

УДК 629.7.035.03-036.34

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НА ПЛАСТИНЕ С ТУРБУЛИЗАТОРОМ

**Ю.М. Терещенко**

доктор технических наук, профессор кафедры\*  
Контактный тел.: 8(044)406-75-93

**И.А. Ластивка**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой\*  
Контактные тел.: (044)406-78-34, (067)503-67-56

**Л.Г. Волянская**

кандидат технических наук, доцент кафедры\*  
Контактные тел.: (044)406-75-93

**Е.В. Дорошенко**

ассистент кафедры  
\*Кафедра авиационных двигателей  
Национальный авиационный университет  
03680, м. Киев - 058, просп. Космонавта Комарова, 1  
Контактные тел.: 0683513039

*У даній роботі представлені результати чисельного моделювання течії на пластині з турбулізатором з подальшим порівнянням результатів чисельного і фізичного експериментів*

*Ключові слова: турбулізатор, чисельне моделювання*

*В данной работе представлены результаты численного моделирования течения на пластине с турбулизатором с последующим сравнением результатов численного и физического экспериментов*

*Ключевые слова: турбулизатор, численное моделирование*

*The results of numerical simulation of flow on a plate with turbulators are given in the article. Results of numerical simulation and physical experiment are compared*

*Key words: turbulator, numerical simulation*

## 1. Вступлення

Естественное турбулентное перемешивание можно считать идеальным процессом, оно обусловлено изменением скорости по толщине пограничного слоя и поэтому не приводит к потере количества движения. Следовательно, чтобы достичь этих идеальных условий перемешивания, не нужно изменять количество движения основного течения. Необходимо перестроить поле скоростей таким образом, чтобы увеличить градиенты в той области, где происходит турбулентное перемешивание и обмен количеством движения. При «идеальной» перестройке жидкость направляется в другие зоны без образования вторичных течений, которые повышают сопротивление перемешивающих устройств. Однако создать такие идеальные условия невозможно, так как любое устройство для управления течением будет обладать сопротивлением, обусловленным трением. Поэтому, если вторичные течения в достаточной степени способствуют перемешиванию, то их подавление не имеет смысла. Турбулизатор потока является примером устройства, усиливающего перемешивание путем создания продольных вихрей. Таким образом, создаваемые турбулизатором вихри можно считать механизмом перестройки течения, влияние которого сохраняется на значительном расстоянии по потоку.

Наличие слабых вихревых зон, инициируемых турбулизаторами, предполагает более устойчивое обтекание лопаток при больших углах атаки.

Физические предпосылки применения турбулизаторов на изолированных поверхностях основываются на повышении устойчивости пограничного слоя за счет принудительного перевода его из ламинарного в турбулентное.

Исследования, результаты которых приведены в монографиях [1,2,3], показали, что наличие турбулизаторов на поверхности изолированных профилей и в каналах приводит к существенному изменению их гидравлических потерь.

## 2. Постановка задачи

Изучение процесса принудительной турбулизации пограничного слоя с использованием физического эксперимента чрезвычайно сложно. В данной работе ставится задача провести численное моделирование течения на пластине с турбулизатором с последующим сравнением результатов численного и физического эксперимента.

## 3. Решение задачи и анализ результатов

Расчет турбулентного течения жидкости или газа в современных программных продуктах выполняется путем численного решения осредненных уравнений Навье – Стокса (уравнения Рейнольдса). При осреднении по времени в уравнениях появляются новые члены, которые можно интерпретировать как градиен-

ты дополнительных напряжений и тепловых потоков, связанных с турбулентным движением. Эти новые величины должны быть связаны с характеристиками осредненного течения с помощью моделей турбулентной вязкости. На сегодняшний день существует множество различных моделей турбулентной вязкости. В данной работе расчет использовалась модель турбулентной вязкости SST.

Для исследования характера обтекания было смоделировано течение в канале квадратного сечения (100x100мм). Длина канала составляла 1м. На входе задавалась скорость 18м/с.

Турбулизаторами служили пластинки толщиной 1мм, длиной 25мм и высотой 8мм. Передняя и задняя кромки пластинок имели радиус скругления 0,5мм. Турбулизатор устанавливался посередине канала на нижней стенке на расстоянии 0,7м от плоскости входа. Угол установки турбулизатора  $\alpha$  (угол между вектором скорости невозмущенного потока и входной кромкой турбулизатора) в ходе эксперимента изменялся. Число Рейнольдса для моделируемого обтекания  $Re=0,7 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 10^6$ .

На рис.1 изображена схема канала для исследования влияния турбулизаторов на структуру потока в проточной части.

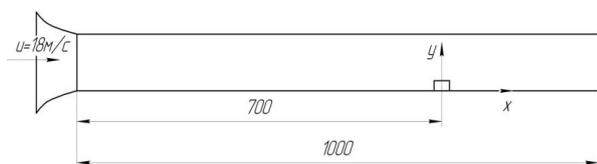


Рис.1. Расчетная схема канала

При проведении расчетов на границе расчетной области ставились следующие условия: твердая стенка, вход, выход. Твердые стенки (турбулизатор и стенки трубы) принимались адиабатическими. Также использовалось условие прилипания. На входе задавались полное давление и скорость воздуха, на выходе фиксировалось статическое давление. Была построена нерегулярная сетка с  $\approx 1$ млн. ячеек с призматическими пограничным слоем. В качестве рабочего тела использовался воздух при нормальных атмосферных условиях.

