

ВЕРИФИКАЦИЯ ПАКЕТА ANSYS FLUENT НА ЗАДАЧЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

А. И. Иванов, М. А. Шеремет
Томский политехнический университет
Andruxa_ivanich@mail.ru

Введение

В последнее время все больше внимания уделяется задачам конвективного теплопереноса при наличии осложняющих факторов, что связано как с попыткой обобщения теории конвективного теплопереноса, так и с широкими возможностями моделирования сложных технических систем. Конвективные движения являются неотъемлемыми элементами многих природных процессов, наблюдаемых в атмосфере и океанах Земли, а также течений, реализуемых в различных технологических устройствах. Это определяет большой интерес экспериментальному и численному изучению конвективных процессов [1]. Однако изучение формирования подобных течений в эксперименте требует больших временных и материальных затрат. В отличие от эксперимента, численный подход дает возможность варьировать ряд важных параметров задачи, таких как вязкость, линейная скорость движения модели, температура различных элементов, существенно влияющих на формирование и поведение конвективных течений.

Целью данной работы, является проведение численного исследования конвективных течений в дифференциально обогреваемой кубической полости на основе программного комплекса ANSYS FLUENT.

Постановка задачи

Область решения представляет собой кубическую полость, заполненную воздухом, (рис. 1) с двумя различно нагреваемыми вертикальными стенками $x = 0$ и $x = L$. Остальные четыре стенки считаются теплоизолированными. Предполагается, что теплофизические свойства воздуха не зависят от температуры, а режим течения – ламинарный.

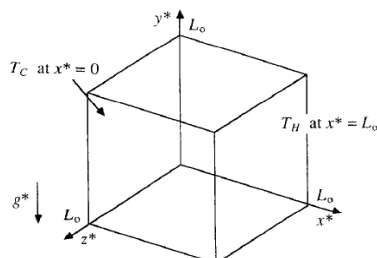


Рис. 1. Область решения

В качестве математической модели рассматривались уравнения Навье-Стокса вязкой жидкости в приближении Буссинеска в безразмерном виде [2]:

$$\text{div} \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{d\mathbf{V}}{dt} + (\mathbf{V}, \nabla) \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} + \rho g \beta L (T - T^e) \quad (2)$$

$$\rho c_p \left(\frac{dT}{dt} + (\mathbf{V}, \nabla) T \right) = \lambda \nabla^2 T \quad (3)$$

Здесь $\mathbf{V}$ – вектор скорости, p – давление и температура, μ – динамическая вязкость, λ – коэффициент температуропроводности, g – ускорение свободного падения, L – характерный размер, β – коэффициент объемного расширения, ∇ – оператор набла.

Граничные условия: $u = w = v = 0$ на всех стенках, $T = T_1$ на границе $x=0$, $T = T_2$ на границе $x=L$ и $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$ в L , где n указывает на координату, нормальную к поверхности.

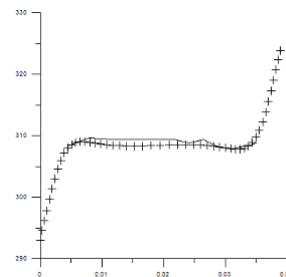
Задача (1)–(3) с соответствующими краевыми условиями решена на основе программного комплекса ANSYS FLUENT.[2]. Используемый метод решения был протестирован на нескольких модельных задачах.

Результаты решения

Численный анализ проведен при следующих значениях ключевых параметров: $T_1 \div T_2 = 293 \div 323,842$ К, $Pr = 0,7$, $L = 0,0389$ м.

На рис.2-3 представлены профили температуры и скорости в сравнении с данными [2] при $Ra = 10^5$ ($293 \div 323,842$ К). Сплошные линии соответствуют результатом расчета на основе программного комплекса ANSYS FLUENT, а символами представлены данные эксперимента [5].

Показанные распределения на рис. 2 и 3 характеризуют формирование конвективных восходящих и нисходящих течений, вследствие перепада температур на вертикальных стенках.



