

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА  
НИИ МЕХАНИКИ МГУ



Тезисы докладов, представленных  
на XXIV Международную конференцию  
**«НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ  
ТЕОРИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
УСТОЙЧИВОСТИ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ»**



Издательство Московского университета  
2020

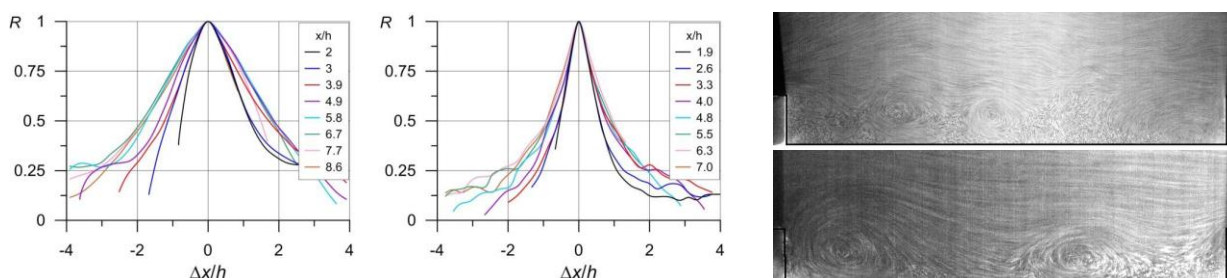
## ДИНАМИКА ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРИСТЕНОЧНОЙ ОБЛАСТИ КАНАЛА С НИЗКОЙ ДИСКРЕТНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ СТЕНКИ

Н.И. Михеев, Н.С. Душин, Р.Р. Шакиров

Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН, Казань  
n.miheev@mail.ru

Основная идея интенсификации теплообмена состоит в уменьшении толщины теплового пограничного слоя путем разрушения и обновления динамического пограничного слоя в пристеночной области. Одним из наиболее эффективных способов воздействия на пограничный слой является нанесение на стенку элементов дискретной шероховатости в виде поперечных выступов, каверн или лунок. Высота (глубина) элементов шероховатости должна быть не слишком велика по сравнению с толщиной вязкого подслоя. При превышении этого размера на порядок и более темп интенсификации теплообмена сильно замедляется, но гидравлическое сопротивление продолжает быстро увеличиваться, в результате чего теплогидравлическая эффективность интенсификации теплообмена снижается. Рациональной для турбулентных потоков является высота поперечных выступов порядка 1–2% от гидравлического диаметра, которая при умеренно высоких числах Рейнольдса лишь в несколько раз больше толщины вязкого подслоя, т.е. гораздо ниже границы полного проявления шероховатости.

Методом SIV [1, 2] выполнены измерения динамики векторных полей скорости потока при турбулентном течении в канале с дискретной шероховатостью стенки в виде поперечных выступов квадратного сечения для трех относительных высот  $h$  по отношению к гидравлическому диаметру  $D$ :  $h/D = 0.02, 0.055$  и  $0.1$ . Выполнена оценка интегрального масштаба турбулентности в пристеночной области дискретно шероховатого канала на основе измеренных пространственных корреляционных функций. Графики пространственных корреляций пульсаций продольной компоненты скорости потока на высоте  $y/h = 1.3$  представлены на рисунке: слева – при  $h/D = 0.02$ , справа – при  $h/D = 0.055$ . Установлено, что с уменьшением относительной высоты дискретной шероховатости относительный интегральный масштаб турбулентности смещается в сторону более крупных масштабов: от  $L/h=1$  при  $h/D = 0.055$  до  $L/h=2$  при  $h/D = 0.02$ . В спектрах турбулентных пульсаций скорости потока в пристеночной области течения увеличивается энергия пульсаций в области низких относительных частот  $fh/u$  ( $f$  – частота,  $u$  – средняя скорость потока). В случае низких выступов ( $h/D = 0.02$ ) значительная часть энергии пульсаций сосредоточена в окрестности относительной частоты  $fh/u=0.1-0.2$ , наиболее благоприятной для интенсификации теплообмена в ближнем следе за выступом. Это значение установлено для обтекания выступа в условиях вынужденных колебаний потока [3].



При изменении относительной высоты элементов дискретной шероховатости существенно перестраивается структура потока и динамика формирования вихревых структур. При обтекании высоких выступов формируется выраженная отрывная область с образованием в сдвиговом слое относительно мелких вихрей, как это видно из представленного на рисунке верхнего кадра визуализации течения при  $h/D = 0.055$ . В следе за низким выступом (нижний кадр визуализации,  $h/D = 0.02$ ) нет стационарной отрывной области, а значительную часть времени непосредственно за выступом существуют вихри масштаба порядка  $2h$ , периодически выносящиеся во внешний поток. Динамика обтекания низких выступов стационарным потоком приближается к таковой при обтекании высоких выступов пульсирующим потоком при частотах вынужденных колебаний, оптимальных для оптимизации теплоотдачи в ближнем следе за выступом.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 19-08-00421).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Mikheev N.I., Dushin N.S. A method for measuring the dynamics of velocity vector fields in a turbulent flow using smoke image-visualization videos // Instruments Exp. Tech. 2016. T. 59. № 6. С. 882–889.
2. Mikheev N.I., Goltsman A.E., Saushin I.I., Dushina O.A. Estimation of turbulent energy dissipation in the boundary layer using Smoke Image Velocimetry // Experiments in Fluids. 2017. V. 58. № 8. P. 97(10).
3. Давлетшин И.А., Михеев Н.И. Структура течения и теплообмен при отрыве пульсирующего потока // Теплофизика высоких температур. 2012. Т. 50. № 3. С. 442.