

О механизме формирования продольных вихрей в пристенных турбулентных течениях

Научный руководитель – Никитин Николай Васильевич

Пиманов Владимир Олегович

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра гидромеханики, Москва, Россия

E-mail: Pimanov-Vladimir@yandex.ru

В круглых трубах, плоских каналах, и други случаях движения жидкости вдоль твердых поверхностей, турбулентность демонстрирует общие особенности. Около стенок в них можно выделить вытянутые вдоль потока полосы, скорость жидкости внутри которых выше или ниже среднего. С пристенными полосами связывают механизм самоподдержания турбулентности. Считается, что они подвержены неустойчивости и на них возникают турбулентные пульсации.

Считается, что полосы возникают в результате действия продольных вихрей, перемещающих жидкость в нормальной к основному потоку плоскости. В среднем скорость жидкость около стенки ниже, чем в отдалении от нее. Там, где медленная жидкость перемещается от стенки в основной поток, возникают полосы замедления. Там, где жидкость приближаться к стенке - полосы ускорения. Считается, что продольные вихри возникают в результате нелинейного взаимодействия пульсаций, но детали этого процесса неизвестны. Прогресс в понимании пристенных структур ограничен хаотичностью поведения турбулентных течений.

Приблизиться к пониманию турбулентности помогают решения уравнения Навье-Стокса, имеющие регулярное поведение в пространстве и во времени, найденные численно в последние годы [1]. Наиболее простым примером таких решений являются бегущие волны - периодические вдоль потока, стационарные в некоторой подвижной системе отсчета. Более сложным примером могут быть решения, не стационарные, а периодические по времени в подвижной системе отсчета. Такие решения неустойчивы и не могут быть получены в эксперименте, но каждое из них воспроизводит полосы повышенной и пониженной и скорости и позволяют исследовать процесс их возникновения.

Мы воспроизвели несколько бегущих волн в плоском канале Пуазейля и в круглой трубе, а также более сложное решение [2], локализованное в пространстве и периодическое во времени. Их анализ подтвердил ключевую роль продольных вихрей в образовании полос, а также позволил выявить механизм их образования. Продольные вихри возникают в результате нелинейного взаимодействия коротковолновых пульсаций продольной скорости и продольной завихренности. Также важно, что пульсации продольной скорости и продольной завихренности скоррелированы так, что дают положительный вклад в энергию продольной завихренности. Применимость найденного механизма к турбулентному течению еще требует проверки.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-31-00522-мол-а и № 17-01-00140-а с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ под научным руководством Н.В. Никитина.

Источники и литература

- 1) Genta Kawahara, Markus Uhlmann, and Lennaert Van Veen. The significance of simple invariant solutions in turbulent flows. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 44, 203–225, 2012

- 2) Marc Avila, Fernando Mellibovsky, Nicolas Roland, and Bjoern Hof. Streamwise-localized solutions at the onset of turbulence in pipe flow. *Phys. Rev. Letters* 110(22), 224502, 2013.