

УДК 536.24

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАНОЧАСТИЦ НА СВОБОДНУЮ КОНВЕКЦИЮ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ
НАНОЖИДКОСТИ В ПОЛОСТИ С ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ И ПОРИСТЫМИ
РЕБРАМИ**Д.С. Лоенко

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. М.А. Шеремет
 Национальный исследовательский Томский государственный университет,
 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
 E-mail: whiteink@bk.ru

**EFFECT OF THE NANOPARTICLES COMPOSITION ON THE NON-NEWTONIAN NANOFLUID
FREE CONVECTION IN A CAVITY WITH A HEAT-GENERATING ELEMENT AND POROUS FINS**D.S. Loenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.A. Sheremet
 Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
 E-mail: whiteink@bk.ru

Abstract. *This work is devoted to the study of the nanoparticles material effect on the pseudoplastic nanofluid natural convection in a closed cavity in the presence of a heater and porous fins. The following substances have been used as nanoadditives: Al_2O_3 , Cu, CuO, TiO_2 . The process is described by non-stationary differential equations based on the conservation laws of mass, momentum and energy based on the non-primitive variables "stream function and vorticity". The pseudoplastic properties of the base fluid have been described by the Ostwald-de Waele power law. The effective nanosuspension parameters have been calculated using experimental correlations reflecting the temperature effect.*

Описание исследования. Данная работа посвящена оценке влияния химического состава нанодобавок на свободно-конвективное течение неньютоновской наножидкости в замкнутой квадратной полости, представленной на рисунке 1. На нижней стенке полости расположен источник постоянного объемного тепловыделения Q , над ним теплопроводная медная подложка. На подложке находятся пористые ребра, состоящие из алюминиевой пены. Стенки корпуса поддерживаются при постоянной низкой температуре T_c . Внешние границы по периметру подложки теплоизолированы. Полость заполнена смесью карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) с водой и наночастицами. Базовая жидкость КМЦ/вода проявляет свойства псевдопластичности, что означает снижение вязкости при увеличении скорости деформации. Такие жидкости являются классом неньютоновских сред, течение которых описывается различными моделями. В данной работе используется степенной закон Оствальда-де-Вилля [1]:

$$\tau_{ij} = 2\mu_{nf} D_{ij} \quad (1)$$

Здесь μ_{nf} – эффективный коэффициент вязкости наножидкости, который вычислялся с помощью соотношения Гюо и др. [2]:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = \left(1 + 2.5\phi + 6.5\phi^2\right) \left(1 + 350 \frac{\phi}{d_p}\right) \quad (2)$$

В соотношении (2) присутствует вязкость базовой жидкости, которая, в соответствии со степенным законом, определялась следующим соотношением: $\mu_{bf} = K(2D_{kl}D_{kl})^{\frac{n-1}{2}}$, где K – коэффициент плотности потока; D_{kl} – компоненты тензора скоростей деформации; n – показатель поведения жидкости, который характеризует свойства среды. Таким образом, если $n > 1$, то жидкость является дилатантной. У такой среды вязкость увеличивается с ростом скоростей деформации. При $n = 1$ вязкость жидкости имеет линейную зависимость от скорости деформации. При $n < 1$ среда является псевдопластичной, как в нашем случае. Для разного содержания КМЦ в воде показатель поведения изменяется от 0.81 до 0.91. Именно наличие псевдопластичных свойств у базовой среды позволяет интенсифицировать конвективный теплообмен в полости, что делает такую жидкость эффективной в задачах охлаждения нагретых элементов.

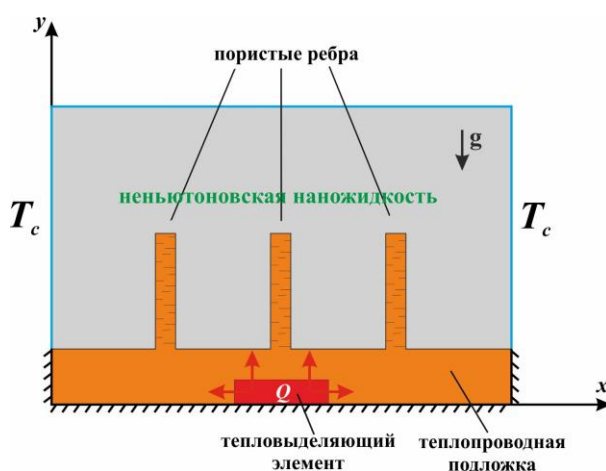


Рис. 1. Область решения задачи

Также в вопросах эффективного теплоотвода от нагретых элементов можно использовать частицы нанометрового размера, которые имеют более высокую теплопроводность в отличие от привычных рабочих жидкостей. В данной работе используемые наночастицы представляют собой следующие вещества: Al_2O_3 , Cu, CuO, TiO_2 . Все свойства материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Свойства материалов

