



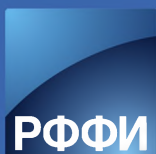
**НКТМ
РАН**



N*



**НГТУ
НЭТИ**



**IV Всероссийская научная конференция
с элементами школы молодых учёных**

ТЕПЛОФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА

**Ялта, Республика Крым,
отель "Ливадийский"
15-22 сентября 2019 г.**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Сибирское отделение РАН

**Отделение энергетики, машиностроения,
механики и процессов управления РАН**

Российский национальный комитет по тепломассообмену

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Новосибирский государственный технический университет

Морской гидрофизический институт РАН

Российский фонд фундаментальных исследований

**ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА
В ДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЯХ**

Михеев Н.И., Саушин И.И., Душин Н.С., Шакиров Р.Р.

Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ Казанский научный центр РАН,
420111, Россия, Казань, ул. Лобачевского, 2/31

Процессы турбулентного переноса теплоты и импульса чувствительны к динамическому воздействию на поток в виде продольного градиента давления и нестационарности потока. При таком воздействии набор чисел динамического подобия расширяется: для градиентных течений добавляется число подобия, характеризующее ускорение потока или градиент давления (параметры Клаузера, Кейса), а для пульсирующих потоков – два числа подобия, характеризующие максимальное ускорение (градиент давления) и период его изменения.

Безразмерный градиент давления (параметр Клаузера) характеризует отношение сил давления к силам

трения: $\beta = \frac{\delta^*}{\tau_w} \frac{dP}{dx}$, где δ^* – толщина вытеснения, τ_w –

касательное напряжение на стенке, dP/dx – градиент статического давления. Условием формирования равновесного пограничного слоя является постоянство параметра Клаузера на протяженном участке стенки не менее 5...10 толщин пограничного слоя. Этого постоянства достигают специальным профилированием канала. При условии $\beta = \text{const}$ на протяженном участке стенки профили средней скорости и турбулентных пульсаций для одинаковых β являются подобными. Максимум пульсаций значительно увеличивается с ростом β , но при всех значениях этого параметра положение максимума находится вблизи координаты, соответствующей толщине вытеснения. Если же параметр Клаузера изменяется по продольной координате, пограничный слой становится неравновесным. В таких течениях профили пульсаций скорости существенно искажаются по сравнению со случаем $\beta = \text{const}$, с увеличением β проявляется тенденция к образованию двух максимумов: при $Y^+ = 10...20$ и в средней по толщине области пограничного слоя.

Интересным классом неравновесных течений являются пульсирующие потоки, в которых скорость потока и связанный с ней градиент давления периодически изменяются. В них профили скорости и турбулентности, начиная с некоторых относительных частот вынужденных колебаний, не успевают подстроиться под текущий градиент давления.

В данной работе предпринята попытка экспериментального определения и сопоставления характеристик турбулентности в динамически неравновесном пограничном слое, формирующемся при стационарном течении в диффузоре и при пульсациях потока в каналах постоянного сечения. Для пульсирующего течения для анализа выбирались данные в фазе максимального положительного градиента давления при торможении потока.

Исследовались характеристики турбулентности в пограничном слое, формирующемся в условиях стационарного течения в диффузорном канале и пульсирующего потока в канале постоянного сечения. Исследования диффузорного течения выполнялись в асимметричном диффузорном канале прямоугольного сечения с углом раскрытия 5 градусов. Пульсирующий поток создавался в канале постоянного сечения, в котором скорость потока на оси канала изменялась по близкому к гармоническому закону: $u = U(1 + a \sin(2\pi ft))$. Относительная амплитуда a варьировалась в диапазоне 0.10–0.44, а частота вынужденных колебаний потока f от 5 до 100 Гц.

На основе измерений динамики векторных полей скорости потока методом Smoke Image Velocimetry (SIV) [1] определялись профили средней скорости потока, корреляций $u'u'$, $u'v'$, $v'v'$ и некоторых других характеристик турбулентности потока. Для стационарного потока в диффузоре использовались стандартные методы разделения на осредненные и пульсационные значения компонент скорости потока. Для пульсирующего же потока из осциллограмм скорости потока для некоторой точки пространства выделялись составляющие средней скорости, вынужденных колебаний и турбулентных пульсаций в каждой фазе вынужденных колебаний.

Установлено, что в диффузорном канале с увеличением параметра Клаузера происходит все более заметное перераспределение энергии турбулентности по толщине пограничного слоя. При $\beta = 5.9$ максимум среднеквадратичных пульсаций продольной компоненты увеличился вдвое по сравнению с безградиентным течением, а положение максимума сместилось на порядок дальше от стенки.

В пульсирующем потоке при малом мгновенном положительном значении параметра Клаузера интенсивность турбулентных пульсаций не только не увеличивается, но и несколько снижается (при $\beta = 0.3$ – до 2 раз в области $Y^+ = 40...80$) по сравнению со стационарным потоком. При соизмеримых больших положительных $\beta \approx 5$ разница в интенсивности пульсаций при изменении β по координате и по времени становится многократной.

Таким образом, в неравновесном пограничном с переменным параметром Клаузера по пространственной координате или времени происходит существенная перестройка профилей турбулентности по сравнению с равновесным градиентным течением при таком же параметре Клаузера.

Список литературы:

1. Mikheev N.I. et al. Estimation of turbulent energy dissipation in the boundary layer using Smoke Image Velocimetry // Exp. Fluids. – 2017. – Vol. 58. No. 8, P. 97.