

8. Florschuetz L. W., Chao B. T. On the mechanics of vapor bubble collapse.— Trans. ASME. J. Heat Transfer, 1965, vol. 87, N 2.
9. Нигматулин Р. И., Хабеев Н. С. Динамика парогазовых пузырьков.— Изв. АН СССР. МЖТ, 1976, № 6.
10. Cho S. M., Seban R. A. On some aspects of steam bubble collapse.— Trans. ASME. J. Heat Transfer, 1969, vol. 91, N 4.

УДК 532.526.3

КОЭФФИЦИЕНТ АСИММЕТРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЛАМИНАРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ТУРБУЛЕНТНЫЙ

В. А. Тэтянко

(Новосибирск)

В последнее время явление ламинарно-турбулентного перехода, связанное с процессом перестроения механизма передачи энергии в пограничном слое от молекулярного к молярному, привлекает все большее внимание исследователей. Этот интерес вызван надеждой, что через знание механизма перехода можно лучше понять явления, происходящие в турбулентном пограничном слое.

Наши более ранние исследования смены режима течения в пограничном слое на пластине показали наличие ряда зон по толщине и длине области перехода, связанных с изменением характера пульсаций скорости [1, 2]. Выполненные позже исследования плотности распределения вероятностей пульсаций скорости в области ламинарно-турбулентного перехода позволили количественно оценить выделенные зоны. Пример одного из распределений пульсаций скорости приведен в работе [3]. Последние исследования показали интересный характер изменения коэффициента асимметрии пульсаций скорости при переходе на расстояниях, меньших толщины вытеснения пограничного слоя. В данной работе приведены результаты, полученные в двух циклах испытаний, разделенных значительно во времени.

Исследование ламинарно-турбулентного перехода выполнено на плоской пластине с эллиптическим носиком при нулевом градиенте давления по длине в низкотурбулентной аэродинамической трубе. Измерение скорости производилось комплектом термоанемометрической аппаратуры фирмы «DISA» с линейризатором и регистрацией сигнала на измерительном магнитофоне МР-5521 в диапазоне частот 1 Гц — 10 кГц. Реализации скорости обрабатывались на анализаторе статистических характеристик «Histogram». Распределения строились по 100—124 точкам при объеме выборки $\sum p(v_i) = 10^6$ и общем времени обработки 90 с. Плотность вероятности определялась обычным образом:

$$p_i = p(v_i) / \sum p(v_i),$$

где $p(v_i)$ — приборная вероятность.

При дальнейшей математической обработке распределений определялись первые два начальных момента:

$$E[V] = \sum v_i p_i, \quad E[V^2] = \sum v_i^2 p_i,$$

где V — исследуемая случайная величина; v_i — возможные значения случайной величины с вероятностью p_i ; дисперсия

$$D = E[V^2] - (E[V])^2,$$

центральный момент третьего порядка

$$E[V^3] = \Sigma(v_i - E[V])^3 p_i,$$

где V^0 — центрированная случайная величина, и коэффициент асимметрии

$$v = E[V^3]/D^{3/2}.$$

Полученные экспериментально семейства кривых $v(\gamma^*; y/\delta^*)$ (γ^* — максимальное значение коэффициента перемежаемости для выбранного сечения по длине пластины, y — расстояние от поверхности пластины, δ^* — толщина вытеснения пограничного слоя) позволили констатировать два факта: а) $v = 0$ при y , близком к δ^* , для $0,1 \leq \gamma^* \leq 0,8$; б) подобный характер зависимости v от y/δ^* при изменении безразмерного расстояния от поверхности пластины в диапазоне $0,1 \leq y/\delta^* \leq 1,2$. Было высказано предположение, что изменение коэффициента асимметрии v в указанной выше области может быть представлено в виде произведения двух функций:

$$(1) \quad v(\gamma^*; y/\delta^*) = f_1(\gamma^*; y/\delta^* = \text{const})f(y/\delta^*).$$

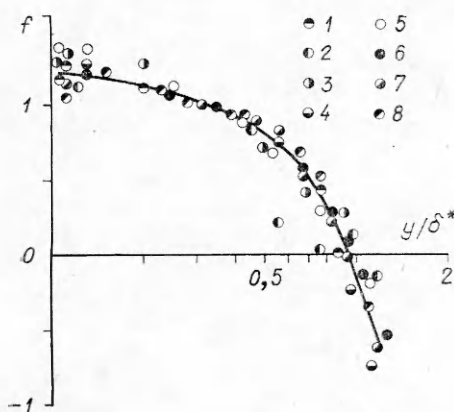
Все полученные при различных коэффициентах перемежаемости значения v нормировались величиной коэффициента асимметрии при $y/\delta^* = 0,3$ для каждого γ^* . Результат такой нормировки приведен на фиг. 1 (γ^* : точки 1 — 0,08; 2 — 0,20; 3 — 0,45; 4 — 0,65; 5 — 0,15; 6 — 0,32; 7 — 0,44; 8 — 0,58). Математическая обработка по методу наименьших квадратов показала, что функция

