Math-Net.Ru
All Russian mathematical portal

A. V. Kostanovskii, M. E. Kostanovskaya, Possibility of increasing the degree of perfection of a blackbody model,
TVT, 2001, Volume 39, Issue 2, 347–349

https://www.mathnet.ru/eng/tvt1904

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use
https://www.mathnet.ru/eng/agreement

Download details:
IP: 18.97.9.173
January 20, 2026, 21:23:35

2. *Локтионов И.К.* Определение критических параметров классической однокомпонентной системы с модельным потенциалом взаимодействия // ТВТ. 2000. Т. 38. № 3. С. 512.
3. *Захаров А.Ю., Локтионов И.К.* Классическая статистика однокомпонентных систем с модельными потенциалами // Теор. и матем. физ. 1999. Т. 119. № 1. С. 167.
4. *Олдер Б., Хувер У.* Численные методы в статистической механике // Физика простых жидкостей / Под ред. Зубарева Д.Н. и Плакиды Н.М. М.: Мир, 1971. 308 с.
5. *Бернал Дж., Кинг С.* Экспериментальное моделирование простых жидкостей. Там же.
6. *Локтионов И.К.* Кривая сосуществующих фаз классических непрерывных однокомпонентных систем. Сб. научн. тр. ИПМ им. Францевича И.Н. Киев: НАНУ, 1997. С. 25.

УДК 535.231.2:546.261

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ СОВЕРШЕНСТВА МОДЕЛИ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА

© 2001 г. А. В. Костановский, М. Е. Костановская

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва.

Поступило в редакцию 21.03.2000 г.

Повышение точности измерения температуры конденсированных сред в области их экстремальных состояний остается, как и раньше, актуальной задачей для теплофизических исследований. Воспроизведение и передача температурной шкалы для приемников излучения, работающих в этой области параметров, осуществляется источником теплового излучения (ИТИ), в качестве которого может использоваться модель абсолютно черного тела (АЧТ). Поэтому создание моделей АЧТ с предельно высокой степенью совершенства, в смысле более точного приближения реального излучения к идеальному "абсолютно черному телу", является одним из направлений повышения точности калибровки приемников излучения и последующего измерения температуры [1].

Высокотемпературная модель АЧТ, конструкция которой была представлена в работе [2], изначально разрабатывалась с целью создания ИТИ для области максимально допустимых рабочих температур. Предложенное конструктивное решение излучателя, выполненного из изотропного графита марки МПГ-6, позволило решить поставленную задачу и получить ИТИ для области рабочих температур 2500–3500 K. Отметим, что геометрия излучателя была выбрана такой, чтобы положение максимума температуры и неизотермичность вдоль излучателя слабо зависели от рабочей температуры. Излучатель представляет собой полый цилиндр сложной формы. В центре излучателя имеется перегородка толщиной 4 мм, которая делит его на две одинаковые излучающие полости (ИП) с геометрическими размерами: внутренний диаметр $d = 4$ мм, длина полости $l = 20$ мм. Значение эффективной излучательной способности данного излучателя, рассчитанное по профилю температуры на внутренней цилиндрической образующей ИП в предположении равномерного распределения температуры по перегородке при температуре 3200 K, равно $\varepsilon_{эф}^{из} = 0.994$ [2].

Численное моделирование процесса нагрева излучателя, которое было выполнено в результате решения двухмерного нестационарного уравнения теплопроводности с постоянными источниками тепла W, позволило рассчитать температурное поле излучателя. В расчетах мощность тепловыделения в разных частях излучателя определялась по формуле Джоуля–Ленца в соответствии с величиной местного электрического сопротивления. Ток, который проходит по излучателю, считался величиной постоянной. Исключением является донышко, для которого мощность источников тепла W принимает нулевое значение, так как электрический ток не проходит по перегородке излучателя. Поэтому процесс нагрева донышка во многом определяется теплопроводностью материала, из которого оно изготовлено. Подробно метод расчета и принятые предположения описаны в [2].

