

Моделирование турбулентного течения в трубе на основе регуляризованных уравнений гидродинамики

Докладчик М.А. Кирюшина,^{1,2} Соавтор Т.Г. Елизарова¹

telizar@mail.ru, m_ist@mail.ru

¹ИПМ им. М.В. Келдыша, 125047, Москва, Миусская пл., д.4 ²ИСП им. В.П. Иванникова РАН, 109004, г. Москва, ул. Александра Солженицына, д. 25.

Ключевые слова: регуляризованные уравнения, квазигидродинамические уравнения, вязкая несжимаемая жидкость, круглая труба, переход к турбулентности

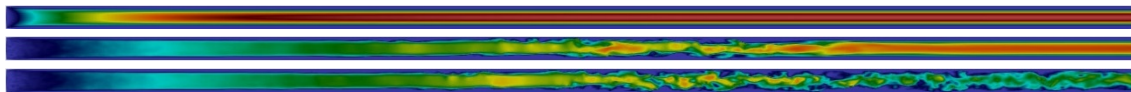


Рис. 1. Развитие начального возмущения во времени (0.0, 0.26, 0.40 сек). Изолинии модуля скорости в продольном сечении, $Re=3000$.

Пример развития гидродинамической неустойчивости с образованием ламинарного или турбулентного режимов впервые был показан в опытах Рейнольдса в 1883 г. [1,2]. Поиск однородных и эффективных численных алгоритмов для описания ламинарно-турбулентного перехода является актуальной задачей вычислительной математики. В работе предлагается новый алгоритм для численного моделирования формирования турбулентных течений, который базируется на регуляризованных, или квазигидродинамических уравнениях [3,4]. Приведены результаты расчетов эволюции течения вязкой изотермической несжимаемой жидкости в круглой трубе со случайными возмущениями скорости на входе. Показано, что возмущения входной скорости затухают для докритических чисел Рейнольдса и приводят к формированию стационарного ламинарного течения. Для сверхкритических чисел Рейнольдса возмущения скорости приводят к формированию турбулентного течения. Расчет ведется в рамках платформы OpenFOAM [5]. Описание использования солвера и первые результаты расчетов приведены в [6]. Полученные картины развития возмущений соответствуют качественным схемам развития турбулентного течения в трубе [1,2]. КГД алгоритм имеет общие черты с DNS и LES подходами. Однако в отличие от DNS моделирования, КГД алгоритм в качестве основы использует не уравнения Навье-Стокса, а их регуляризованный вариант, что делает его менее требовательным к выбору сетки и точности численного метода. В отличие от LES методов в КГД алгоритме используется изначально присущая регуляризованным уравнениям дополнительная диссипация, что не требует введения специфических моделей подсеточной вязкости и их настройки под конкретный вид течения. По сравнению с общепринятыми DNS и LES подходами КГД алгоритм может иметь перспективы при моделировании течений с ламинарными и турбулентными зонами и переходами между ними.

Литература

- [1] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., 1974.
- [2] Barkley D. Theoretical perspective on the route to turbulence in a pipe// J. Fluid Mech. 2016, V. 803, P1, doi:10.1017/jfm.2016.465.
- [3] Шеретов Ю.В. Динамика сплошных сред при пространственно-временном осреднении. М.- Ижевск, 2009. 400 с.
- [4] Елизарова Т.Г. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета газодинамических течений. М.: Научный мир, 2007. 351 с.
- [5] https://github.com/m-ist/Pipe_turbulence_generation
- [6] Кирюшина М. А. Численный эксперимент в задаче о распространении малых возмущений в круглой трубе. Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша 2024, №48. 20 с.