

О. О. Шестак, М. А. Шерemet (Томск, НИ ТГУ). Интенсификация теплообмена вблизи изотермической вертикальной поверхности, помещенной в наножидкость.

Моделирование технических и природных систем, в которых режимы конвективного теплопереноса являются определяющими, стало весьма популярным предметом исследования, в связи с развитием и модернизацией современных технологий, а получающие все большее распространение микро и нанотехнологии диктуют необходимость уменьшения размеров и массы элементов систем охлаждения и разработки эффективных методов управления теплообменом для увеличения эффективности работы и срока службы. Для обеспечения эффективного теплообмена прибегают к различным методам интенсификации. Одним из перспективных способов интенсификации теплообменных процессов представляется повышение теплопроводности теплоносителя (жидкости, газа или другой базовой среды) путем добавления в него наночастиц высокотеплопроводного материала. Суспензии на основе наночастиц твердой фазы называются наножидкостями [1–3].

В работе, представленной данным сообщением, рассматривается естественная конвекция вблизи равномерно нагретой вертикальной поверхности достаточно большой протяженности, помещенной в наножидкость с постоянными теплофизическими свойствами. Состав наножидкости — это вода, содержащая один из пяти различных видов наночастиц: медь (Cu), серебро (Ag), оксид алюминия (Al_2O_3), оксид меди (CuO) и оксид титана (TiO_2). Также рассматриваются различные модели для эффективных коэффициентов теплопроводности и динамической вязкости наножидкости, описанные в [1–3].

Определяющие уравнения пограничного слоя для вертикальной поверхности, помещенной в наножидкость, могут быть записаны в следующем виде:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{(\rho\beta)_{nf} g (T - T^e)}{\rho_{nf}}, \quad (2)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad \alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}}, \quad (3)$$

где u и v компоненты скорости, ρ_{nf} плотность наножидкости, μ_{nf} динамическая вязкость наножидкости, β_{nf} коэффициент теплового расширения наножидкости, k_{nf} коэффициент теплопроводности наножидкости, T^e температура окружающей среды, g ускорение свободного падения, $(\rho C_p)_{nf}$ теплоемкость наножидкости.

Уравнения пограничного слоя с соответствующими граничными условиями были преобразованы к обыкновенным дифференциальным уравнениям методом переменной подобия и решены с использованием метода Рунге–Кутты четвертого порядка точности совместно с процедурой пристрелки. Разработанный алгоритм был успешно протестирован на модельной задаче [4].

На рис. представлены распределения безразмерной скорости и температуры наножидкости в случае наночастиц оксида алюминия различной концентрации (от 0 до

5 процентов) Анализ полученных результатов показывает, что введение наночастиц в базовую среду приводит к уменьшению скорости движения, в связи с ростом вязкости среды, при этом температура увеличивается. Повышение температуры отражает интенсификацию теплообмена от вертикальной пластины, что обусловлено ростом эффективного коэффициента теплопроводности наножидкости при увеличении концентрации наночастиц высокотеплопроводного материала.

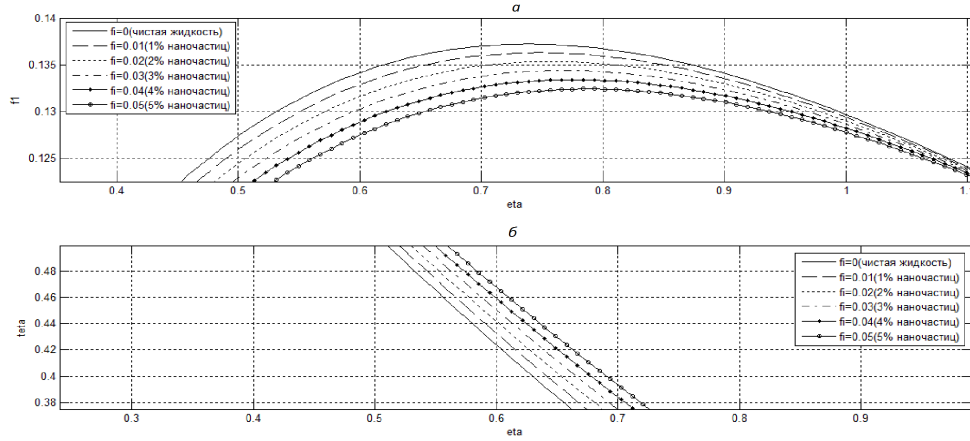


Рис. Распределения безразмерной скорости (а) и температуры (б) наножидкости при наличии наночастиц Al_2O_3 , $0 \leq \phi \leq 0,05$, $Pr=6,2$.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России (задание № 13.1919.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Oztop HF, Abu-Nada E.* Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. — *Int. J. Heat Fluid Flow*, 2008, v. 29, № 5, p. 1326–1336.
2. *Alloui Z, Vasseur P, Reggio M.* Natural convection of nanofluids in a shallow cavity heated from below. — *Int. J. Therm. Sci.*, 2011, v. 50, № 3, p. 385–393.
3. *Rana P., Bhargava R.* Numerical study of heat transfer enhancement in mixed convection flow along a vertical plate with heat source/sink utilizing nanofluids. — *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.*, 2011, v. 16, p. 4318–4334.
4. *Crepeau JC, Clarksean R.* Similarity solutions of natural convection with internal heat generation. — *J. Heat Transfer*, 1997, v. 119, № 1, p. 183–185.