На рис. 1 показано поле температуры для 1/4 части донышка (r = 0–2 мм) и прилегающей части боковой трубки излучателя (r = 2–4 мм). Решение получено в предположении, что коэффициент теплопроводности ($\lambda_{изот}$ = 30 Вт/м K), удельная теплоемкость ($C_{\rho изот}$ = 2.1 кДж/кг K), плотность ($\rho_{изот}$ = 1600 кг/м^3) являются величинами постоянными и отвечают изотропному графиту марки МПГ-6 при температуре $T \sim 3000$ K [3, 4]. Из рис. 1 видно, что перепад температуры по радиусу донышка составляет ~120 K. По этой причине значение $\varepsilon_{эфф}^{из}$, полученное с учетом реаль-

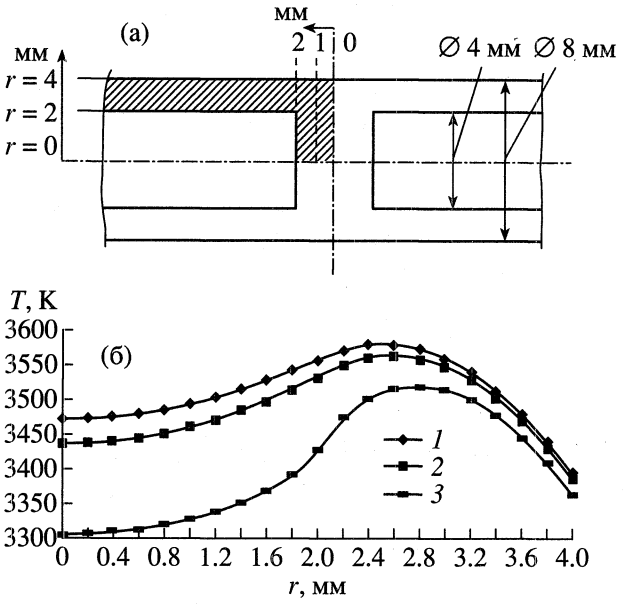

Рис. 1. а – эскиз рабочего участка излучателя из изотропного графита. б – поле температуры в перегородке и части боковой поверхности излучателя, выполненного из изотропного графита марки МПГ-6: *1* – $j = 0$ на оси симметрии излучателя (и донышка); *2* – $j = 1$ мм на расстоянии 1 мм от вертикальной оси; *3* – $j = 2$ мм на расстоянии 2 мм от вертикальной оси, т.е. на поверхности донышка при $r = 0$–2 мм.

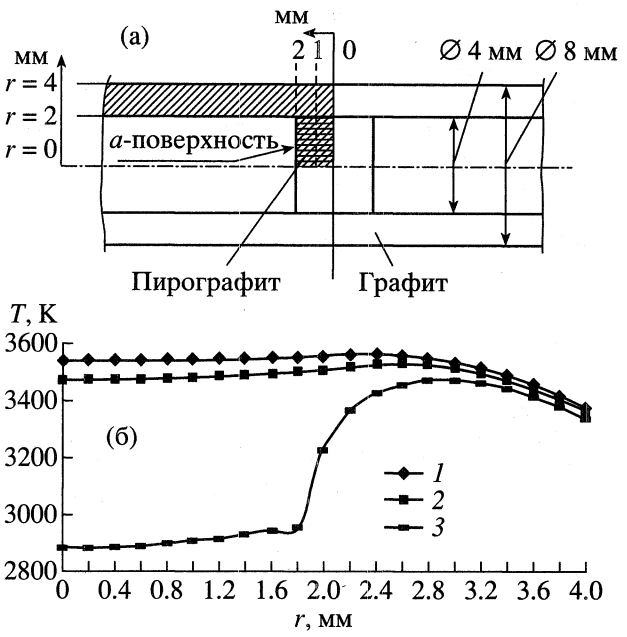

Рис. 2. а – эскиз рабочего участка излучателя со вставкой из пирографита. б – поле температуры в донышке и части боковой поверхности излучателя, выполненного из пиролитического графита. *1* – $j = 0$ на оси симметрии излучателя (и донышка); *2* – $j = 1$ мм на расстоянии 1мм от вертикальной оси; *3* – $j = 2$ мм на расстоянии 2 мм от вертикальной оси, т.е. на поверхности донышка при $r = 0$–2 мм.

ного профиля температуры на перегородке при указанной температуре, уменьшилось до 0.99.

