

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ ОТ НАГРЕТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСТИ

В работе рассматривается свободная конвекция от нагретого горизонтального цилиндра, помещенного в замкнутую прямоугольную полость с относительно холодными вертикальными стенками. Результаты численного моделирования сопоставляются с данными экспериментальных исследований [1].

На рис. 1 приведена схема прямоугольной полости (ABCD), в центре которой помещен нагреваемый цилиндр (EF) диаметром D . Для нормированной на диаметр цилиндра высоты полости принималось значение $H^* = H/D = 4.07$, а нормированная ширина полости варьировалась: $W^* = W/D = 2.1$, $W^* = 2.9$ или $W^* = 3.6$.

Использовалась модель плоского свободноконвективного течения вязкой несжимаемой жидкости с постоянными физическими свойствами. Эффекты плавучести учитывались в приближении Буссинеска. Для каждой из геометрических конфигураций расчеты проводились при трех значениях числа Релея, а именно: при $Ra = 1300, 2400$ и 3400 . Число Прандтля принималось равным 0.7.

На всех твердых стенках ставилось условие прилипания. Горячий цилиндр и холодные вертикальные стенки считались изотермическими. В основной серии расчетов горизонтальные стенки полости в соответствии с условиями эксперимента задавались теплоизолированными. Дополнительные расчеты были нацелены на исследование влияния тепловых потерь через верхнюю стенку на получаемое решение, при этом на верхней стенке прямоугольной полости задавалось условие третьего рода.

Геометрическое моделирование, построение расчетных сеток, расчеты течения и постпроцессорная обработка проводились с использованием академического программного пакета FLOS, разработанного сотрудниками кафедры ГАД СПбГПУ. Программный комплекс FLOS позволяет проводить двумерные расчёты стационарных и нестационарных течений несжимаемой жидкости или газа в областях различной геометрической конфигурации. Для расчётов могут использоваться одноблочные или многоблочные структурированные неравномерные сетки, согласованные с границами области течения. В качестве решателя в программном пакете FLOS используется упрощенная версия программы SINP, разрабатываемой на кафедре ГАД с 1993 г. Для построения структурированных сеток область была поделена на пять блоков, каждый из которых был разбит равномерной либо сгущающейся к важным элементам конструкции сеткой. В рассматриваемом диапазоне чисел Релея сетки, состоящие из нескольких тысяч ячеек, обеспечивали получение решения, не зависящего от сетки.

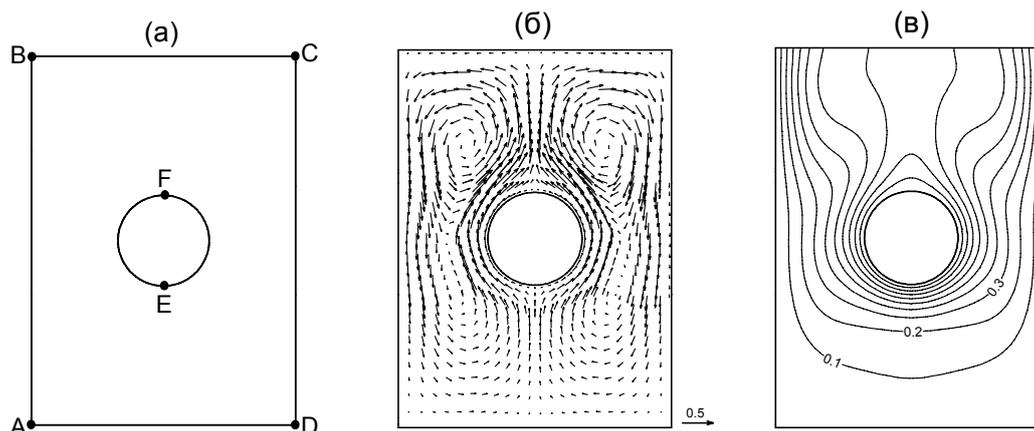


Рис. 1. Геометрия расчетной области для $W^* = 2.9$; поля скорости и температуры при $Ra = 1300$

Проведенная серия расчетов позволила изучить влияние на решение изменение числа Релея при постоянстве геометрии, а также влияние изменения ширины прямоугольной полости при неизменном числе Релея. На рис. 1б и 1в приведены распределения скорости и температуры для одного из рассчитанных вариантов. Видно, что жидкость, примыкающая к цилиндру, нагревается и под действием сил плавучести поднимается вверх, образуя тепловой факел. Ограничивающие стенки приводят к формированию рециркуляционного течения. Сформировавшееся течение симметрично относительно среднего вертикального сечения цилиндра.

Для всех вариантов, рассчитанных в условиях адиабатичности горизонтальных стенок, наблюдалось заметное количественное расхождение результатов расчетов и эксперимента по локальной и интегральной теплоотдаче. Исследование влияния теплового граничного условия на верхней границе показало, что расчетные данные с условием неадиабатичности получились ближе к экспериментальным значениям, чем данные, рассчитанные в условиях адиабатической верхней стенки. Таким образом, в экспериментах [1], скорее всего, имели место тепловые потери через верхнюю стенку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G.Cesini, M.Paroncini, G.Cortella, M.Manzan. Int. J. Heat and Mass Transfer. – 1999. – Vol. 42. – P.1801-1811.