$$(2) \quad f(y/\delta^*) = 2 - 0,709 \exp(1,088 y/\delta^*)$$

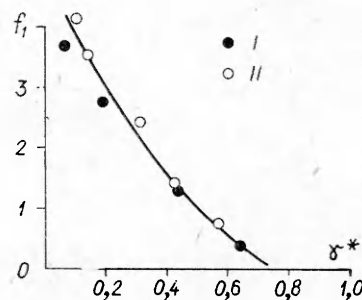
является достаточно хорошим обобщением (сплошная линия на фиг. 1) всех имеющихся экспериментальных точек. В формуле (2) коэффициенты существенно влияют на характер кривой, поэтому сохраняется их повышенная точность. При выполнении расчета по формуле (2) необходимо округлять полученный результат, согласуя его с точностью экспериментальных данных.

С помощью прибора [4] были определены значения коэффициента перемежаемости $\gamma(x, y)$, по которым находилось максимальное значение по y для каждого x (x — координата вдоль пластины). Это значение γ^* принималось в качестве основного параметра, характеризующего режим перехода, возможность такого толкования рассмотрена в работе [5]. На фиг. 2 приведены экспериментальные значения коэффициента v при $y/\delta^* = 0,3$ в зависимости от максимального коэффициента перемежаемости γ^* для

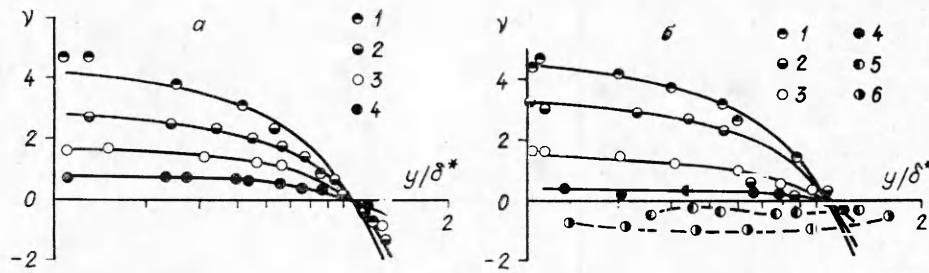
каждого сечения пограничного слоя по x (точки I — цикл I; 2 — цикл II, сплошная линия отвечает



Фиг. 1



Фиг. 2



Ф и г. 3

ет функции

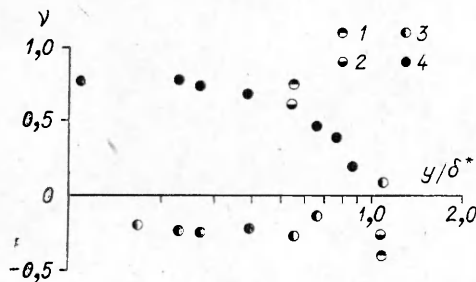
$$(3) \quad f_1(\gamma^*; y/\delta^* = 0,3) = 2,20 - 3,16\gamma^* + 3,05 \exp(-3,8 \gamma^*),$$

полученной с использованием метода наименьших квадратов на базе, к сожалению, малого количества экспериментальных точек.

Экспериментальные данные по коэффициентам асимметрии ν , полученные в циклах I и II, приведены на фиг. 3, а, б (а — цикл II γ^* : точки 1 — 0,15; 2 — 0,32; 3 — 0,44; 4 — 0,58; б — цикл I γ^* : 1 — 0,08; 2 — 0,20; 3 — 0,45; 4 — 0,65; 5 — 0; 6 — 0,90), сплошные линии построены по формуле (1) с использованием функций $f(y/\delta^*)$ и $f_1(\gamma^*; 0,3)$ (формулы (2), (3)). Видно, что полученные функции достаточно хорошо отражают зависимость коэффициента асимметрии пульсаций скорости в пристенной части пограничного слоя в области ламинарно-турбулентного перехода от безразмерного расстояния до поверхности пластины и максимальных по толщине коэффициентов перемежаемости.

