е.А., Черепанов В.Я., Калинин А.Н. Разработка и исследование

средств метрологической аттестации преобразователей теплового потока // Измер. техника. – 1987. – №5. – С. 30-32. 8. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Сало В.П. Аппаратура для метрологической аттестации первичных преобразователей теплового потока // Пром. теплотехника – 1991. – Т.13 №4 – С.64-69. 9. Декуша Л.В. Теплотрические измерительные преобразователи для исследования сложного теплообмена: Дисс. ... канд. техн. наук. – К., 1990. 10. Приборы для теплофизических измерений: Каталог/ Ин-т проблем энергосбережения АН УССР. – К., 1991. 11. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.–Л., 1956. 12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М., 1967. 13. Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Менделеева Т.В. Теоретические основы метрологии теплоточных измерений // Пром. теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4-5. – С. 175–180. 14. Кулаков М.В., Макаров Б.И. Измерение температуры поверхности твердых тел. – М., 1979.

ПОБУДОВА ТЕМПЕРАТУРНОЇ ШКАЛИ ЗА ВИПРОМІНЕННЯМ

© Назаренко А., 2003

Харківський державний науково-дослідний інститут метрології, Харків, Україна

Розглянуто методику побудови радіаційної температурної шкали.

Рассмотрено методику построения радиационной температурной шкалы.

It is considered in the paper ideology of the constructing of radiation temperature scale.

Значного прогресу останнім часом досягла радіаційна термометрія (пірометрія). Це стосується як розширення температурного діапазону від високих температур в бік середніх і низьких температур, так і підвищення точності вимірювань. Швидко розвивається радіаційна термометрія в інфрачервоній ділянці спектра (ІЧ-термометрія). Вона широко застосовується в метеорології, теплотахенні, дистанційному керуванні, контролі промислових процесів для захисту довкілля.

Кількість приладів інфрачервоної радіаційної термометрії, які вимірюють температуру в діапазоні 50 °С .. 1000 °С, швидко збільшується. Зокрема, з'явилася велика кількість імпортованих інфрачервоних пірометрів фірм “Raytek”, “Land” та інших. Все це пояснює необхідність удосконалення метрологічного забезпечення цієї галузі вимірювань, тому що відомі методи і засоби незадовільні.

Інтерполяційні співвідношення. Міжнародна температурна шкала (МТШ-90) визначає температуру

між потрійною точкою рівноважного водню (13,8033 К) і точкою тверднення срібла (961,78 °С) за допомогою еталонного платиного термоперетворювача опору, який калібрується в реперних точках і використовує точно визначені інтерполяційні процедури. Отже, пряма реалізація МТШ-90 в цьому температурному діапазоні повинна бути основана на каліброваних еталонних термоперетворювачах опору. Для радіаційної термометрії еталонний платиновий термоперетворювач опору є чутливим елементом, який вимірює температуру абсолютного чорного тіла. Випромінювачі типу абсолютно чорного тіла (АЧТ) служать еталонними джерелами для калібрування радіаційних термометрів. Саме така схема, основана на абсолютно чорних тілах з еталонними платиновими перетворювачами опору, існувала (і існує) для метрологічного забезпечення радіаційної термометрії. Аналіз свідчить, що такий підхід не може забезпечити підвищені вимоги до точності радіаційних вимірювань.

Тому останнім часом у всіх провідних метрологічних центрах вдосконалюється інша схема,