

УДК 532.526

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРЯМОГО КРЫЛА

© 2011 г.

*М.М. Катасонов¹, П.А. Мотырев¹, Д.С. Сбоев²*¹Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск²Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, Москва

mikhail@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Выполнены эксперименты в рамках исследования процессов образования турбулентности в пограничном слое при повышенной степени турбулентности набегающего потока. Эксперименты проводились в дозвуковой аэродинамической трубе МТ-324 ИТПМ СО РАН на модели прямого крыла при числах Рейнольдса $61800 < Re_{c_1} < 97000$, при низкой ($Tu = 0.18\% U_\infty$) и повышенной ($Tu = 0.79\% U_\infty$) степени турбулентности набегающего потока. Продольные локализованные возмущения, возникающие в пограничном слое под воздействием повышенной степени турбулентности набегающего потока, в настоящем исследовании моделировались искусственно методом вдува–отсоса воздуха через источник, расположенный на поверхности модели либо вне ее. Исследовались характеристики развития волновых пакетов (предвестников), возникающих в пограничном слое в областях, предшествующих резкому локальному изменению скорости вблизи фронтов локализованного возмущения. Обнаружено, что повышенная степень турбулентности набегающего потока ускоряет развитие волновых пакетов-предвестников и преобразование их в турбулентные пятна.

Ключевые слова: пограничный слой, ламинарно-турбулентный переход, волновые пакеты, продольные полосчатые структуры, предвестники.

Волновые пакеты-предвестники

В последние годы большое внимание уделяется изучению продольных локализованных возмущений, возникающих в пограничном слое под воздействием повышенной степени турбулентности набегающего потока. Такие структуры создают условия для развития высокочастотных волновых возмущений (вторичная неустойчивость, предвестники), которые далее могут трансформироваться в турбулентные пятна, в результате чего течение в пограничном слое переходит из ламинарного состояния в турбулентное [1]. Исследования в «естественных» условиях не позволяют сегодня в полной мере ответить на поставленные вопросы в силу того, что появление возмущений в пограничном слое имеет случайный характер, и в большинстве случаев практически невозможно отследить поведение конкретного возмущения. Для детального изучения продольной структуры (локализованные возмущения) искусственно моделируют в пограничном слое. При моделировании таких возмущений было обнаружено, что в случае импульсного воздействия в пограничный слой вводится возмущение с широким спектром частот, часть из которых попадает в

область неустойчивости течения (если таковая имеется). В результате в пограничном слое возникает волновой пакет-предвестник (поскольку предшествует фронту продольного локализованного возмущения), который быстро нарастает ниже по потоку и приводит к образованию турбулентного пятна [2].

Низкая степень турбулентности набегающего потока

Исследования проводились на модели прямого крыла с хордой $c_1 = 290$ мм. Модель устанавливалась в середине рабочей части под нулевым углом атаки. Возмущения в пограничный слой вводились с помощью вдува воздуха через 40-миллиметровую поперечную щель на поверхности модели либо через тонкую трубку, помещенную вблизи носика крыла. Длительность вдува (отсоса) регулировалась быстродействующим электромагнитным клапаном, синхронизированным с системой записи сигнала. Измерения проводились однониточным датчиком термоанемометра постоянной температуры. Измерялись средняя U и пульсационная u компоненты продольной составляющей скорости.

Исследовалось поле течения в двумерной

плоскости внутри пограничного слоя при низкой степени турбулентности набегающего потока ($Tu = 0.18\%U_\infty$). Под воздействием вдува (отсоса) в пограничном слое возникает продольное локализованное возмущение. Вблизи фронтов локализованного возмущения генерируются высокочастотные волновые пакеты-предвестники. На рис. 1 изображены единичные осциллограммы на уровне максимума сигнала для различных координат вниз по потоку.