а)

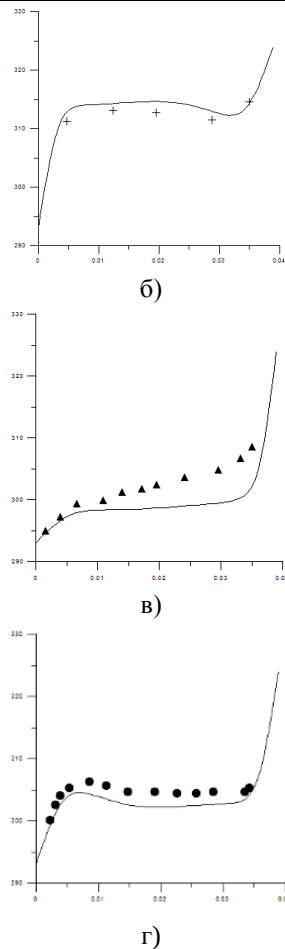


Рис. 2. Профили температур при $Ra=10^5$ (293 К, 323,842 К), в сечениях а) $y=0,5$; б) $y=0,7$; в) $y=0,1$; г) $y=0,3$.

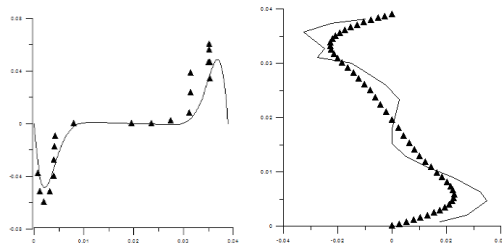


Рис. 3. Горизонтальные и вертикальные профили компонентов скорости (u, v) при $Ra=10^5$ (293 К, 323,842 К) в сечении $y=0,5$.

На рис. 4 проиллюстрированы пространственные поля температуры в сравнении с данными [5].

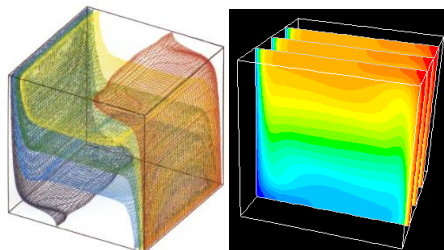


Рис. 4. Поле температуры при $Ra=10^6$

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что увеличение числа Рэлея существенно влияет на конвективное течение [10]. При его увеличении, конвективные действия усиливаются. Полученные трехмерные результаты демонстрируют удовлетворительную согласованность с экспериментальными данными статьи [7-9].

Сравнение численных результатов с данными позволяет считать возможным использование программного комплекса ANSYS FLUENT для моделирования конвективных течений в замкнутых областях.

Литература

1. Тарунин Е.Л. Вычислительный эксперимент в задачах свободной конвекции. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. 228 с.
2. T. Fusegi, J. M. Hyun, K. Kuwaharas and B. Farouk. A numerical study of three-dimensional natural convection in a differentially heated cubical enclosure // Great Britain. Heat Mass Transfer. Vol. 34, No. 6. PP. 1543-1557, 1991.
3. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. Учеб. пособие / О.В. Батури́н, Н.В. Батури́н, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151 с.: ил.
4. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent: учеб. пособие / О.В. Батури́н, Н.В. Батури́н, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 172 с.: ил.
5. R. J. Krane and J. Jessee, Some detailed field measurements for a natural convection flow in a vertical square enclosure, Proc. 1st ASME-JSME Thermal Engng Joint Conf., Vol. I, pp. 3233329 (1983).
6. G. D. Mallinson and G. de Vahl Davis, Three-dimensional natural convection in a box: a numerical study, J. Fluid Mech. 83, 1-31 (1977).
7. S. M. Bajorek and J. R. Lloyd, Experimental investigation of natural convection in partitioned enclosures, J. Heat Transfer 104, 527-532 (1982).
8. S. M. Bilski, J. R. Lloyd and K. T. Yang, An experimental investigation of the laminar natural convection velocity in square and partitioned enclosures, Proc. 8th Int. Heat Transfer Conf., Vol. 4, pp. 151331518 (1986).
9. M. S. Bohn, A. T. Kirkpatrick and D. A. Olson, Experimental study of three-dimensional natural convection high-Rayleigh number. J. Heat Transfer 106, 339-345 (1984).
10. J. M. Hyun and J. W. Lee, Transient natural convection in a square cavity of a fluid with temperature-dependent viscosity, Int. J. Heat Fluid Flow 9, 278-285 (1988).