

**Численное исследование локализованных турбулентных структур в трубах
круглого сечения**

Пиманов Владимир Олегович

Аспирант

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

E-mail: Pimanov-Vladimir@yandex.ru

При переходных числах Рейнольдса в трубе круглого сечения возникают пространственно-локализованные турбулентные структуры, называемые *турбулентными порывами*. Турбулентные порывы отделены друг от друга ламинарным потоком и располагаются случайным образом по длине трубы. Протяженность турбулентного порыва не меняется с течением времени, оставаясь равной нескольким диаметрам трубы. Порывы сносятся вниз по потоку примерно со средней скоростью течения. Понимание механизмов формирования и самоподдержания турбулентного порыва, возможно, позволит понять структуру более сложных турбулентных течений.

Эволюция турбулентного порыва во времени имеет хаотический характер. К тому же в произвольный момент времени турбулентный порыв может исчезнуть в ламинарном потоке. Это осложняет его исследование. В работе [1] численно было найдено решение уравнений Навье-Стокса, напоминающее турбулентный порыв, но имеющее более простую структуру. Это решение принадлежит сепаратрисе, разделяющей области притяжения ламинарного и турбулентного режимов и, следовательно, неустойчиво.

В настоящей работе было численно воспроизведено решение на сепаратрисе. Уравнения Навье-Стокса в достаточно длинной области (60 диаметров трубы) решаются конечно-разностным методом [2]. Решение на сепаратрисе находится вариацией начальных условий методом бисекции. Удаётся удержать неустойчивое решение на сепаратрисе достаточно долго, чтобы определить основные его характеристики. Полученное решение оказывается периодическим по времени с периодом $15D/U$ (D — диаметр трубы, U — средняя скорость) и локализованным в продольном направлении на отрезке длиной около $20D$. Скорость сноса структуры вниз по потоку составляет примерно $1.5U$. На рассматриваемом примере подтверждена определяющая роль полосчатых структур и наглядно показан процесс их образования.

Источники и литература

- 1) Avila et al. Streamwise-localized solutions at the onset of turbulence in pipe flow. // Physical review letters 110(22), 2013, p. 224502
- 2) Nikitin N. Finite-difference method for incompressible Navier–Stokes equations in arbitrary orthogonal curvilinear coordinates // Journal of Computational Physics. 217(2), 2006, pp 759-781.

Слова благодарности

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 14-01-00295-а, под чутким руководством научного руководителя д.ф.-м.н. Никитина Николая Васильевича.