

**ТЕРМОКАПИЛЛЯРНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ
В УСЛОВИЯХ ИСПАРЕНИЯ**

Д.А. Кожевников

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет

Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: den_linad@mail.ru

**THERMOCAPILLARY CONVECTION
WITHIN A CYLINDRICAL CAVITY UNDER THE EVAPORATION EFFECT**

D.A. Kozhevnikov

Scientific Supervisor: Dr. M.A. Sheremet

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: den_linad@mail.ru

***Abstract.** The study of natural convection in an open cylindrical cavity in view of evaporation from the free surface has been carried out. Governing equations formulated in dimensionless variables have been solved by finite difference method. Effects of key parameters on fluid flow and heat transfer patterns have been analyzed. It has been found that an increase in Marangoni number leads to a decrease in the circulation intensity within the cavity and heat transfer reduction along the free boundary.*

Испарение как один из процессов фазового перехода встречается во многих технологических и природных системах. Особенностью этого процесса является его реализация на свободной поверхности жидкости. Следует отметить, что поверхностные (капиллярные) силы, действующие тангенциально к свободной или межфазной поверхности жидкости, появляются при наличии неоднородности поверхностного натяжения и направлены в сторону его увеличения. Вовлекая в движение поверхность и прилегающие к ней слои жидкости, эти силы инициируют развитие объемного конвективного течения, получившего название конвекции Марангони.

Целью настоящей работы является численное моделирование конвективного теплопереноса в вертикальной цилиндрической полости в условиях слабоинтенсивного испарения со свободной поверхности в случае зависимости поверхностного натяжения от температуры. Жидкость находится в полуоткрытом вертикальном цилиндре с адиабатической нижней стенкой, на боковой поверхности задан постоянный тепловой поток, верхняя граница является открытой (рис. 1). Испарение осуществляется со свободной верхней поверхности.

Краевая задача формулируется в безразмерных преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура» на основе приближения Буссинеска и в предположении линейной зависимости поверхностного натяжения от температуры. Определяющие уравнения имеют вид:

$$\nabla^2 \psi - \frac{2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} = -r\omega, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(V_r \omega)}{\partial r} + \frac{\partial(V_z \omega)}{\partial z} = \sqrt{\frac{Pr}{Ra}} \cdot \left(\nabla^2 \omega - \frac{\omega}{r^2} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial r}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(V_r \theta)}{\partial r} + \frac{\partial(V_z \theta)}{\partial z} + \frac{V_r \theta}{r} = \frac{1}{\sqrt{Ra \cdot Pr}} \nabla^2 \theta. \quad (3)$$

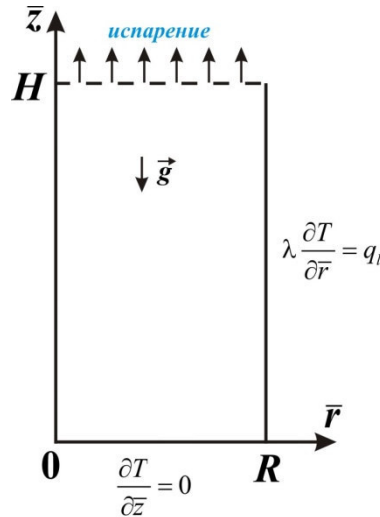


Рис. 1. Область решения задачи

Граничные условия в математической форме полностью описывают представленные особенности анализируемого физического процесса на границах области. Сформулированная краевая задача (1)–(3) была реализована численно методом конечных разностей [1, 2] на равномерной сетке. Разработанный численный алгоритм был протестирован на модельных задачах [3, 4], а также на множестве сеток.

Численное моделирование было проведено в широком диапазоне изменения определяющих параметров: число Рэлея ($Ra = 10^4 - 10^5$), число Марангони ($Ma = 0 - 1000$) и геометрический параметр ($AR = 0.5 - 1.5$). На рис. 2 представлены распределения линий тока и изотерм при $AR = 1.0$, $Ma = 100$ и различных значениях числа Рэлея.