Необходимо обратить внимание еще на один экспериментальный факт. На фиг. 3, б приведены значения коэффициента асимметрии в предпереходном сечении пограничного слоя $\gamma^* \sim 0$ и при завершении перехода $\gamma^* = 0,9$. В предпереходном пограничном слое наблюдаются почти симметричные пульсации скорости, которые достаточно быстро изменяют характер при коэффициенте перемежаемости порядка 0,1. При движении вниз по течению пульсации скорости в рассматриваемой по толщине зоне пограничного слоя стремятся к симметричным, а в конце области перехода знак коэффициента асимметрии меняется. Уже при $\gamma^* = 0,9$ наблюдается коэффициент асимметрии, по характеру изменения напоминающий турбулентный пограничный слой, в котором в пристенной области $\nu > 0$ наблюдается лишь в вязком подслое [6].

С целью определения частотного состава пульсаций скорости, вносящих основной вклад в изменение коэффициента асимметрии в области перехода, выполнено измерение ν одного и того же исходного сигнала с использованием различных фильтров верхних и нижних частот. На фиг. 4 для случая $\gamma^* = 0,58$ приведены значения ν для трех областей частот (точки 1 — от 1 Гц до 10 кГц; 2 — 1 Гц до 1 кГц; 3 — от 1 до 10 кГц; 4 — совпавшие точки). Видно, что



Ф и г. 4

определяющий вклад в знак и величину коэффициента асимметрии вносят низкочастотные пульсации скорости, которые связаны с зарождением и прохождением турбулентных пятен различной длительности.

Приведенные экспериментальные данные по коэффициенту асимметрии пульсаций скорости в пристенной части пограничного

слоя в области ламинарно-турбулентного перехода и их математическая обработка показывают наличие некоторого статистического подобия при перестроении течения. Коэффициент асимметрии в исследованном течении определяется низкочастотными пульсациями скорости, связанными с формированием и прохождением турбулентных пятен. Полученные результаты могут быть использованы при расшифровке механизма перестроения ламинарного пограничного слоя в турбулентный.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность Н. Ф. Полякову за помощь, оказанную при проведении экспериментов, В. А. Костомаше за большую помощь при первичной обработке экспериментальных данных на анализаторе статистических характеристик, особую признательность Л. И. Олейниковой, выполнившей значительный объем расчетов и графических работ.

Поступила 2 VII 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигиренко Г. С., Тэтянко В. А., Штатнов Ю. В. Некоторые общие закономерности ламинарно-турбулентного перехода.— В кн.: Проблемы теплофизики и физической гидродинамики. Новосибирск: Наука, 1974.
2. Тэтянко В. А., Штатнов Ю. В. Исследование характеристик ламинарно-турбулентного перехода.— В кн.: Пристенное турбулентное течение. Труды XVIII Сиб. теплофиз. семинара. Ч. II/Под ред. С. С. Кутателадзе. Новосибирск, 1975.
3. Тэтянко В. А., Шарапова Т. А. Ламинарно-турбулентный переход и формирование турбулентного пограничного слоя.— В сб.: Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Двухфазные потоки. Новосибирск: изд. ИТФ СО АН СССР, 1978.
4. Войтенко А. Н., Тэтянко В. А. Об определении коэффициента перемежаемости при ламинарно-турбулентном переходе.— В сб.: Исследования по управлению пограничным слоем. Новосибирск: изд. ИТФ СО АН СССР, 1976.
5. Гиневский А. А., Власов Е. В., Колесников А. В. Аэроакустические взаимодействия. М.: Машиностроение, 1978.
6. Репик Е. У., Соседко Ю. П., Тронина Н. С. Исследование структуры течения в пристенной области турбулентного пограничного слоя.— В кн.: Пристенное турбулентное течение. Труды XVIII Сиб. теплофиз. семинара. Ч. II/Под ред. С. С. Кутателадзе. Новосибирск, 1975.

УДК 538.4

УЧЕТ ЦИЛИНДРИЧНОСТИ В ТЕОРИИ ИНДУКЦИОННОГО МГД-ДВИЖИТЕЛЯ СО СВОБОДНЫМ ПОЛЕМ

Т. А. Пупыкина, В. И. Яковлев

(Новосибирск)

Индукционные МГД-двигатели рассматривались в работах [1, 2]. В [2] показано, что интегральные энергетические характеристики реального МГД-двигателя конечных размеров качественно отличаются от характеристик [1], полученных на его идеальной модели с бесконечно длинным цилиндрическим индуктором, создающим бегущую волну с фиксированными частотой и фазовой скоростью. Физическая причина указанного различия заключается в том, что источник электромагнитных полей (индуктор) двигателя конечных размеров создает спектр волн, обладающих различными фазовыми скоростями (и волновыми числами), среди которых имеются волны со сколь угодно большими фазовыми скоростями. Вклад электромагнитных полей, связанных с этими волнами, в интегральные величины (силу тяги и потребляемую электрическую мощность) двигателя определяет отмеченное в [2] своеобразие в поведении исследуемых характеристик. В связи с этим возникает одно обстоятельство, способное поста-