

Метод расчета спектральных яркостей потока смеси газа и частиц

Лагуткин В.Н., Слынько Ю.В.

В данной работе решалась задача определения спектральной плотности излучения потоков смеси газа и частиц. Такая задача актуальна при расчете свечения выхлопной струи реактивного или турбореактивного двигателя, газодинамического лазеров и т.д.

Существуют различные способы решения данной задачи, например, метод Монте-Карло [1] или прямое решение уравнений переноса лучистой энергии.

В качестве физической модели для решения задачи использовалось приближение геометрической оптики. В таком приближении задача сводится к решению системы интегрально-дифференциальных уравнений [2].

$$\vec{l} \nabla B_v(\vec{r}, \vec{l}) = -\alpha_v(\vec{r}) B_v(\vec{r}, \vec{l}) + E_v(\vec{r}, \vec{l})$$

$$E_v(\vec{r}, \vec{l}) = \frac{\sigma_v(\vec{r})}{4\pi} \int_{4\pi} B_v(\vec{r}, \vec{l}') \chi_v(\vec{r}, \vec{l}, \vec{l}') d\vec{l}' + E_v^{in}(\vec{r})$$

где $B_v(\vec{r}, \vec{l})$ - спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ) излучения как функция координат \vec{r} и направления \vec{l} (частота $\nu = 1/\lambda$ - параметр, λ - длина волны), $\alpha_v(\vec{r})$ - спектральный показатель ослабления (на единицу длины), $E_v(\vec{r}, \vec{l})$ - функция источника, состоящая из компонент, описывающих рассеяние (первое слагаемое) и истинное (тепловое) излучение $E_v^{in}(\vec{r})$, $\chi_v(\vec{r}, \vec{l}, \vec{l}')$ - спектральная индикатриса рассеяния.

Численно данную систему можно решить методом последовательных приближений.

В качестве модели поглощения газовой компоненты использовалась база данных HITRAN/HITEMP [3], [4].

В данной модели были учтены следующие явления:

1. Тонкая структура колебательно-вращательных линий поглощения / излучения газов. При этом учтена зависимость силы линий от температуры вплоть до 3000 К.
2. Многократное рассеяние излучения на частицах с заданной индикатриссой

рассеяния.

3. Поглощение и излучение частицами с учетом дифракционного увеличения эффективной площади сечения.
4. Излучение в состоянии неполного термодинамического равновесия, когда температура каждой фракции частиц отличается от температуры окружающего газа.
5. Излучение в состоянии неполного термодинамического равновесия, когда колебательная и поступательно-вращательная температура газов отличаются.
6. Сильное различие геометрических масштабов потока на разных участках.

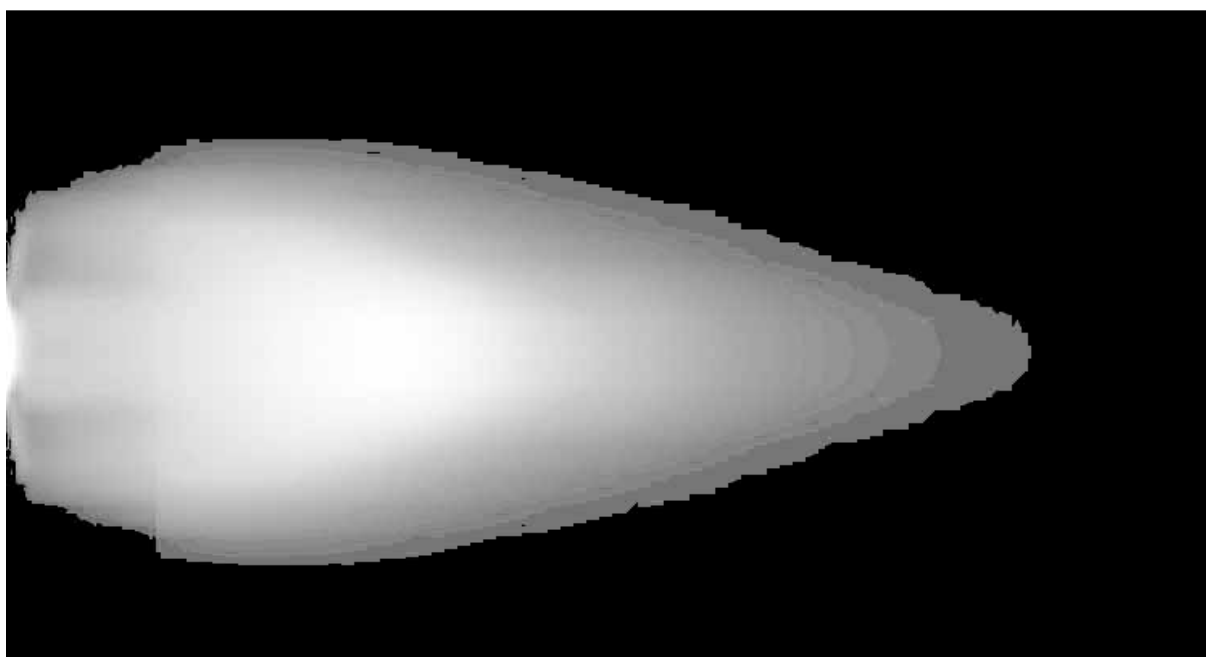


Рис. 1.

В качестве примера расчетов на рис. 1 представлено рассчитанное изображение струи смеси газа и частиц.

Литература

1. Y. Shuai, S.K. Dong, H.P. Tan. Simulation of the infrared radiation characteristics of high-temperature exhaust plume including particles using the backward Monte Carlo method. //Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. – 2005. - V. 95. P. - 231–240.
2. С. Чандрасекар. Перенос лучистой энергии. - М.: Иностранная литература, 1953.
3. L.S. Rothman et al. The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database. // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. -2005, - V. 95.

4. L.S. Rothman, C. Camy-Peyret, J.-M. Flaud, R. Gamache, A. Goldman, D. Goorvitch, R. Hawkins, J. Schroeder, J. Selby, R. Wattson, HITEMP, The High-Temperature Molecular Spectroscopic Database // JQSRT, in press.