

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКАХ ПО СУММАРНОМУ ТЕПЛОВОМУ СПЕКТРУ

И. П. Гуляев*, П. Ю. Гуляев**, В. И. Иордан***

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск

**Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

***Алтайский государственный университет, г. Барнаул

Устойчивость процедуры оценки параметров движения двухфазных газодисперсных сред, по сути, являющейся обратной некорректной задачей [1], зависит от точности данных и от структуры уравнения, адекватного процессу и аппаратной реализации способа измерения. В частности виртуальные приборы, использующие метод редукции суммарного теплового спектра [2], представляют собой пример информационно-измерительной системы, точность которой определяется не только вычислительной процедурой, но и влиянием на результат редукции неизбежных аппаратных шумов оптоэлектронного тракта.

Целью настоящей статьи является разработка математической модели влияния энергетического порога шумов, приведенных ко входу аналогового тракта, на разрешающую способность и вычислительную устойчивость виртуального прибора.

Принцип работы виртуального прибора (рис.1) состоит в том, что в аналоговом тракте измеряют интенсивность излучения при разложении в спектр и во время измерения производят суммирование спектральных интенсивностей на длинах волн от пролетающих разнородно нагретых частиц конденсированной фазы, наблюдаемых при движении гетерогенного объекта в поперечном направлении относительно заданного сечения. После этого получают суммарный тепловой спектр U от разнородно нагретых частиц, который является вектором значений:

$$U(l_1), U(l_2), \dots, U(l_i), \dots, U(l_N),$$

где $U(l_i)$ есть суммарная спектральная интенсивность, полученная на длине волн l_i . В «вычислительном» тракте виртуального прибора определяют гистограмму температурного распределения частиц, которая представляет собой вектор значений:

$$Z(T_1), Z(T_2), \dots, Z(T_i), \dots, Z(T_N)$$

на N заданных температурах по следующей формуле:

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №2 2008

$$Z = A^{-1} \cdot U, \quad (1)$$

где A – матрица размером $N \times N$ значений $\|a(l_i, T_j)\|$ спектральной интенсивности излучения черного тела, определяемых по формуле Планка на каждой из N длин волн и каждой из N заданных температур.

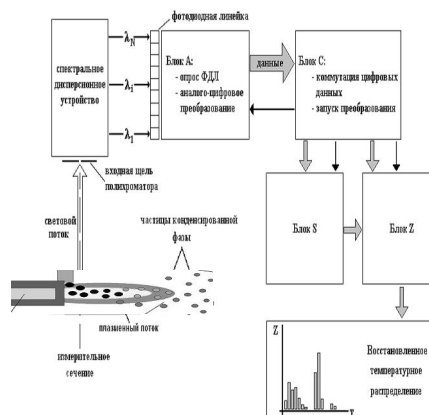


Рисунок 1 – Блок-схема виртуального прибора спектральной диагностики температуры частиц в потоке

Пороговая плотность потока регистрируемого излучения, соответствующая соотношению сигнал/шум, равному 1, определяется выражением

$$\hat{P}_{\text{пор}} = \varepsilon_n \cdot \frac{e^{-t/2T_T} - \sqrt{1 - W_{\text{пор}} / \varepsilon_n \cdot A}}{T_T (1 - e^{-t/2T_T})},$$

где $W_{\text{пор}}$ – энергетический порог аппаратных шумов схем выделения; P – спектральная плотность потока теплового излучения, падающего на ячейку; ε_n – экспозиция насыщения; A – светочувствительная площадь ячейки; T_T – постоянная времени полного темного разряда емкости фотодиода.

Для анализа разрешающей способности виртуального прибора использовалось представление матрицы теплового спектра в виде безразмерной функции М. Планка [3] и из-

вестный закон смещения максимума спектральной плотности излучения В. Вина.

