

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕКАРТОВЫХ МНОГОБЛОЧНЫХ СЕТОК

В течение нескольких последних лет на кафедре гидроаэродинамики СПбГПУ разрабатывается программный комплекс (ПК) CDF (Cartesian Domain Flows), предназначенный для расчетов стационарных и нестационарных течений вязкой несжимаемой жидкости в областях с прямоугольной геометрией на компьютерах с параллельной архитектурой. При расчетах используются блочно-структурированные сетки. В базовой версии CDF [1] используется неявная схема второго порядка точности для продвижения по физическому времени и итерации на каждом временном слое по методу искусственной сжимаемости (Artificial Compressibility Method, ACM), организуемые как процесс установления по псевдовремени. Известно, однако, что метод ACM обладает низкой скоростью сходимости при расчетах течений в длинных каналах.

Целью данной работы явилось расширение возможностей программного комплекса CDF посредством внедрения SIMPLE-подобного алгоритма (разновидность метода SIMPLEC в форме, данной в [2]), не обладающего отмеченным выше недостатком метода ACM в приложении к задачам расчета течений в длинных каналах. Данный метод основан на решении эллиптического уравнения для поправки давления во всей расчётной области. Для решения возникающей при его дискретизации системы алгебраических уравнений выбран метод сопряженных градиентов.

С целью обеспечения эффективности параллельных вычислений в условиях необходимости решения эллиптического уравнения во всей расчетной области на каждом шаге по псевдовремени, в ПК CDF реализована двухуровневая система внутренних итераций на каждом шаге по псевдовремени: локальные, которые производятся только в конкретном блоке, и глобальные, затрагивающие все блоки расчётной области и задействующие процедуры межблочного обмена.

В качестве одного из первых приложений внедренного алгоритма было проведено исследование влияния числа Рейнольдса на длину, которая требуется для установления периодичности стационарного течения в канале, моделирующем лабиринтное уплотнение. Число Рейнольдса построено по ширине входного канала и входной скорости (распределена однородно).

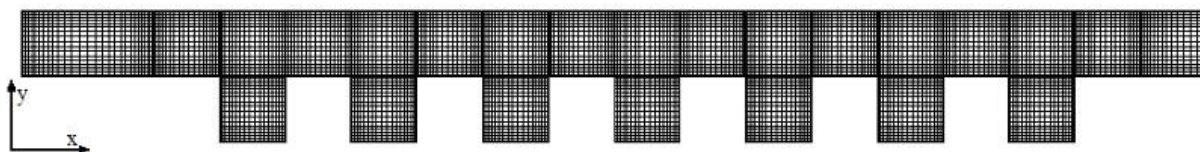


Рис. 1. Геометрия расчетной области и расчетная сетка

Геометрия области и расчётная сетка показаны на рис. 1. Расчетная сетка состояла из 24 блоков. В каждом квадратном блоке сетка состояла из 20x20 ячеек. Коэффициент сгущения сеточных линий к стенкам, входу и выходу составлял 1,1.

На рис. 2 показаны истории сходимости (зависимости максимальной по модулю невязки от числа итераций) методов ACM и SIMPLEC (рис. 2). Можно заключить, что итерационный процесс по SIMPLE-подобному алгоритму сходится на порядок быстрее, чем по методу искусственной сжимаемости.

Параметрические расчеты проводились при варьировании числа Рейнольдса от 200 до 800. По результатам определялось расстояние от входа в канал, при котором установится

периодическое течение. Эти сведения могут быть полезны для обоснования традиционных постановок задач, в которых течение изначально считается периодическим. Критерием установления течения был выбран выход на постоянное значение поперечной компоненты скорости V_y (как наиболее сильно изменяющейся величины) в сходственных точках каждой из каверн.

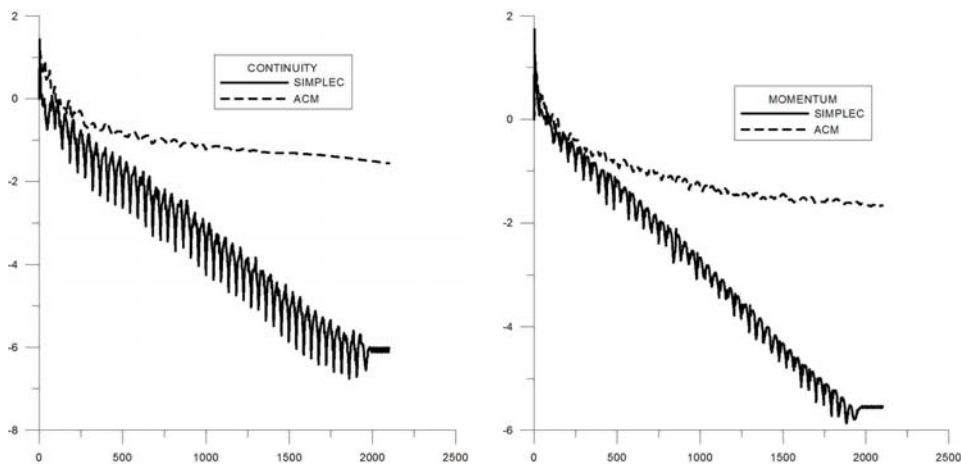


Рис. 2. «Истории сходимости» итераций по методам ACM и SIMPLEX, $Re = 200$

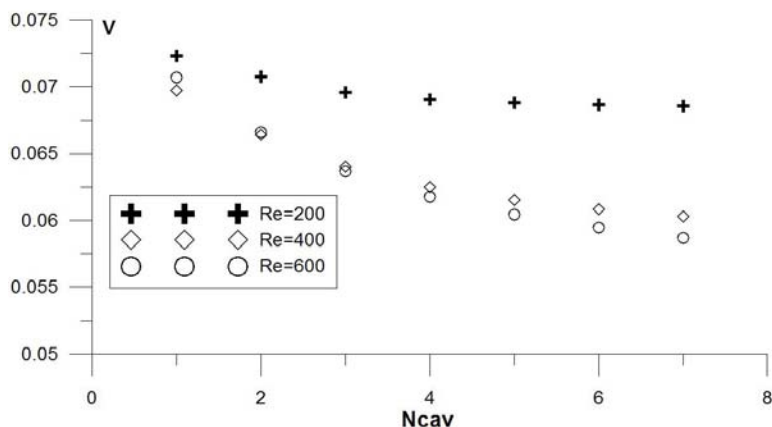


Рис. 3. Поперечная компонента скорости в сходственных точках каверн

На рис. 3 видно, что при $Re = 200$ течение можно считать периодическим уже в третьей каверне, при $Re = 400$ — в четвертой, а при $Re = 600$ — только в шестой. В седьмой каверне при всех Re уже ощущается обратное влияние выхода. В случае $Re = 800$ итерационный процесс не сходил к стационарному решению; есть основания считать, что течение при данном числе Рейнольдса является нестационарным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. V.Goryachev, M.Balashov, D.Rykov, E.Smirnov, O.Rykova, S.Yakubov. In: Proc. of the 1st Int. Conf. "From Scientific Computing to Computational Engineering", Athens, 8-10 September, 2004, CD-ROM proceedings, 8 p.
2. E.Smirnov, D.Zaitsev. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 24-28 July 2004, Jyvaskyla, Finland (ECCOMAS 2004). Ed: P.Neittaanmaki, T.Rossi, K.Majava, et al. (CD-ROM proceedings), 13 p.