

УДК 53.082; 532.526

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПРИСТЕННЫХ СДВИГОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ДОЗВУКОВЫХ ПОТОКАХ МЕТОДОМ PIV

© 2011 г.

А.В. Бойко, А.В. Довгаль

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

boiko@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассматривается применение метода PIV для исследования деталей пограничных слоев в двух конкретных задачах. Работа выполнена в отделении Германского аэродинамического центра в Геттингене, Германия. Первая задача связана с определением локального коэффициента поверхностного трения в турбулентном пограничном слое. Показано, что для этого можно использовать измерения методом PIV линейной части профиля скорости в вязком подслое. Вторая проблема – надежность PIV в экспериментах по ламинарно-турбулентному переходу в сдвиговых слоях. Обычно этот метод обеспечивает существенное разрешение только довольно больших изменений скорости. Рассматривается возможность применения PIV для исследования существенно более слабых возмущений ламинарного потока, имеющих место на ранней стадии перехода к турбулентности.

Ключевые слова: панорамное бесконтактное измерение скорости, ламинарно-турбулентный переход, пограничный слой, отрыв пограничного слоя, турбулентность.

Альтернативой термоанемометрическому и другим известным способам исследования детальной мгновенной и осредненной структур пристенных сдвиговых слоев (например, также лазер-доплеровскому измерителю скорости) могут служить бурно развивающиеся на протяжении последних 20 лет различные варианты технологии измерения скорости по изображениям частиц (PIV), которые позволяют получать практически мгновенные поля скорости в исследуемой области потока. В настоящее время такой подход уже довольно широко используется в приложениях [1].

На рис. 1 представлены графики измерения скорости PIV в отрыве потока за обратной ступенькой: *a* – амплитуда (\square), *b* – фаза (\bullet) возмущений продольной компоненты скорости на частоте возбуждения; *в* – амплитуда (\square), *г* – фаза (\bullet) возмущений нормальной к стенке компоненты скорости на частоте возбуждения, а также их профили, рассчитанные по локальной теории устойчивости (сплошные линии); профили продольной компоненты средней скорости, полученные осреднением данных PIV (\circ); положение критического слоя (штрих-пунктир).

Результаты проведенных экспериментов показали, что использованный вариант PIV является достаточно надежным инструментом для определения характеристик периодических возмущений ламинарного течения, с которыми часто приходится иметь дело при экспериментальном моде-

лировании эффектов гидродинамической неустойчивости. Минимальные амплитуды контролируемых колебаний порядка 0,1% скорости внешнего потока, которые удалось разрешить в зоне отрыва пограничного слоя за уступом поверхности, значительно ниже их нелинейного порога.

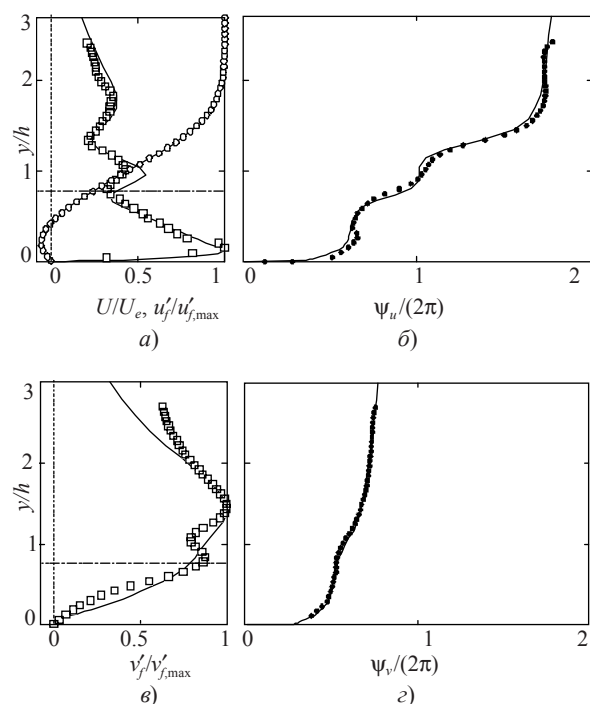


Рис. 1

Таким образом, рассмотренный метод исследова-

дования, хотя и столь точный по амплитуде пульсаций как термоанемометрический, может быть эффективным средством определения характеристик линейной неустойчивости сдвиговых течений. Кроме того, с его помощью удастся получить детальную информацию о нормальной стенке компоненте возмущений, что затруднительно или невозможно при использовании термоанемометрической аппаратуры (см. рис. 1).

Эксперименты, выполненные в турбулентном пограничном слое, продемонстрировали надежность PIV в измерениях среднего во времени поля скорости в непосредственной близости обтекаемой поверхностью (рис. 2), что дает возможность применения данного метода для определения локального коэффициента поверхностного трения.

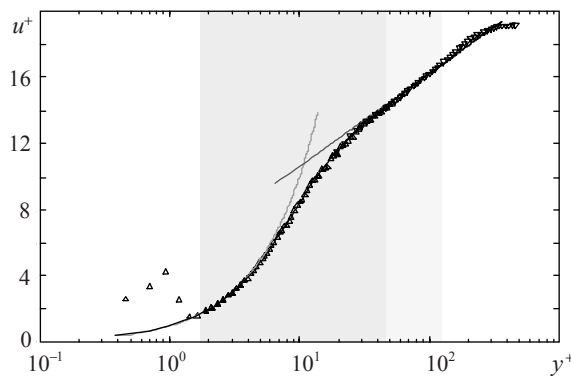


Рис. 2

На рис. 2 изображен экспериментальный профиль скорости в переменных закона стенки при измерениях в области 4×4 мм и 40×40 мм.

При исследовании этой характеристики течения различными способами, включая измерения пристенной линейной части профиля скорости, получены близкие результаты с экспериментальной погрешностью, не превышающей ее величин, известных для других экспериментальных методов. Повышение точности измерений в вязком подслое неканонических течений, в которых поведение профилей скорости в буферной и логарифмической областях не всегда может быть аппроксимировано известными законами [2], возможно с использованием оптики большего разрешения и трассеров меньшего размера.

Авторы выражают благодарность фонду Александра фон Гумбольдта и Ш. Хайну за предоставленную ими возможность проведения настоящих исследований в отделении Германского аэродинамического центра в Геттингене.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 10-08-00276-а.

Список литературы

1. Raffel M., Willert C.E., Wereley S.T., Kompenhans J. Particle image velocimetry – a practical guide. Berlin: Springer, 2007.
2. Бойко А.В., Корнилов В.И. // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17, №4. С. 613–623.

PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY FOR VELOCITY MEASUREMENTS IN SUBSONIC NEAR-WALL SHEAR FLOWS

A.V. Boiko, A.V. Dovgal

Application of PIV for investigation of the flow details in boundary layers with respect to two particular topics is considered. The study was performed in German Aerospace Center, Göttingen, Germany. The first problem is the determination of the local skin friction coefficient of the turbulent boundary layer. It was shown that PIV measurements of the linear part of the mean-velocity profile in the viscous sublayer can be used. The second point is reliability of PIV in experiments on laminar-turbulent transition in shear layers. Normally, the method provides a sufficient resolution of rather strong velocity variations. In the present study we are interested in potential application of PIV for investigating much weaker laminar-flow disturbances found at the early stage of transition to turbulence.

Keywords: particle image velocimetry (PIV), laminar-turbulent transition, boundary layer, boundary-layer separation, turbulence.