

ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛОКАЛЬНО-НЕРАВНОВЕСНОГО ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ

О.Н. Шабловский, И.А. Концевой

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, машиностроительный факультет,
Октября 48, 246746 Гомель, Беларусь
shabl@gstu.gomel.by

Изучаемая краевая задача для системы квазилинейных уравнений гиперболического типа состоит в следующем:

$$\frac{q}{\gamma} + \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad u = \int_0^T c(T) dT, \quad V = \int_0^T \frac{\lambda(T)}{\gamma(T)} dT = \int_0^u w^2(u) du, \quad w^2 = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (1)$$

$$q(x=0, t) = q_0(t), \quad T(x=h, t) = T_w = \text{const}; \quad q(x, t=0) = 0, \quad T(x, t=0) = T_w, \quad (2)$$

где x — декартова координата; t — время; T — температура; q — удельный тепловой поток; λ — коэффициент теплопроводности; c — объемная теплоемкость; γ — время релаксации теплового потока; w — скорость распространения тепловых возмущений. Искомые функции: $T(x, t)$, $q(x, t)$, $x \in [0, h]$, $t \geq 0$; h — толщина слоя материала.

Решение задачи получено на основе прямого численного моделирования. Применяется обобщенный метод интегральных соотношений А.А. Дородницына. В работе изучаются вынужденные колебания полуоткрытого теплового резонатора, материалом которого служит среда с отчетливо выраженными локально-неравновесными свойствами [1]. Сглаживание сильных разрывов, которые могут появляться в ходе эволюции теплового поля, осуществляется с помощью коэффициента искусственной диссипации. В математическом отношении принципиальное отличие теплового резонатора от акустического состоит в следующем. Газ в трубе удовлетворяет термодинамическим свойствам нормального газа, т.е. его уравнение состояния имеет положительную нелинейность. Для локально-неравновесной среды с нелинейными теплофизическими свойствами возможны три варианта: функция состояния $V = V(u)$ может иметь положительную выпуклость ($d^2V/du^2 > 0$), отрицательную выпуклость ($d^2V/du^2 < 0$) либо зависимость $w^2(u)$ — немонотонная, и тогда d^2V/du^2 — знакопеременная функция. Выполнен подробный анализ резонансных, гистерезисных и энтропийных свойств тепловых колебаний. Сформулируем основные результаты.

1. Важнейшим фактором импульсно-периодического теплового воздействия на резонатор является длительность паузы между импульсами излучения. Наличие пауз дает принципиальные изменения в поведении резонансной кривой: появляются одна либо две пары дополнительных резонансных частот.

2. При вынужденных колебаниях теплового резонатора в каждом сечении образца происходит чередование во времени классической ($\overline{q} \text{ grad} T < 0$) и неклассической ($\overline{q} \text{ grad} T > 0$) ситуаций.

3. Гистерезис, обусловленный направлением изменения частоты возбуждающих колебаний ("рост — убывание" и "убывание — рост") обладает сильной чувствительностью по двум параметрам: а) модуль величины отклонения частоты от ее стационарного значения; б) длительность всплеска частоты — чем меньше эта длительность, тем резче выражен гистерезис.

Литература

1. Шабловский О.Н. Релаксационный теплоперенос в нелинейных средах. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2003. 382 с.