

УДК 536.2.01

## ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕПЛОвого ПОЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

И. А. Концевой

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Цель работы: исследовать амплитудные, частотные и гистерезисные особенности явления резонанса для различных типов нелинейности свойств материала при импульсно-периодическом воздействии источника энергии на поверхность образца.

Релаксационная модель переноса тепла в неподвижной среде состоит из уравнения для теплового потока и уравнения баланса энергии:

$$(q/\gamma) + (q/t) + (V/x) = 0, \quad (u/t) + (q/x) = 0,$$

где  $x$  – декартова координата;  $t$  – время;  $T$  – температура;  $q$  – удельный тепловой поток;  $c = \rho c_p$  – объемная теплоемкость;  $\rho$  – плотность;  $\gamma$  – время релаксации теплового потока;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $w = (\lambda/c\gamma)^{1/2}$  – скорость распространения тепловых возмущений;  $c(T) = du/dT$ ;  $\lambda(T)/\gamma(T) = dV/dT$ . Искомые функции:  $T(x,t)$ ,  $q(x,t)$ ,  $x \in [0, h]$ ,  $t \geq 0$ ;  $h$  – толщина слоя материала. Вынужденные колебания возбуждаются поверхностным источником энергии, действующим на левую границу плоской пластины:

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

где  $q_0(t)$  – 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,  $q_0(t) = H(\sin(pt/2))^2$ ;  $p, H$  – 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 в безразмерных величинах для трех типов нелинейности температуропроводности  $a(T)$ . Изучено влияние толщины  $h$  образца, длительности всплеска частоты, определяемой параметром  $A_1$ , и величины самого всплеска на площадь петли гистерезиса  $S$  в плоскости «частота – добротность резонатора» при различных режимах изменения частоты  $p(t)$ . Представлены закономерности поведения динамического теплового гистерезиса в условиях сильной физической нелинейности процесса [1]. Типичный пример зависимости  $S = S(h)$  показан на рис. 1.

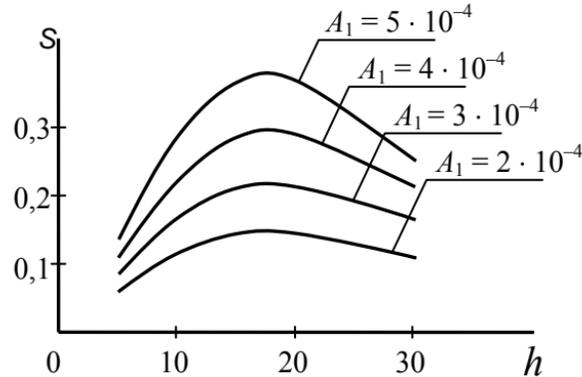


Рис. 1

*Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергоэффективность 2.1.17», научный руководитель госпрограммы профессор О. Н. Шабловский.*

#### Литература

1. Шабловский, О. Н. Физическая нелинейность и вынужденные колебания теплового поля высокотемпературного сверхпроводника / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 30–37.