ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕНЕРАЦИЯ ВИХРЕЙ В КРУГОВОМ ЗАЗОРЕ МЕЖДУ КОАКСИАЛЬНЫМИ ЦИЛИНДРАМИ С ПОМОЩЬЮ КГИДД УРАВНЕНИЙ В РАМКАХ ОТКРЫТОГО ПАКЕТА OPENFOAM

Т.Г. Елизарова[1], А.С. Епихин[2,1], **М.А. Кирюшина**[1,2]
[1] *ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, m_ist@mail.ru*
[2] *ИСП им. В.П. Иванникова РАН, Москва*

С помощью квазигидродинамического (КГидД) алгоритма решения задач гидродинамики [1,4], включенного в открытую платформу OpenFOAM в качестве вычислительного ядра QHDFoam [2,5], проведено численное моделирование течений Куэтта-Тейлора между двумя коаксиальными цилиндрами [3]. Исследуется генерация вихрей между двумя соосными цилиндрами высотой $H = 0.1$ м и диаметрами $D_1 = H = 0.1$ м и $D_2 = 0.09$ м, из которых внутренний вращается со скоростью $U_{R_2} = 0.5$ м/сек, а внешний цилиндр покоится. Температура постоянна и равна 20^{o}C, гравитационная конвекция не учитывается, давление равно нормальному атмосферному, жидкость покоится. В качестве граничных условий по давлению ставится специальное условие qhdFlux, сверху и снизу прилипание по скорости, цилиндры адиабатические. На рис. 1 приведена расчетная область и расчетная сетка, количество ячеек в которой – 381120, при этом поперек слоя расположено примерно 5-6 ячеек.

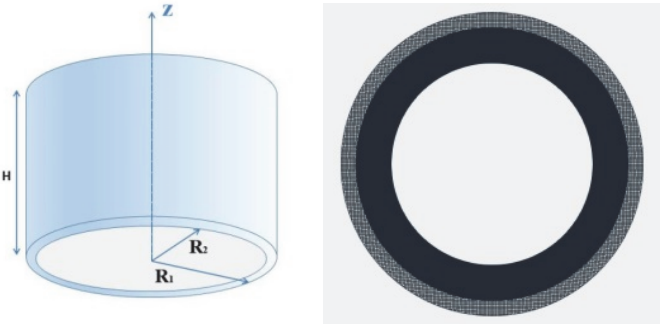

Рис. 1. Расчетная область, расчетная сетка

На рис. 2 приведена скорость стационарного течения для указанных цилиндров с Re=100.

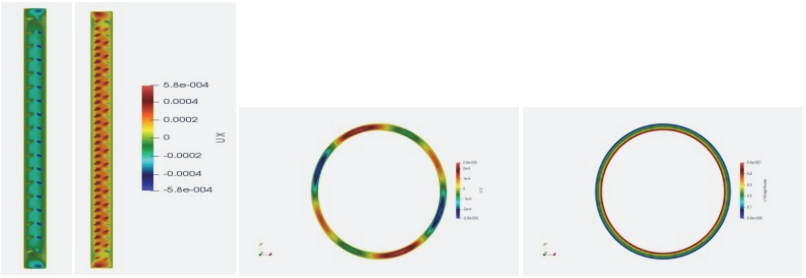

Рис. 2. Наличие стационарных структур в течении; слева-направо: изолинии радиальной скорости (ось Y направлена влево, ось X направлена от нас, ось Z – вверх), срез течения по z=0.05, Uz, зависящая от угла, модуль скорости, не зависящий от угла.

На рис. 3 приведены результаты нестационарного течения при Re=50000.

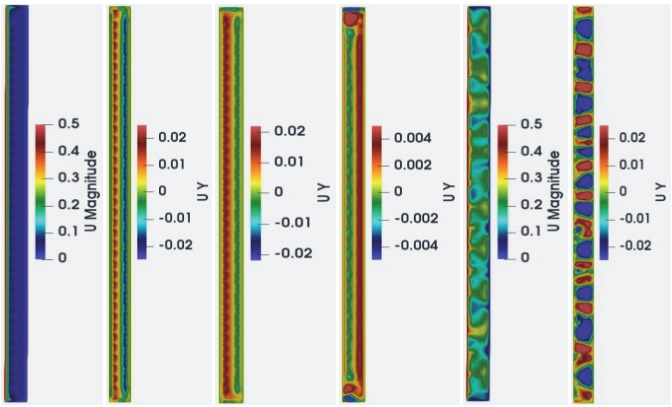

Рис. 3. Re=50000, $\tau = 10^{-3}$, $\Delta t = 10^{-4}$. Слева-направо: модуль скорости при t=0.3, скорость Ur для t=0.1, 0.2, 0.3, модуль скорости и Ur для t=3.0 сек.

При Re=50000 образуются нестационарное течение, зависящее от угла, образуются вихри Гертлера, как в [6]. Разностная схема первого порядка аппроксимации, построенная на основе КГидД уравнений, с достаточной точностью разрешает поставленную задачу. Решение задачи, полученное с помощью решателя

mulesQHDFoam, производного от QHDFoam, сравнивалось с двумерной постановкой КГД уравнений в цилиндрической геометрии.

Литература

1. Елизарова Т.Г. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений. Москва, Научный мир, 2007.
2. M.V. Kraposhin, D.A. Ryazanov, E.V. Smirnova, T.G. Elizarova, M.A. Kiryushina (Istomina) // Development of OpenFOAM solver for compressible viscous flows simulation using quasi-gas dynamic equations. DOI: 10.1109/ISPRAS.2017.00026.
3. Лебига В.А., Зиновьев В.Н., Пак А.Ю., Жаров И.Р. Моделирование течения Куэтта в кольцевом зазоре // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. 2016. Т. 11, № 4, С. 52-60.
4. Ю.В. Шеретов. Двухскоростная негалилеева гидродинамика. Тверь, Тверской государственный университет, 2022.
5. M.V. Kraposhin, D.A. Ryazanov, T.G. Elizarova, «Numerical algorithm based on regularized equations for incompressible flow modeling and its implementation in OpenFOAM», Computer Physics Communications 271, 108216 (2022).
6. D. Barkley Theoretical perspective on the route to turbulence in a pipe // J. Fluid Mech. (2016), vol. 803, P1, DOI: 10.1017/jfm.2016.465.