Чтобы избежать этого отрицательного эффекта, можно заменить материал донышка из изотропного графита на пирографит, теплофизические свойства которого зависят от направления [5]. На рис. 2 приведены результаты расчета температурного поля, выполненные при тех же предположениях, что и для случая изотропного графита (рис. 1), с единственным отличием, что материалом перегородки ИП является пирографит. В расчетах предполагается, что пирографит ориентирован таким образом, что более высокое значение коэффициента теплопроводности отвечает радиальному направлению, а более низкое – аксиальному. Для более наглядного сравнения результатов указанной замены в расчетах коэффициент теплопроводности пирографита в радиальном направлении ($\lambda_{\text{пир рад}} = 30$ Вт/м К) принимается равным значению λ для изотропного графита, а коэффициент теплопроводности пирографита в аксиальном направлении – на порядок ниже ($\lambda_{\text{пир акс}} = 3$ Вт/м К). Из рис. 2 видно, что перепад температуры по радиусу донышка уменьшается в 2 раза по сравнению с вариантом расчета для изотропного графита. В общем случае значение коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{пир рад}} > \lambda_{\text{изот}}$ [5] и отношение $\lambda_{\text{пир рад}}/\lambda_{\text{пир акс}} > 10$, поэтому показанный на рис. 2 результат можно рассматривать как “оценку снизу”.

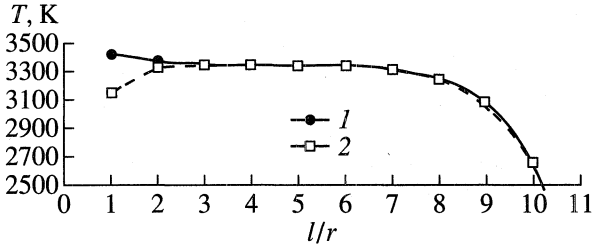

Рис. 3. Поле температуры вдоль излучающей полости (внутренняя часть) в зависимости от расстояния от центра донышка излучателя. Перегородка излучателя выполнена из изотропного графита и из пирографита: *1* – изотропный графит, *2* – пирографит.

Отдельные виды пиролитического графита характеризуются следующими отношениями коэффициентов теплопроводности: при 1200 К отношение $\lambda_{\text{пир рад}}/\lambda_{\text{пир акс}} = 330$, при 2400 К отношение $\lambda_{\text{пир рад}}/\lambda_{\text{пир акс}} = 160$ [5]. Следовательно, с уменьшением температуры отношение $\lambda_{\text{пир рад}}/\lambda_{\text{пир акс}}$ возрастает, поэтому при более низких рабочих температурах излучателя (модели АЧТ) поле температуры по радиусу донышка будет более изотермичным. Это означает, что нижняя температурная граница рабочих параметров модели

АЧТ при использовании пирографита в качестве материала перегородки излучателя может быть расширена.

Численное моделирование температурного поля излучателя показывает также, что использование пирографита в качестве материала донышка ИП не приводит к искажению поля температуры по цилиндрической образующей ИП (рис. 3).

При условии использования пирографита $\varepsilon_{эф}^{пир}$ в качестве материала для перегородки эффективная излучательная способность модели АЧТ будет зависеть от конкретных значений теплофизических свойств выбранного пирографита. Очевидно, что значение $\varepsilon_{эф}^{пир}$ в этом случае будет выше чем $\varepsilon_{эф}^{пир}$. Следует учитывать, что у пирографита для α-поверхности имеет место отражающая составляющая, влияние которой при изготовлении излучателя необходимо минимизировать специальной подготовкой поверхности, чтобы создать диффузный характер отражения.

Отметим, что количественные значения $\varepsilon_{эф}^{пир}$ модели АЧТ, выполненной на основе излучателя с перегородкой из пирографита, могут быть получены только после проведения экспериментальных исследований. Модернизация данного излучателя позволит не только повысить значение $\varepsilon_{эф}^{пир}$, но и расширить рабочие параметры модели АЧТ в область более низких температур.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 00-02-17284).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Русин С.П., Пелецкий В.Э.* Тепловое излучение полостей // М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 152.
2. *Костановский А.В., Нефедкина Л.Б., Костановская М.Е.* Высокотемпературная модель абсолютно черного тела // ТВТ. 1997. Т. 35. № 1. С. 122.
3. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Спр. / Под ред. Чиркина В.С. М.: Атомиздат, 1966. С. 481.
4. Графит как высокотемпературный материал / Под ред. Власова К.П. М.: Мир, 1964. С. 418.
5. *Pappis J, Blum S.L.* Properties of Pyrolytic Graphite // J. Amer. Ceramic Soc. 1961. № 12. P. 592.