

Секция «Математика и механика»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО  
ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ  
НАВЬЕ-СТОКСА ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА В  
КРУГЛОЙ ТРУБЕ**

*Пиманов Владимир Олегович*

*Аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*

*Механико-математический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: Pimanov-Vladimir@yandex.ru*

При переходных числах Рейнольдса в трубе круглого сечения наблюдаются пространственно локализованные турбулентные структуры, называемые турбулентными паффами (англ. puff). Паффы случайно располагаются вдоль трубы, имеют в длину несколько диаметров трубы, отделены друг от друга ламинарным потоком и дрейфуют примерно со средней скоростью течения. Время жизни паффа в принципе не ограничено, но он может случайным образом как раствориться в ламинарном потоке, так и разделиться на два. Если шанс разделения больше, чем шанс аннигиляции, то вся труба постепенно заполняется паффами и происходит переход к сплошной турбулентности. Понимание механизма зарождения и самоподдержания таких структур может помочь объяснить ламинарно-турбулентный переход как в трубе, так и в других пристенных течениях.

Исследование структуры паффа осложнено присутствием разнообразных хаотических колебаний, за которыми теряются его собственные очертания. В работе [1] было численно найдено решение уравнения Навье-Стокса, качественно повторяющее особенности паффа, однако имеющее весьма простую структуру. Это решение неустойчиво и находится на сепаратрисе, разделяющей области притяжения ламинарного и турбулентного режимов.

В настоящей работе воспроизведены решения, найденные в [1] и изучены их свойства. Уравнения Навье-Стокса в протяженной области (40 диаметров трубы) решаются конечно-разностным методом [2]. Решения на сепаратрисе отыскиваются вариацией начальных условий методом бисекции. В результате удается удержать неустойчивое решение на отрезке времени, достаточном для определения основных его свойств. Решение оказывается периодическим по времени с периодом около  $15D/U$  ( $D$  – диаметр трубы,  $U$  – средняя скорость) и локализованным в продольном направлении с длиной около  $13D$ . Пафф сносится вниз по потоку со скоростью  $1.5U$ .

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова [3] при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 14-01-00295-а.

**Литература**

1. Avila M. et al. Streamwise-Localized Solutions at the Onset of Turbulence in Pipe Flow //Physical Review Letters. – 2013. – Т. 110. – №. 22. – С. 224502.

2. Nikitin N. Finite-difference method for incompressible Navier–Stokes equations in arbitrary orthogonal curvilinear coordinates //Journal of Computational Physics. – 2006. – Т. 217. – №. 2. – С. 759-781.
3. Владимир Воеводин, Сергей Жуматий, Сергей Соболев, Александр Антонов, Петр Брызгалов, Дмитрий Никитенко, Константин Стефанов, Вадим Воеводин. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы, N 7, 2012. С. 36-39.