

Ю.А. Зубарева (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)
Науч. рук. И.А. Концевой, ст. преподаватель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

В работе изучены амплитудные, частотные и гистерезисные свойства тепловых колебаний, возбуждаемых поверхностным импульсно-периодическим источником энергии в высокотемпературной сверхпроводящей керамике $Y_{0,8} - Sm_{0,2} - Ba_2 - Cu_3 - O_{7-x}$. Теплофизическая модель включает в себя уравнение баланса энергии и закон Максвелла релаксационного теплопереноса [1]. Вынужденные колебания возбуждаются поверхностным источником энергии, действующим на левую границу образца:

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

где x – декартова координата; t – время; q – удельный тепловой поток; T – температура. Образец материала представляет собой плоскую пластину толщины h , расположенную перпендикулярно вектору теплового потока, направленного на пластину. Здесь $q_0(t)$ – плотность потока энергии, поглощенной поверхностью образца материала, T_w – температура правой стенки; $x \in [0, h]$, $t \geq 0$. Импульсно-периодическое тепловое воздействие на материал изучено для двух вариантов: 1) постоянная частота колебаний, $q_0(t) = H(\sin(pt/2))^2$; $p, H - \text{const}$; 2) частота возбуждения $p(t)$ – немонотонная функция времени, $q_0(t) = H(\sin(P(t)/2))^2$, $p(t) = dP(t)/dt$.

Решение краевой задачи выполнено численным методом интегральных соотношений А. А. Дородницына. Расчеты выполнены для трех типов нелинейности. Отметим следующие полученные результаты.

1. Анализ резонансных свойств колебаний при постоянной частоте [2], позволил установить, что в линейном случае добротность резонатора – функция $K_1(p/\omega_1)$, где ω_1 – первая собственная частота, достигает максимум при $p/\omega_1 = 0,5$. Под влиянием же физической нелинейности температуропроводности $a(T)$ пики резонансных кривых $K_1 = K_1(p/\omega_1)$ отклоняются влево или вправо от этого максимума, причем ведущую роль здесь играет параметр неравновесности Γ , который весьма чувствителен к изменению толщины образца h .

2. При переменной частоте $p(t)$ влияние параметра h проявляется одинаково: чем тоньше образец, тем больше площадь петли S на плоскости (p, K_2) «частота – добротность». Столь же чувствительны гистерезисные свойства нелинейных колебаний к длительности всплеска теплового импульса: чем меньше длительность всплеска и/или чем больше Γ , тем сильнее проявляются релаксационные свойства теплопереноса.

3. При фиксированном h зависимость площади петли гистерезиса от параметров процесса одинаковая в качественном отношении для линейной и нелинейной задач. Количественные различия между линейной и нелинейной задачами проявляются по-разному: возможны ситуации, когда учет нелинейности снижает проявление гистерезисных свойств.

4. С ростом параметра неравновесности Γ гистерезис проявляется в значительной степени именно в нелинейных теплофизических условиях. Так, при росте $\Gamma > 0$ после перехода порогового значения $\Gamma = \Gamma_*$ происходит инверсия: меняется вид неравенства [меньше/больше] между площадями петель частотного гистерезиса для линейной и нелинейной задач. Отметим, что для нелинейных вынужденных тепловых колебаний существование порога $\Gamma = \Gamma_*$ в динамических гистерезисных процессах подтверждается практикой наших расчетов и результатами исследования модельных задач [2].

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергоэффективность 1.10.3». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Жоу, Д. Расширенная необратимая термодинамика / Д. Жоу, Х. Касас-Баскос, Дж. Лебон. – Москва–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 528 с.

2. Шабловский, О. Н. Нелинейные свойства вынужденных колебаний локально-неравновесного теплового поля / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // Тепловые процессы в технике, 2010. – Т. 2. – № 6. – С. 267–274.