

Общероссийский математический портал

В. С. Пикашов, М. А. Глинков, Л. И. Назаренко,
Г. В. Рябченко, Определение полей лучистых ха-
рактеристик пламени послойными измерениями,
ТВТ, 1968, том 6, выпуск 1, 127–132

Использование Общероссийского математического портала Math-
Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользова-
тельским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.220.255.141

9 ноября 2024 г., 01:24:02



УДК 536.46

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ЛУЧИСТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАМЕНИ ПОСЛОЙНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

*В. С. Цикашов, М. А. Глинков, Л. И. Назаренко,
Г. В. Рябченко*

Рассмотрена методика определения полей лучистых характеристик пламени послойными измерениями; получено уравнение для исключения методических ошибок, возникающих при введении в пламя водоохлаждаемых зондов; приведены результаты определения лучистых характеристик пламени по указанной методике для продуктов полного горения природного газа.

Ввиду того что процессы, имеющие место при горении различных видов топлив, отличаются большой сложностью, многообразием и взаимосвязанностью, при исследовании пламен, топочных устройств и печей большая роль принадлежит эксперименту.

Известно, что тепловой режим пламенных печей определяется распределением по объему температур и лучистых характеристик [1]. Поэтому определение полей параметров необходимо при изучении работы печей и правильного объяснения процессов тепло- и массообмена в них. Проведено большое количество исследований пламен, имевших целью установить взаимосвязь излучения с полями температур и концентраций излучающих компонентов [2]. Лучистые характеристики пламен в таких исследованиях находились как средние для всей толщины пламени. Кроме того, обычно не учитывалась сложность спектрального состава излучения реальных пламен, находящегося между селективным излучением трехатомных газов и серым излучением твердых частиц.

Существующие экспериментальные методы определения лучистых характеристик пламени можно разделить на две группы [3]: методы, основанные на измерении температуры газа и теплового потока от слоя и использовании закона Стефана — Больцмана, и методы, основанные на измерении лучистых тепловых потоков для двух различных условий (например, на фоне холодного черного тела и зеркала или на фоне горячего черного тела и холодного — метод Шмидта и т. д.), и решении системы двух уравнений с двумя неизвестными — температурой и лучистыми характеристиками.

Локальные значения лучистых характеристик пламени можно определить любым из указанных методов. При этом необходимо исследуемое пламя условно разбить по толщине излучающего слоя на n элементарных конечных слоев. Предполагается, что в пределах элементарного слоя параметры являются постоянными по толщине и справедлив закон Бугера — Беера. Последовательные послойные измерения для каждого из слоев покажут картину распределения характеристик по длине луча.

Рассмотрим определение локальных значений лучистых характеристик пламени по первому методу. Для этого необходимо ограничить длину луча толщиной исследуемого элементарного слоя путем введения в пламя до границ слоя водоохлаждаемых приборозондов: с одной стороны — узко-

Как видно из выражений (1) и (2), в тепловой поток q_1 и q_2 входит излучение пограничного слоя.

Из формулы (2) найдем истинное значение излучательной способности для слоя S_2

$$\varepsilon_{2r} = \frac{(q_2/\sigma_0 T_{2r}^4) - (q_1/\sigma_0 T_{2r}^4)}{1 - (q_1/\sigma_0 T_{2r}^4) a_{2r}/\varepsilon_{2r}} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1 a_{2r}/\varepsilon_{2r}}. \quad (3)$$

Здесь $\varepsilon_1 = q_1/\sigma_0 T_{2r}^4$ и $\varepsilon_2 = q_2/\sigma_0 T_{2r}^4$ — условные излучательные способности для слоев газа S_1 и S_2 , полученные на основе измерений и отнесенные к температуре газа T_{2r} . Выражение (3) справедливо как для селективной, так и для серой среды. Член a_{2r}/ε_{2r} учитывает различие характера спектрального излучения слоев 1 и 2. В частном случае, т. е. при определении полей ε в пламени, с достаточной точностью можно предположить, что у двух соседних элементарных слоев состав газов, а следовательно, и их спектральные характеристики отличаются незначительно: поэтому $a_{2r} = \varepsilon_{2r}$, и уравнение (3) упрощается

$$\varepsilon_{2r} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) / (1 - \varepsilon_1). \quad (4)$$

Кроме того, на основе закона Бугера — Беера

$$\varepsilon_{2r} = 1 - e^{-\bar{k}_2 S_2}, \quad (5)$$

где $\bar{k}_2 = \frac{1}{S_2} \int_{S_1}^{S_2} k(S) dS$ — усредненный коэффициент ослабления луча для слоя S_2 .

