**РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В ЗМЕЕВИКЕ**

# В.П. Парамонов, Б.И. Краснопольский, Н.В. Никитин

# Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Змеевик или спирально изогнутая труба – труба с кривизной и кручением – типичный элемент большого числа технологических установок. Характерной особенностью течений в непрямых трубах является возникновение вторичных течений, значительно усиливающих перемешивание жидкости в трубе. Этим обусловлено широкое использование змеевиков в технике. Для проектирования устройств со змеевиками используются эмпирические законы сопротивления и теплоотдачи. Целью настоящей работы является разработка алгоритма численного решения уравнений Навье-Стокса для случая геометрии змеевика с целью последующего численного исследования возникающих течений в ламинарном и турбулентном режимах.

Алгоритм строится на базе метода [1], рассчитанного на использование ортогональной системы координат [2]. Одним из наиболее затратных элементов алгоритмов численного расчета нестационарных течений несжимаемой жидкости является решение уравнения Пуассона для определения давления. В рассматриваемом случае оно имеет следующий вид:

Здесь , – спиральные координаты [2], и – кручение и кривизна змеевика. При уравнение (1) не может быть решено прямым быстрым методом. В настоящей работе для его решения применяется стабилизированный метод би-сопряженных градиентов с классическим алгебраическим многосеточным предобуславливателем [3]. Проведен ряд тестовых расчетов решения систем линейных алгебраических уравнений, для различных расчетных сеток. Характерное время решения подобных систем уравнений на расчетных сетках размером 256х64х128 ячеек на одном вычислительном ядре составило порядка 8-12 сек., при этом сходимость нормы относительной невязки до 10-8 достигалась за 6-8 итераций. Сгущение сетки по радиальной координате () и также изменение параметров кручения и кривизны () практически не сказывается на скорости сходимости методов и времени решения задачи. Используемые методы обеспечивают близкую к линейной зависимость времени решения от размера задачи, при этом характерное время в пересчете на 1 млн. неизвестных матрицы составляет порядка 6 сек. Оценки масштабируемости методов на вычислительной системе «Ломоносов» для сетки размером 256х64х128 ячеек продемонстрировали ускорение в 3 раза при использовании 8 ядер в пределах одного вычислительного узла, и ускорение до 8 раз на 4 вычислительных узлах.

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова [4] при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 14-01-00295-а.

# ЛИТЕРАТУРА.

1. N.V. Nikitin. Finite-difference method for incompressible Navier-Stokes equations in arbitrary orthogonal curvilinear coordinates. Journ. of Comp. Phys., 2006, 217, 759-781.

2. M.M. Germano. The Dean equations extended to a helical pipe flow. J. Fluid Mech., 1989, vol. 203, 289-305.

3. Б.И. Краснопольский. Об особенностях решения больших систем линейных алгебраических уравнений на многопроцессорных вычислительных системах различной архитектуры // Вычислительные методы и программирование. 2011. Т. 12, № 1, раздел 1. С. 176-182. (<http://num-meth.srcc.msu.ru/>).

4. Вл. Воеводин, С. Жуматий, С. Соболев, А. Антонов, П. Брызгалов, Д. Никитенко, К. Стефанов, Вад. Воеводин. Практика суперкомпьютера "Ломоносов"// Открытые системы, N 7, 2012. С. 36-39.