

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ КОНВЕКЦИИ НАТРИЯ В НАКЛОННОМ ЦИЛИНДРЕ

Теймуразов А.С., Фрик П.Г.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Работа посвящена численному изучению конвекции Релея–Бенара в цилиндрической полости с аспектным отношением (отношением длины к диаметру) ≈ 5 , заполненной жидким натрием. Для расчетов выбраны параметры, соответствующие параметрам экспериментальной установки, на которой было проведено исследование турбулентного конвективного теплообмена при вертикальном, наклонном, и горизонтальном положениях цилиндра [1]. Численное моделирование позволяет детально изучить структуру и характеристики течения, недоступные для экспериментальных измерений.

Расчетная область представляла собой цилиндр с длиной $L = 850$ мм и диаметром $D = 168$ мм. Параметры среды соответствуют жидкому натрию при температуре 165°C ($Pr = 0.0083$). При этом число Релея (если за характерный размер принять L) составляло $Ra = 10^9$. Математическая модель основана на уравнениях термогравитационной конвекции в приближении Буссинеска. Использована неравномерная расчетная сетка со сгущением вблизи границ с общим числом узлов 1.65 млн. Для учета турбулентности применен метод крупных вихрей (LES). Для реализации численной схемы применяется пакет программ OpenFOAM Extend 3.2. Расчеты проводились на вычислительном кластере «Тритон» ИМСС УрО РАН (г. Пермь).

Трехмерные нестационарные расчеты выполнялись для различной ориентации цилиндра относительно силы тяжести, что существенно меняло свойства течения. Углы наклона установки варьировались в диапазоне $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ с шагом $\pi/20$. Получены мгновенные и средние характеристики течения, проанализированы поля пульсаций скорости и температуры. Рассмотрено влияние способа задания граничных условий для температуры (фиксированный поток тепла либо фиксированное значение температуры на торцах цилиндра) на структуру пограничного слоя и крупномасштабную циркуляцию. Показано, что между экспериментальными данными и численными расчетами с наблюдается хорошее согласие. Исследовано влияние угла наклона цилиндра полости на теплоперенос. Обнаружено, что наибольшее значение числа Нуссельта достигается при $\alpha = 7\pi/20$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-01-00459а).

Литература

- [1] Frick P., Khalilov R., Kolesnichenko I., Mamykin A., Pakholkov V., Pavlinov A., Rogozhkin S. Turbulent convective heat transfer in a long cylinder with liquid sodium // *Europhysical Letters*. – 2015. – V. 109, № 1. – P. 14002.