Рис. 1

Как было показано в [2], предвестники являются пакетами волн Толлмина–Шлихтинга (Т-Ш). Фактически, предвестник является результатом воздействия прямоугольного импульса (нестационарный вдув или отсос) на пограничный слой. В результате дисперсии фронт прямоугольного импульса разделяется по частотам, из которых пограничным слоем усиливаются наиболее неустойчивые. Обнаружено, что предвестники в процессе своего развития в пограничном слое вниз по потоку преобразуются в Λ -структуры, приводя в дальнейшем через образование турбулентного пятна к турбулентности. Продольные локализованные возмущения вниз по потоку затухают. Особенности градиентного течения проявляются следующим образом: в области благоприятного градиента давления волновые пакеты уменьшаются по амплитуде, затем, при переходе в область неблагоприятного градиента давления, их амплитуда стремительно растет.

Повышенная степень турбулентности набегающего потока

Для создания повышенной степени турбулентности ($Tu = 0.79\%U_\infty$) перед входом в рабочую

часть помещалась турбулизирующая сетка.

Амплитуда предвестника варьировалась изменением интенсивности отсоса воздуха через щель. Создавались предвестники как малой (менее $0.4\%U_\infty$) так и большой амплитуды ($u > 1\%U_\infty$). Анализ распределения пульсации скорости в пограничном слое показывает, что в случае предвестника малой амплитуды ($\approx 0.4\%U_\infty$ вблизи источника) на начальном участке развития в области благоприятного градиента давления ($0.31 < X/C_1 < 0.42$) амплитуда пульсаций сначала падает, но затем, в области неблагоприятного градиента давления, стремительно нарастает (рис. 2а). При этом амплитуда пульсаций скорости для предвестников в условиях повышенной степени турбулентности растет быстрее, чем при низкой степени турбулентности набегающего потока.

Для предвестника большой начальной амплитуды рост интенсивности начинается уже в области благоприятного градиента давления (рис. 2б). Чем больше начальная амплитуда предвестников, тем раньше наступает ламинарно-турбулентный переход вследствие разрушения последних.

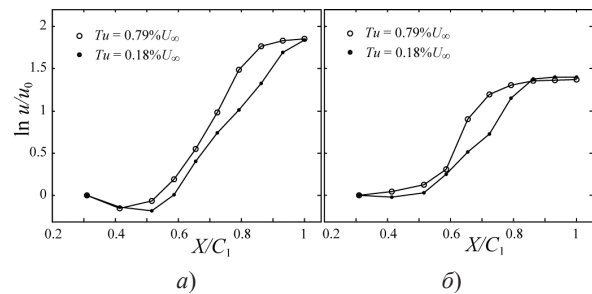


Рис. 2

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ (№ 08-01-00027), грантом ведущих научных школ (НШ-454.2008.1), грантом Министерства образования и науки РФ (№ РНП.2.1.2.541), Гос. контрактом 14.740.11.0354, грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (МД-3973.2011.1).

Список литературы

1. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях.: Наука. Сиб. отд-е, 1999.
2. Горев В.Н., Катасонов М.М. // Теплофизика и аэромеханика. 2004. Т. 11, №3. С. 403–415.

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE LOCALIZED DISTURBANCES
IN THE BOUNDARY LAYER OF A STRAIGHT WING**

М.М. Катасонов, П.А. Мотырев, Д.С. Сбоев

The present experiments are performed within the framework of research of laminar-turbulent transition processes in a boundary layer at the enhanced free stream turbulence level. The investigations were carried out in the subsonic wind tunnel MT-324 ITAM SB RAS at low ($Tu = 0.18\%U_\infty$) and enhanced ($Tu = 0.79\%U_\infty$) free stream turbulence levels. The tested model was a straight wing. Reynolds numbers was $61800 < Re_{c1} < 97000$. The longitudinal localized structures arising in the boundary layer under the influence of high free stream turbulence level, were modeled artificially by means of localized suction through the slot on a model surface. The focus of the paper is on wave packets (forerunners) occurring in the regions preceding a drastic change of flow velocity inside the boundary layer at the localized disturbances fronts. It is found, that the high free stream turbulence level accelerates the development of wave packets-forerunners and their transformation to the turbulent spots.

Keywords: shaker, boundary layer, laminar-turbulent transition, wave packets, longitudinal localized structures, forerunners.