На рис.2 показано обтекание турбулизатора, установленного перпендикулярно линиям тока основного потока ( $\alpha=90^\circ$ ). Пристеночные линии тока, начинающиеся до линии отрыва, постепенно отклоняются от оси симметрии, не проникая за линию отрыва, а только огибая ее. Часть линий тока, огибающих турбулизатор, начинает разворачиваться к оси симметрии. Вблизи линии симметрии, за турбулизатором, направление потока в пристеночной области становится противоположным направлению основного потока. В зоне между турбулизатором и линией отрыва, вблизи оси симметрии, поток течет от турбулизатора.

На рис.3, 4 показана картина течения при обтекании турбулизатора (угол  $\alpha=25^\circ$ ,  $\alpha=30^\circ$ ). Течение в этом случае является несимметричным, а зона отрыва уменьшается. Линии тока, огибающие турбулизатор сильно искривляются. По мере смещения вниз по потоку отклонение линий тока от оси потока уменьшается.

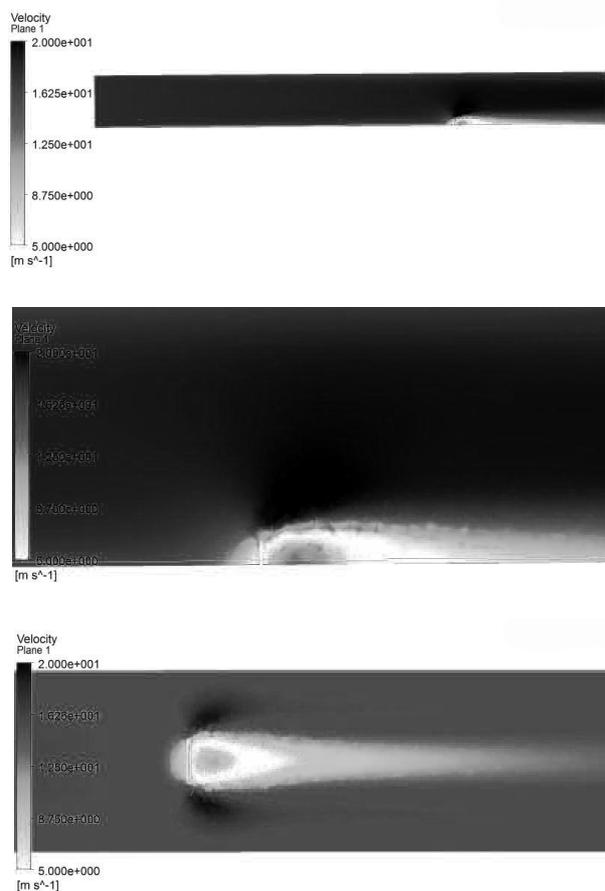


Рис.2. Мгновенное поле скоростей при угле  $\alpha=90^\circ$

На рис.5 показаны поля скорости в следе за турбулизатором посередине канала при различных значениях угла установки турбулизатора. Возмущение, производимое турбулизатором в потоке, вызывает появление провала (дефекта) в профиле скорости за турбулизатором. Величина провала тем больше, чем больше угол установки. При смещении вниз по потоку происходит наполнение верхней части профиля скорости  $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$  и при  $\alpha=25^\circ$  дефект исчезает полностью в сечении  $\bar{x} = 16$ , где  $\delta$  - толщина пограничного слоя. Одновременно происходит наполнение профиля скорости в пристеночной области пограничного слоя. Отметим, что наполнение пристеночной части профиля скорости происходит независимо от наполнения его верхней части. Так, для турбулизатора с  $\alpha=30^\circ$  в сечении  $\bar{x} = 6.1$  происходит наполнение пристеночной части профиля, в то время как верхняя часть профиля уже не меняется. Точками изображены экспериментальные данные [3], линией – результаты численного эксперимента.



Рис.3. Мгновенное поле скоростей при угле  $\alpha=25^\circ$



Рис.4. Мгновенное поле скоростей при угле  $\alpha=30^\circ$

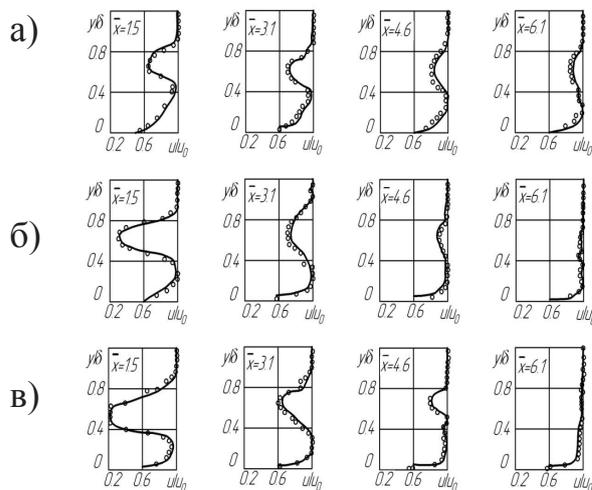


Рис.5 Поля скорости в следе за турбулизатором вихрей при различных значениях угла атаки: а) -  $\alpha=15^\circ$ ; б) -  $\alpha=25^\circ$ ; в) -  $\alpha=30^\circ$

### 3. Выводы

Представленные результаты численного моделирования на пластине с турбулизатором хорошо согласуются с экспериментальными данными, что свидетельствует о корректности использования численного эксперимента для изучения течения при воздействии на пограничный слой со стороны обтекаемой поверхности при  $Re=0,7 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 10^6$ .

### Литература

1. Терещенко Ю.М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров [Текст] / Ю.М. Терещенко – М.: Машиностроение, 1987. – 168с.
2. Чжен П. Управление отрывом потока [Текст] / П.Чжен – М.: Мир, 1979. – 365с.
3. Васильев И.Ю. Исследование генераторов вихрей и их влияние на турбулентный пограничный слой [Текст] / И.Ю. Васильев // Труды ЦИАМ №721. – М.: ЦИАМ, 1976. – 7с.