

# ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ С ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

**А. Е. Лисун**

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

Научный руководитель Д. Г. Кроль

Задачи промышленной экологии и экологической безопасности отличаются огромным разнообразием взаимодействий. В современной теории динамических систем, применяемых при математическом моделировании экологических процессов, важное место принадлежит системам, которые содержат источники энергии и характеризуются наличием пространственно-периодических стационарных и нестационарных состояний [1]. Обычно такие состояния изучаются в одномерном и квазиодномерном приближениях. В докладе изложены результаты исследования периодических 2D-структур. Суть изучаемой проблемы состоит в следующем. Система «среда – источник энергии» находится в стационарном состоянии. Это состояние характеризуется двухмерным плоским температурным полем, периодическим по координате  $x, y$ . Например, такое тепловое поле может быть условием функционирования двумерной системы кластеров (ячеек) различной теплофизической системы.

Внешний по отношению к среде источник энергии  $W$  возбуждает стоячую волну, которая локализована на линии разрыва  $x = 0$ . Цели исследования: 1) проанализировать закономерности воздействия стоячей волны на пространственно-периодическое тепловое поле; 2) изучить морфологические свойства двумерного поля изотерм.

Для исследования нестационарных температурных полей применяем уравнение теплопроводности с источником энергии:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v, \quad q_v = q_v^1 (T - T_0), \quad q_v^1 > 0, \quad \lambda, c, q_v^1, T_0 - \text{const},$$

где  $T$  – температура;  $c$  – объемная теплоемкость;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $x, y$  – прямоугольные декартовы координаты;  $t$  – время;  $q_v$  – мощность внутренних источников тепла.

Решение уравнения теплопроводности (1) представим в виде  $\tau(x, y, t) = \tau_s(x, y) + \theta(x, y, t)$ , где  $\tau = T - T_0$  – отклонения температуры от ее нейтрального значения;  $q_v(T = T_0) = 0$ . Для стационарной температуры  $\tau_s(x, y)$  рассмотрим случай, когда нейтральная изотерма  $\tau_s = 0$  представляет ячейки треугольного вида:  $\tau_s(x, y) = 2A_3 \sin(y) [\cos(y) - \cos(x\sqrt{3})]$ ,  $q_v^1 / \lambda = 4$ . Здесь  $\tau_s = 0$  вдоль линий  $y = \pi n_0$ ,  $x\sqrt{3} \pm y = \pi n_0$ . Нестационарная часть решения имеет вид:  $\theta(x, y, t) = A_1 \exp(-rx) \sin(\omega t - rx) \sin(hy)$ ,  $h^2 = q_v^1 / \lambda$ ,  $r = (\omega / 2a)^{1/2}$ ,  $a = \lambda / c$ . Здесь  $A_1, \omega$  – произвольные постоянные.

Типичные изображения линий изотерм представлены на рис. 1, а. Отчетливо наблюдается «шахматный» порядок расположения изотерм. Основным элементом всех этих периодических структур является нейтральная изотерма  $\tau = 0$ . Возбуждающая стоячая волна изменяет морфологические свойства исходных (стационарных) изотерм. Эти изменения локализованы в конечной окрестности разрыва  $x = 0$ , и в ходе колебаний формируется режим пульсаций, при котором деформированные линии отдельных изотерм сближаются/удаляются друг от друга. Характер деформирования нейтральной изотермы полностью зависит от структуры исходного стационарного температурного поля. Хорошо видно, что режим пульсаций проявляется прежде всего вблизи нейтральной изотермы, примыкающей к разрыву  $x = 0$  (рис. 1, а).

Для иллюстрации градиентных свойств температурных полей были построены фазовые портреты изучаемой теплофизической системы в трехмерном пространстве (рис. 1, б). Индексом  $j$  отмечены значения функций при  $x = 0$  на волне  $y_j = (\omega t - \pi / 4) / n$ ,  $t \geq 0$ .

Представленные в докладе результаты численного моделирования позволяют сделать качественные и количественные оценки динамического внешнего воздействия на стационарные тепловые структуры.

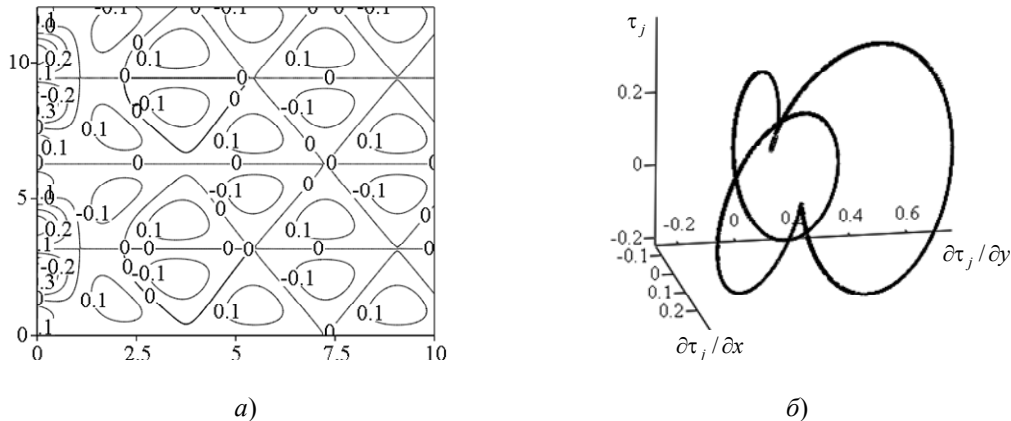


Рис. 1. Типичное промежуточное состояние  $[t = \pi/(2\omega)]$  линий изотерм при воздействии стоячей волны на стационарное тепловое поле (а); фазовый портрет теплофизической системы (б)

*Работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика 2.1.17». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.*

#### Литература

1. Шабловский, О. Н. Неравновесные тепловые структуры в средах с источниками энергии / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроть. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 208 с.