Свойства		c , Дж/кг·К	ρ , кг/м ³	λ , Вт/м·К
Базовая жидкость КМЦ/вода [3]		4179	997.1	0.613
Источник энергии (Кремний) [4]		710	2330	150
Подложка (Cu) [4]		385	8920	400
Пористые ребра (алюминиевая пена) [5]		897	2700	205
Наночастицы [6]	Cu	385	8933	400
	Al_2O_3	765	3970	40
	CuO	535.6	6500	20
	TiO_2	686.2	4250	8.9538

Добавление наночастиц в базовую среду позволяет увеличить теплопроводность всей наножидкости. В нашем случае для вычисления эффективной теплопроводности используется экспериментальная корреляция Жанга и Чой [7], которая отражает влияние температуры, а также объемной доли наночастиц и их диаметра:

$$\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_{bf}} = (1-\phi) + 0.01 \frac{\lambda_p}{\lambda_{bf}} \phi + \left(18 \cdot 10^6\right) \frac{d_{bf}}{d_p} Re^2 Pr \phi \quad (3)$$

Поставленную задачу описывает система нестационарных дифференциальных уравнений Навье-Стокса в преобразованных безразмерных переменных «функция тока и завихренность». Приближение Буссинеска используется для описания влияния выталкивающей силы, а модель Дарси–Бринкмана – для описания транспортных процессов внутри пористых ребер.

Описанная задача решалась на основе метода конечных разностей. Разработанный алгоритм решения и вычислительный комплекс на языке C++ были протестированы на более простых задачах [8]. Также было оценено влияние сеточных параметров на сходимость решения. В ходе исследования был проведен анализ влияния состава наночастиц, а также их объемной доли на возможность интенсификации отвода тепла от нагретого элемента. Результаты рассматривались в виде распределения линий тока и изотерм, а также по средней температуре в источнике тепла.

Работа выполнена при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khezzar L., Siginer D., Vinogarov I. Natural convection of power law fluids in inclined cavities // International Journal of Thermal Sciences. – 2012. – Vol. 53. – P. 8-17.
2. Guo S.S., Luo Z.Y., Tao W., Zhao J.F., Cen K.F. Viscosity of monodisperse silica nanofluids // Bull. Chin. Ceram. Soc. – 2006. – Vol. 25 (5). – P. 52-55.
3. Nabwey H.A., Rashad A.M., Khan W.A., Alshber S.I. Effectiveness of magnetize flow on nanofluid via unsteady natural convection inside an inclined U-shaped cavity with discrete heating // Alexandria Engineering Journal. – 2022. – Vol. 61. – P. 8653-8666.
4. Khan A.U., Ullah N., Al-Zubaidi A., Nadeem S. Finite element analysis for CuO/water nanofluid in a partially adiabatic enclosure: Inclined Lorentz forces and porous medium resistance // Alexandria Engineering Journal. – 2022. – Vol. 61. – P. 6477-6488.
5. Astanina M.S., Buonomo B., Manca O., Sheremet M.A. Three-dimensional natural convection of fluid with temperature-dependent viscosity within a porous cube having local heater // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2022. – Vol. 139. – P. 106510.
6. Maleki H., Safaei M.R., Alrashed A.A.A.A., Kasaeian A. Flow and heat transfer in non-Newtonian nanofluids over porous surfaces // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2019. – Vol. 135. – P. 1655-1666.
7. Jang S.P., Choi S.U.S. Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity // Journal of Heat Transfer. – 2007. – Vol. 129. – P. 617-623.
8. Loenko D.S., Sheremet M.A. Convective heat transfer of a pseudoplastic nanosuspension within a chamber with two heated wall sections of various heat fluxes // Symmetry. – 2022. – Vol. 14. – P. 2688.