Из уравнений (4) и (5) получаем

$$\bar{k}_2 = \frac{1}{S_2} \ln \frac{1 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2}. \quad (6)$$

Погрешность, вносимая радиометром, также автоматически исключается при данной схеме измерений и расчете по уравнениям (4) и (6). Следовательно, при $S_1 > \Delta S$ на основе измерений лучистых потоков на входе и выходе из слоя можно исключить ошибки, обусловленные пограничным слоем. Таким образом, перед измерениями необходимо определить для данных условий примерное значение ΔS , изменяющееся в широких пределах в зависимости от размеров зондов и параметров потока. Аналогичным образом можно избежать методических ошибок и при использовании других методов определения локальных значений лучистых характеристик пламени.

Настоящая методика была проверена на экспериментальной установке для определения излучательных способностей продуктов полного сгорания природного газа с внутренним сечением камеры $0,75 \times 0,75$ м и высотой 1,2 м. В исследуемом сечении камеры создавалось по возможности равномерное поле параметров газового потока, движущегося снизу вверх. Равномерность проверялась соответствующими измерениями температур и концентраций по сечению и поддерживалась постоянной во времени.

Лучистый тепловой поток измерялся специально сконструированным узкоугольным радиометром-зондом полного излучения (рис. 2, а). Отличительными особенностями радиометра являются высокая чувствительность, малые габариты и отсутствие фокусирующей оптики (линз и зеркал), вносящей дополнительные искажения в спектральные характеристики излучения. В качестве фона использовались две конструкции водоохлаждаемых моделей холодного абсолютно черного тела: в виде полого цилиндра (рис. 2, б) и плоской оребренной стенки (рис. 2, в). Поверхности, обращенные к радиометру, выполнялись из меди и покрывались тонким слоем камфарной черни.

Измерения лучистого теплового потока производились для различных толщин слоя $S = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 350, 400, 450, 500$ мм, причем холодное черное тело устанавливалось неподвижно на расстоянии 125 мм от стены. Радиометр вводился с противоположной стороны и визирировался на центр площадки фона при помощи створного прицельного устройства и мог перемещаться относительно модели черного тела. Провод

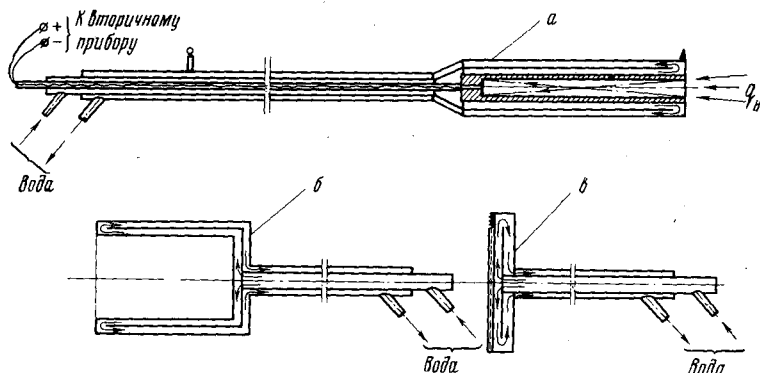


Рис. 2. Схемы радиометра-зонда (а), модели холодного абсолютно черного тела в виде цилиндра (б) и модели черного тела в виде плоской оребренной стенки (в)