При этом волнам, длины которых заключены в интервале λ и $\lambda + \Delta\lambda$, соответствует плотность излучения $Jd\lambda$. Тогда, согласно закону Планка,

$$J = hc^2 \lambda^{-5} (e^{hc/k\lambda T} - 1)^{-1},$$

где c - скорость света в вакууме, k - постоянная Больцмана, h - постоянная Планка. Если ввести два числа x и y , положив:

$$\lambda = \frac{hc}{kT} x, \quad J = \frac{k^5 T^5}{h^4 c^3} y,$$

тогда уравнение Планка принимает вид: $(e^{1/x} - 1) \cdot x^5 \cdot y = 1$, а зависимость y от x называется «безразмерной функцией излучения Планка» (БФИП). Матрица теплового излучения с помощью закона Стефана-Больцмана может быть представлена в виде:

$$A = \sigma T^4 Y(x_{\lambda,T}),$$

где σ - постоянная Больцмана, $T^4 = [T_1^4 \quad T_2^4 \quad \dots \quad T_N^4]$ - вектор «сеточных» температур гистограммы, $Y(x_{\lambda,T})$ - безразмерная матрица теплового излучения $N \times N$.

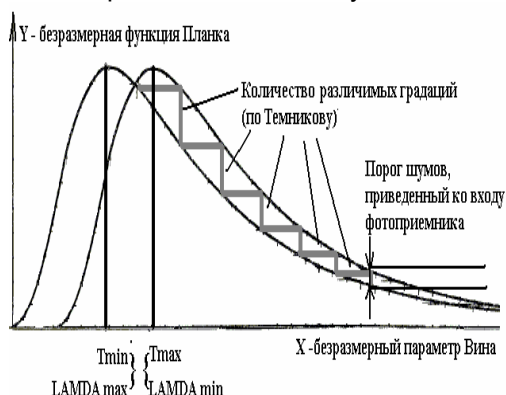


Рисунок 2 – Критерий выбора «сеточной» разрешающей способности

При заданном температурном или спектральном диапазоне легче всего оптимизируется число соответствующих узлов сетки по методу Ф.Е. Темникова [4], путем построения между двумя предельными БФИП «ступенчатой» линии до тех пор, пока величина «ступеньки» не сравняется с порогом аппаратных шумов, приведенных к величине входного оптического сигнала (см. рисунок 2). Таким образом, решается проблема определения разрешающей способности прибора.

Проведенный анализ физической постановки основных задач температурной диагностики дисперснофазных сред оценить устой-

чивость обращения соответствующих интегральных измерительных уравнений. К хорошо обусловленным задачам по Тихонову, допускающим процедуру прямого обращения при уровне приведенных ко входу шумов фотоприемника $\Delta W \leq k\Delta T$, где ΔT - разрешающая способность по температуре, относительно редукция температурного распределения частиц по их интегральному тепловому излучению, если регистрирующий излучение спектрофотометр будет тарирован по эталонным источникам теплового излучения в соответствии с законом смещения Вина:

$$|\lambda_{\min} T_{\max} - \lambda_{\max} T_{\min}| \leq \delta. \quad (2),$$

где δ - малая величина, соизмеримая с минимальным выбранным шагом температурной и спектральной «сетки» редукции ($\Delta\lambda \times \Delta T$).

Выводы. При оптимизации спектрального диапазона или для его согласования с заранее известным температурным диапазоном неоднородно нагретых частиц конденсированной фазы, требуется анализировать двумерную БФИП вместе с изолиниями закона смещения Вина и спектрального максимума чувствительности фотоприемника, причем изолиния спектрального максимума должна удовлетворять условию Виновского смещения. Сама изолиния спектрального максимума фотоприемника должна проходить через точку $(\lambda_{\max} \cdot \langle T_{\text{powder}} \rangle)$, причем $\lambda_{\max}$ - максимум чувствительности фотоприемника, а $\langle T_{\text{powder}} \rangle$ - средняя температура частиц конденсированной фазы потока

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы решения некорректных задач / Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. // М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. литературы, 1978. - 288 с.
2. Способ определения температуры частиц конденсированной фазы движущихся гетерогенных объектов/ Гуляев П.Ю., Евстигнеев В.В., Иордан В.И., Таньков А.В. // Патент РФ № 2107899.- опубл. 27.03.98 в Бюл.И. № 9.
3. Янке Е. Специальные функции (формулы, графики, таблицы): Справочник/ Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.// М.: Наука, 1964. - 344 с.
4. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств.- Л.: Энергия, 1968.- 248 с.