

Российская академия наук
Центральный аэрогидродинамический институт
им. проф. Н.Е. Жуковского

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИКИ

Материалы Двадцатой
международной школы-семинара

ЦАГИ
2020

Эволюция турбулентности в динамически неравновесном течении

Н.И. Михеев, Р.Р. Шакиров
ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань

Представлены результаты исследования гидродинамических процессов в условиях динамической неравновесности течения, вызванной изменяющимся относительным продольным градиентом давления. Выполнен совместный анализ экспериментальных данных по турбулентности потока в стационарных градиентных и нестационарных (пульсирующих) канальных течениях. Локальный или мгновенный градиент давления характеризовался параметром равновесия Клаузера. Профили характеристик турбулентности обобщены в координатах закона стенки с использованием динамической скорости, усредненной по текущей координате (в стационарном случае) или фазе пульсаций. Экспериментально установлено, что подобие градиентных течений по локальному или мгновенному параметру Клаузера не обеспечивает подобия профилей характеристик турбулентности в пограничном слое градиентного течения.

Установлена высокая чувствительность энергии турбулентности в пограничном слое градиентного течения к темпу изменения параметра Клаузера. Механизм его влияния связан с тем, что для перехода из одного состояния динамического равновесия в другое требуется некоторое время для перестройки профилей скорости, рейнольдсовых напряжений и других характеристик турбулентности потока под изменяющийся по пространству или времени параметр Клаузера. Порядок времени перестройки пропорционален интегральному масштабу и толщине слоя с наиболее высокой энергией турбулентных пульсаций и обратно пропорционален среднеквадратичной скорости пульсаций поперечной компоненты скорости. Другими словами, это время, за которое в области интенсивной турбулентности вихревые структуры буферного слоя с масштабом порядка расстояния до стенки могут пройти как минимум расстояние порядка толщины этого слоя со скоростью порядка среднеквадратичной скорости пульсаций поперечной компоненты скорости. Оценена граница скорости изменения параметра Клаузера между равновесным и динамически неравновесным течением с положительным градиентом давления.

В динамически неравновесном пограничном слое с положительным градиентом давления экспериментально установлено повышение энергии турбулентных пульсаций, достигающее четырехкрат-

ного увеличения по сравнению с безградиентным течением. Кратно увеличивается и толщина самого слоя с высокой энергией турбулентных пульсаций, достигая в координатах закона стенки толщины более 100 единиц. В этом слое интенсивность турбулентных пульсаций медленно уменьшается с увеличением расстояния от стенки, а при некоторых условиях даже увеличивается с образованием максимума пульсаций аномально далеко от стенки, на расстоянии более 100 вязких единиц. Предложен механизм такого аномального распределения турбулентных пульсаций.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект 19-19-00355) при частичном использовании для сравнительного анализа результатов по отрыву потока, полученных при поддержке РФФИ (проект 19-08-00421).

Закономерности формирования вихревых структур за препятствиями в канале на режимах ламинарно-турбулентного перехода

В.М. Молочников^{1,3}, А.Б. Мазо², Е.И. Калинин²,

А.А. Паерелий¹, М.А. Ключев³

¹ ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань,

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

³ КНИТУ–КАИ, Казань

На основе обобщения выполненных авторами экспериментальных исследований и прямого численного моделирования выявлены общие закономерности формирования вихревой структуры течения за препятствиями в канале прямоугольного поперечного сечения на режимах перехода к турбулентности. Канал имел высоту 20 мм и ширину 50 мм. В качестве препятствий рассматривались полуцилиндрический выступ на стенке канала и круговой цилиндр, который устанавливался на различных расстояниях от стенки. Высота полуцилиндрического выступа h и диаметр цилиндра d составляли 3 мм. Исследования проводились в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 60-300$, рассчитанных по высоте препятствия. Выполнялась визуализация течения и измерения мгновенных векторных полей скорости потока в следе препятствия при помощи метода SIV. Прямое численное моделирование проводилось на основе решения трехмерных нестационарных уравнений Навье–Стокса в пакете ANSYS Fluent 14.5. Выполнена верификация численной процедуры.