

О ПОДДЕРЖАНИИ КОЛЕБАНИЙ В ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУКТУРАХ В ТРУБАХ

В.О. Пиманов^{1,2}, Н.В. Никитин²

¹ Мехмат МГУ, кафедра гидромеханики,

² НИИ механики МГУ

В трубах круглого сечения при переходных числах Рейнольдса турбулентность принимает форму локализованных в пространстве структур, разделенных ламинарным течением, называемых *турбулентными порывами* [1]. Порывы сносятся вниз по потоку примерно со средней скоростью течения, при этом их форма и пространственная протяженность остаются практически постоянными. Длина порыва составляет несколько десятков диаметров трубы. В некотором смысле порыв можно рассматривать как единицу турбулентности, в которой в локальной форме заключен механизм поддержания турбулентного движения.

Исследование турбулентного порыва осложнено присутствием беспорядочных пульсаций, на фоне которых теряются существенные особенности движения. Приблизиться к пониманию порыва позволяет решение уравнений Навье-Стокса, найденное численно в [2]. Это решение является предельным состоянием решения, эволюционирующего на сепаратрисе, разделяющей области притяжения решений, соответствующих ламинарному и турбулентному режимам течения. Оно воспроизводит локализованную в пространстве структуру, движущуюся вниз по потоку с постоянной скоростью. В сопутствующей системе отсчета это решение оказывается периодическим по времени, что позволяет выполнить его детальное исследование. Мы будем называть это решение *модельным порывом*.

Решая уравнения Навье-Стокса конечно-разностным методом, мы воспроизвели в своих расчетах как турбулентный, так и модельный порывы. Осреднение по времени в сопутствующей системе отсчета позволило разделить поле скорости модельного порыва на среднюю и пульсационную составляющие. Характерной особенностью среднего течения оказывается наличие вытянутых вдоль потока полос -- областей, скорость жидкости внутри которых выше и ниже среднего значения. Полосы повышенной и пониженной скорости чередуются в угловом направлении. Показано, что пульсационная составляющая движения возникает в результате линейной неустойчивости среднего течения. Вероятным механизмом образования пульсаций является механизм типа Кельвина-Гельмгольца, так как пульсации возникают в области между полосами повышенной и пониженной скорости, где в среднем течении находится точка перегиба, если рассматривать его как функцию угловой переменной. Полосы возникают за счет действия стационарных продольных вихрей, перемещающих жидкость в нормальной к основному потоку плоскости. Был выявлен механизм образования продольных вихрей, состоящий в нелинейном взаимодействии пульсаций продольной скорости и продольной завихренности. Пульсации продольной завихренности формируются пульсациями продольной скорости за счет сжатия и растяжения существующих вихревых нитей, что обеспечивает необходимую согласованность фаз между ними. Продольные вихри, таким образом, достигают наибольшей интенсивности в области возникновения пульсаций -- между полосами повышенной и пониженной скорости, оказываясь расположенными, таким образом, наиболее удачным образом для поддержания существования этих полос.

Пристенные полосы являются неотъемлемым элементом всех сценариев поддержания пристенных турбулентных течений, что дает основание полагать, что полученные результаты могут быть обобщены на более широкий класс течений.

1. Wygnanski I.J., Champagne F.H. On transition in a pipe. Part 1. The origin of puffs and slugs and the flow in a turbulent slug // J. of Fluid Mech. 1973. Т. 59. №. 2. С. 281-335.
2. Avila M. et al. Streamwise-localized solutions at the onset of turbulence in pipe flow // Phys. rev. let. 2013. Т. 110. №. 22. С. 224502.