дены две серии измерений с двумя моделями черного тела, но при одних и тех же параметрах потока. Температура газового потока была равна $T_r = 1506^\circ \text{K}$; парциальные давления: $P_{\text{CO}_2} = 0,0622 \text{ атa}$ и $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1101 \text{ атa}$. Коэффициенты ослабления лучистого потока рассчитывались по уравнению (6). Расчет производился по следующей схеме:

$S = 500 \text{ мм}$		$S = 450 \text{ мм}$		$S = 400 \text{ мм}$...
$S_1, \text{ мм}$	$S_2, \text{ мм}$	$S_1, \text{ мм}$	$S_2, \text{ мм}$	$S_1, \text{ мм}$	$S_2, \text{ мм}$...
450	50	400	50	350	50	...
400	100	350	100	300	100	...
350	150	300	150	250	150	...
...

Результаты измерений показаны в виде графика функции $k_r = f(S_1)$ при разных $(S_1 + S_2)$ на рис. 3, а (цилиндрическая модель холодного абсолютно черного тела) и 3, б (модель черного тела в виде плоской оребренной стенки). Из анализа рисунков видно, что при $S_1 \geq \Delta S$ коэффициент k_r имеет постоянную (в пределах точности опыта) и равную для двух типов черных тел величину. При $S_1 < \Delta S$, т. е. при переходе в пограничный слой, коэффициент k_r резко возрастает и имеет различные значения для двух типов черных тел*. Поэтому, прежде чем измерять ϵ_r и k_r по указанному методу, необходимо определить примерное значение толщины пограничного слоя ΔS для данных условий, а измерения производить при S_1 , заведомо больших ΔS .

В таблице приведены основные результаты опытов для двух типов холодных черных тел (х.ч.т.): толщины пограничного слоя ΔS , усредненные значения лучистых характеристик (ϵ_r и k_r) и их погрешности, сравнение измеренных излучательных способностей с рассчитанными при помощи

* Разброс точек в пределах ΔS объясняется тем, что одним и тем же значениям S_1 соответствуют различные S_2 , и поэтому там, где $k_r = \text{const}$, точки ложатся на прямую, а там, где k_r — переменный, получается разброс из-за усреднения k_r для разных значений S_2 .