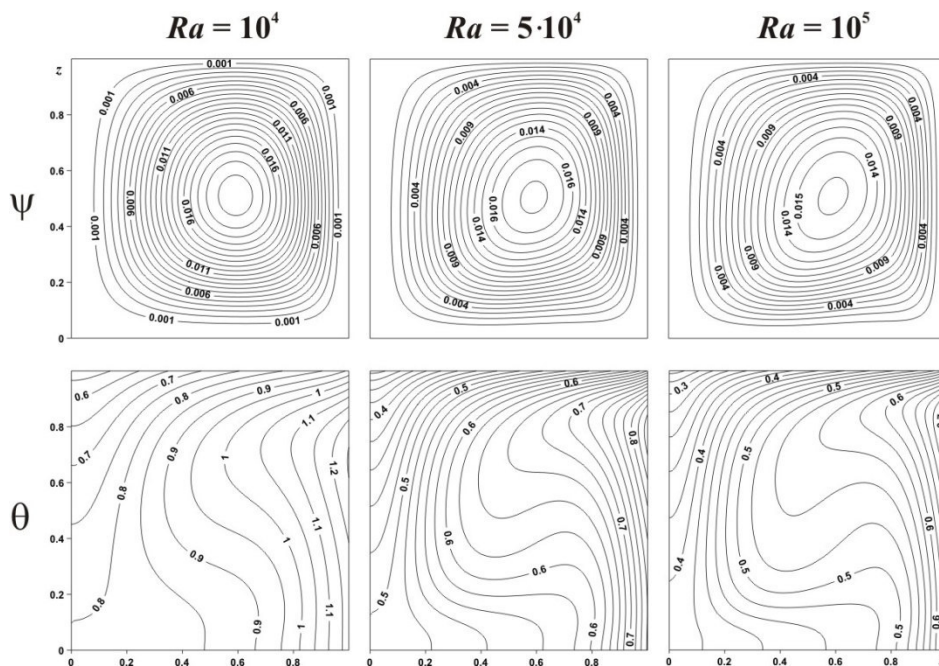


Рис. 2. Линии тока ψ и изотермы θ при $AR = 1.0$, $Ma = 100$ и различных Ra

Следует отметить, что увеличение числа Рэлея приводит к снижению интенсивности циркуляции среды внутри цилиндрической полости, а также проявляется в существенном охлаждении внутри цилиндра вследствие более интенсивного испарения со свободной поверхности.

Влияние числа Марангони на распределения изолиний функции тока и температуры внутри полости при $AR = 1.0$, $Ra = 10^5$ представлено на рисунке 3. Можно отметить, что увеличение Ma приводит к снижению интенсивности теплообмена на свободной границе, и как результат иллюстрирует менее интенсивное охлаждение полости.

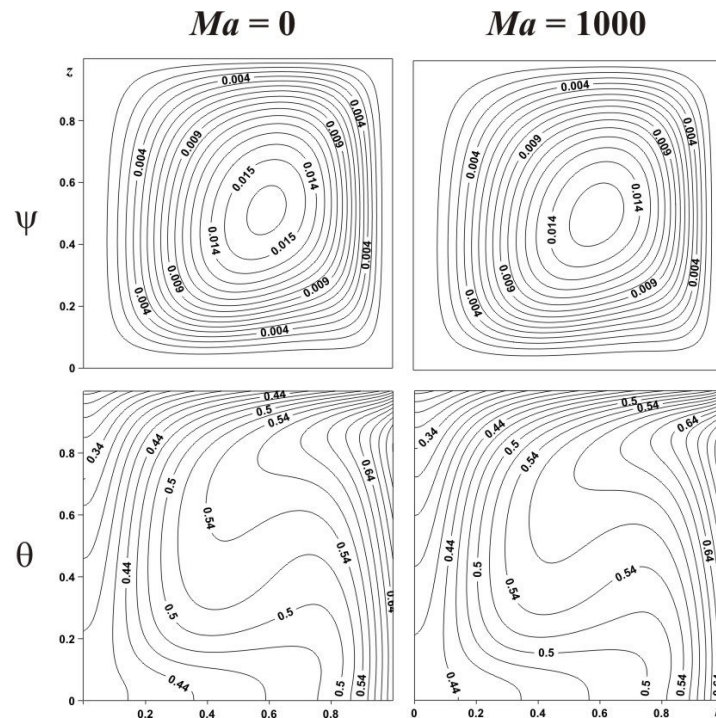


Рис. 3. Линии тока ψ и изотермы θ при $AR = 1.0$, $Ra = 10^5$ и различных Ma

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых (грант МД-2819.2017.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
2. Шеремет М.А. Сопряженные задачи естественной конвекции. Замкнутые области с локальными источниками тепловыделения. – Берлин: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 176 с.
3. Khelifi-Touhami M.S., Benbrik A., Lemonnier D., Blay D. Laminar natural convection flow in a cylindrical cavity application to the storage of LNG // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2010. – Vol. 71. – P. 126–132.
4. Rudraiah N., Venkatachalappa M., Subbaraya C.K. Combined surface tension and buoyancy-driven convection in a rectangular open cavity in the presence of a magnetic field // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 1995. – Vol. 30. – P 759–770.