

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
с элементами научной школы для молодых ученых



XXXIV

СИБИРСКИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ СЕМИНАР,

посвященный 85-летию
академика А.К. Реброва

27 – 30 августа 2018 г.
Новосибирск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск 2018

УДК 532.5:536

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА С НАНОЧАСТИЦАМИ ВНУТРИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Бондарева Н.С., Шеремет М.А.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36

Задачи отведения и накопления энергии представляют большой интерес в развитии современной промышленности. Использование материалов с фазовыми переходами позволяет накапливать и высвобождать энергию при одной и той же температуре. На сегодняшний день такие материалы применяются в тепловых трубах и электронных устройствах [1-4]. К таким материалам относятся парафины, воски, солевые растворы и др., как правило, они обладают высокой удельной теплотой плавления, подходящей температурой фазового перехода, химической стабильностью.

Теплопроводность таких материалов выше чем у воздуха, в то же время они обладают более высокой вязкостью. Поэтому для усиления теплообмена в материал добавляют наночастицы с высокой теплопроводностью. Экспериментальные исследования [5] показали, что теплопроводность является возрастающей функцией температуры и объемной доли наночастиц. В работе также была представлена зависимость теплопроводности материала с наночастицами от температуры и объемной доли частиц:

$$\lambda_{nm} = \frac{\lambda_{np} + 2\lambda_f - 2(\lambda_f - \lambda_{np})\Phi}{\lambda_{np} + 2\lambda_f + (\lambda_f - \lambda_{np})\Phi} \lambda_f + 5 \cdot 10^4 \beta_\lambda \Phi r_f c_f \sqrt{\frac{\kappa T}{\rho_{np} d_{np}}} f(T, \Phi),$$

где $\kappa = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – постоянная Больцмана, функция $f(T, \Phi)$ определяется из соотношения:

$$f(T, \Phi) = (2.817 \cdot 10^{-2} \Phi + 3.917 \cdot 10^{-3}) T/T_0 + (-3.0669 \cdot 10^{-2} \Phi - 3.91123 \cdot 10^{-3})$$

и $T_0 = 273^\circ \text{K}$.

Следует отметить, что при добавлении наночастиц меняются гидродинамические свойства материала. Так, в работе [6] было показано, что увеличение теплопроводности при добавлении наночастиц сопровождается увеличением вязкости материала и, как следствие, подавлением конвективного теплопереноса.

Предлагаемое исследование посвящено численному моделированию нестационарного теплопереноса в системе, содержащей материал с изменяемым фазовым состоянием, усиленный наночастицами. Система уравнений Навье-Стокса, сформулированная в безразмерных переменных «функция тока – завихренность – температура», была решена с использованием метода конечных разностей [7-9]. Единое уравнение энергии для расплава и твердого материала

решалось сквозным счетом. Введенная сглаживающая функция обеспечила плавный переход теплофизических параметров и сглаживание скачка внутренней энергии при переходе из одной фазы в другую [7]. Уравнения гидродинамики решались в области расплавленного материала с определением границы фазового перехода на основе поля температуры на каждом шаге по времени. Производные аппроксимировались со вторым порядком точности по пространственным координатам и с первым порядком точности по времени. Для решения разностного уравнения для функции тока использовался метод последовательной верхней релаксации. Дифференциальные уравнения энергии и дисперсии завихренности были решены с использованием локально-одномерной схемы А.А. Самарского.

Работа выполнена в рамках реализации проекта Российского научного фонда (соглашение № 17-79-20141).

Список литературы:

1. Mahmoud S., Tang A., Toh C., Al-Dadah R., Soo S.L. Experimental investigation of inserts configurations and PCM type on the thermal performance of PCM based heat sinks// Applied Energy. 2013. Vol. 112. P. 1349–1356.
2. Dhaidan N.S., Khodadadi J.M. Melting and convection of phase change materials in different shape containers: A review// Renewable and sustainable energy reviews. 2015. Vol. 43. P. 449–477.
3. Shamsi H., Boroushaki M., Geraei H. Performance evaluation and optimization of encapsulated cascade PCM thermal storage// Journal of Energy Storage. 2017. Vol. 11. P. 64–75.
4. Nehari T., Benlekkam M., Nehari D., Youcefi A. The effect of inclination on the passive cooling of the solar PV panel by using phase change material// International journal of renewable energy research. 2016. Vol. 6, № 1. P. 1434–1441.
5. Vajjha R.S., Das D.K. Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations// International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009. Vol. 52. P. 4675–4682.
6. Zeng Y., Fan L.-W., Xiao Y.-Q., Yu Z.-T., Cen K.-F. An experimental investigation of melting of nanoparticle-enhanced phase change materials (NePCMs) in a bottom-heated vertical cylindrical cavity// International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 66. P. 111–117.
7. Бондарева Н.С., Шеремет М.А. Математическое моделирование режимов плавления в квадратной полости с локальным источником энергии // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23, № 4. С. 577–590.
8. Bondareva N.S., Sheremet M.A., Oztop H.F., Abu-Hamdeh N. Entropy generation due to natural convection of a nanofluid in a partially open triangular cavity// Advanced Powder Technology. 2017. Vol. 28. P. 244–255.
9. Bondareva N.S., Sheremet M.A. Flow and heat transfer evolution of PCM due to natural convection melting in a square cavity with a local heater // International Journal of Mechanical Sciences. 2017. Vol. 134. P. 610–619.