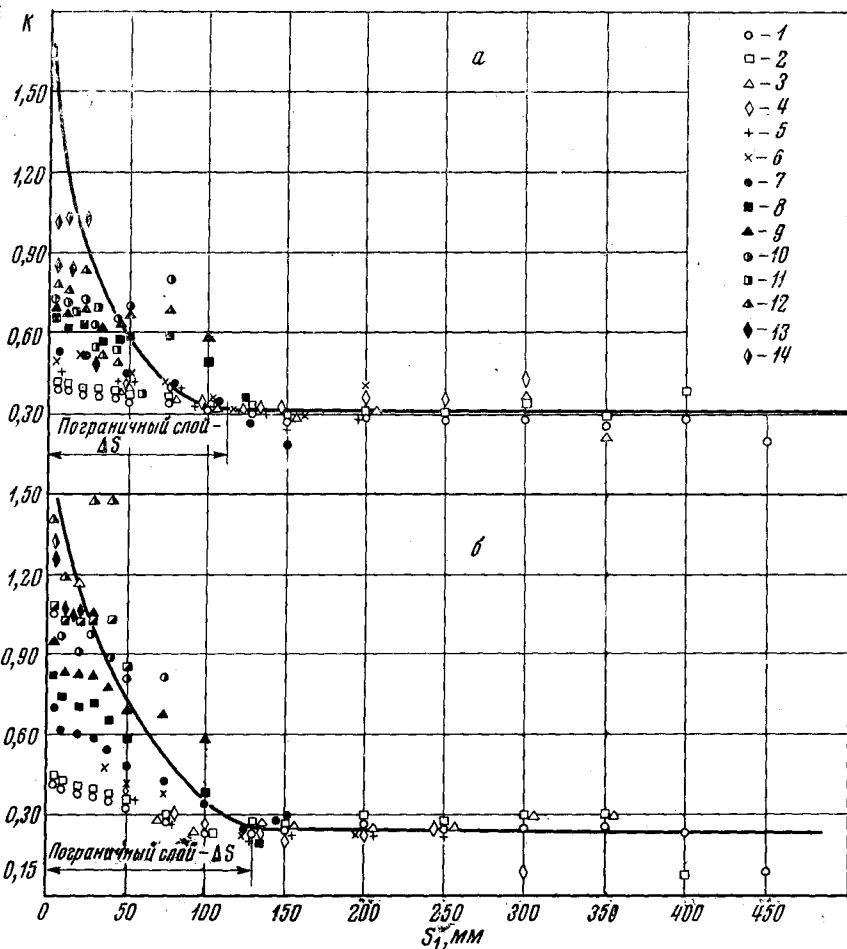


Рис. 3. График функции $k_r = f(S_1; S_1 + S_2)$:

а — измерения с цилиндрической моделью черного тела; б — измерения с моделью черного тела в виде оребренной стенки; $S_1 + S_2$: 1—500; 2—450; 3—400; 4—350; 5—300; 6—250; 7—200; 8—150; 9—125; 10—100; 11—75; 12—50; 13—40; 14—30 мм

Сравнительные результаты опытов по определению лучистых характеристик газового потока

Тип холодных черных тел	ΔS , мм	k , м^{-1} ¹	Δk , м^{-1} ²	δk , % ³	$\epsilon_{\text{оп}}$ ⁴	$\Delta \epsilon$, % ⁵	$\delta \epsilon$, % ⁶	$\epsilon_{\text{гр}}$ ⁷	$\frac{\Delta \epsilon' = \epsilon_{\text{гр}}}{\epsilon_{\text{оп}}}$ ⁸	$\delta \epsilon'$, % ⁹
Цилиндрическая полость	152	$0,310 \pm 0,026$	$\pm 8,1$	$0,0750 \pm 0,0063$	$\pm 7,8$	$0,0765$	$0,0015$	$+1,96$		
Плоская оребренная стенка	168	$0,250 \pm 0,027$	$\pm 10,8$	$0,0065 \pm 0,0065$	$\pm 10,6$	$0,0765$	$0,0140$	$+18,3$		

¹) — Коэффициент ослабления лучистого потока (по опыту); ²) — абсолютная среднеквадратичная погрешность от среднего опытного значения; ³) — относительная среднеквадратичная погрешность от среднего опытного значения; ⁴) — излучательная способность потока для слоя толщиной 250 мм (по опыту); ⁵) — абсолютная среднеквадратичная погрешность от среднего опытного значения; ⁶) — относительная среднеквадратичная погрешность от среднего значения; ⁷) — излучательная способность потока для слоя толщиной 250 мм по Х. С. Хоттелю; ⁸) — абсолютное отклонение опытных значений от данных Х. С. Хоттеля; ⁹) — относительное отклонение опытных значений от данных Х. С. Хоттеля.

экспериментальных графиков Хоттеля [3] по известным температуре и составу продуктов горения. Повышенное относительное отклонение опытных значений для второй модели холодного абсолютно черного тела следует, очевидно, объяснить несовершенством модели вследствие наличия переизлучения и отражения от его поверхности, т. е. в формуле (4) член $a_{2r} / \epsilon_{2r} \neq 1$. Полученная точность определения ϵ_r является вполне удовлетворительной для подобных измерений.

Указанную методику определения полей лучистых характеристик пламени можно рекомендовать при экспериментальном исследовании процессов тепло- и массообмена, происходящих при горении топлив в печах и камерах сгорания.

Институт газа Академии наук УССР
Институт стали и сплавов

Поступила в редакцию
18 VIII 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Глишков. Основы общей теории печей, Металлургиздат, М., 1962.
 2. А. С. Невский. Теплообмен излучением в металлургических печах и топках котлов. Металлургиздат, Свердловск, 1958.
 3. В. Х. Мак-Адамс. Теплопередача, Металлургиздат, М., 1961.
 4. J. M. Veer, I. J. Claus. J. Fuel., 35, 261, 1962.
-