

V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦИЯ «ТАРАПОВСКИЕ ЧТЕНИЯ»
ХАРЬКОВ, 1-15 марта 2016 г.
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК»

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПРИСТЕННОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБТЕКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОВОДУВА

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Авторы:
студ. Даневский Д.О.
проф. Шквар Е.А.

Проблематика

На протяжении последних нескольких десятков лет в прикладной гидрогазодинамике одними из самых актуальных задач остаются задачи связанные с улучшением свойств турбулентного пристенного обтекания, такие как снижение сопротивления трения и повышение устойчивости потока.

Методы управления турбулентным потоком

Пассивные	Активные
<ul style="list-style-type: none">• Вихрегенераторы• Гидрофобные/гидрофильные поверхности• Риблеты• Разрушители крупных вихрей	<ul style="list-style-type: none">• Инжекция/отсос• Нагрев поверхности• Использование движущихся поверхностей• Вибраторы• Актюаторы

Выбор метода для исследования

Классификация методов управления потоками на активные и пассивные происходит на основе необходимости дополнительных энергозатрат на их реализацию.

Для исследования были выбраны активные как более гибкие и перспективные, которые позволяют управлять потоком в куда более широком диапазоне физических параметров по сравнению с пассивными методами. А именно, выбран был так называемый метод микровыдува (micro-blowing technique, MBT).

Метод микровыдува

Принцип метода заключается в выдуве, газа с незначительной, по отношению ко скорости внешнего потока, скоростью через проницаемую поверхность обтекаемого тела. При этом размеры отверстий, через которые совершается выдув, являются малыми по отношению к толщине пограничного слоя в пристенном потоке.

Преимущества метода

Малость расхода газа обуславливает высокую энергоэффективность данного метода по сравнению с традиционными вариантами данной технологии, где размер отверстий, и, соответственно, расход, не предполагаются малыми.

При этом, результатом имплементации данной технологии является значительное снижение сопротивления трения (до 90% в отдельных модельных случаях).

Цель работы

Основной проблемой на данный момент является отсутствие четкого понимания возможностей данной технологии, а также недостаточно глубокое понимание того, какие именно параметры наиболее существенно влияют на оказываемый инъекцией эффект.

Отсутствие данной информации делает невозможным эффективную практическую реализацию данного метода. Отсюда и вытекает необходимость более детального исследования.

Метод исследования

В качестве метода исследования был выбран метод численного моделирования как наиболее эффективный и гибкий для решения такого рода задач. Следуя данному методу, необходимо решить систему уравнений в частных производных, описывающих движение несжимаемой вязкой жидкости с граничными условиями, которые соответствуют рассматриваемой задаче.

Система уравнений

Система уравнений в для стационарного течения выглядит следующим образом:

$$(\vec{v} \cdot \vec{\nabla})\vec{v} = -\frac{\vec{\nabla}p}{\rho} + \vec{\nabla} \cdot (D_{eff}\vec{\nabla}\vec{v})$$
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0$$

При этом граничные условия имеют следующий вид:

Для входного сечения:

$$v_x = v_\infty, v_y = 0$$

Для нижней границы (поверхность с выдувом):

$$v_x = 0, v_y = v_{blow}$$

Для верхней границы :

$$v_x = v_\infty, v_y = 0$$

Особенности решения

Поскольку режим течения предполагается турбулентным, для достаточно точного воспроизведения особенностей течения, пришлось бы использовать очень малые шаг дискретизации расчетной области, что есть достаточно невыгодно с точки зрения использования вычислительных ресурсов (особенно в случае расчета трехмерных течений).

Однако, вместо использования маленького шага дискретизации, возможно использовать осреднение уравнений движения (метод Рейнольдса, RANS). Этот метод позволяет не рассматривать пульсационные турбулентные составляющие физических полей, а ограничиться лишь регулярными их составляющими. Однако, в случае использования данного метода, коэффициент кинематической вязкости перестает быть постоянной (или близкой к этому) величиной, а начинает существенно зависеть от различных параметров рассматриваемой задачи. А именно, новый “эффективный” коэффициент кинематической вязкости представляется в виде суммы двух составляющих: $\nu_{eff} = \nu + \nu_{turb}$. При этом величина ν считается постоянной, а ν_{turb} — переменной величиной. Модели, которые позволяют представить ν_{turb} как функцию параметров задачи, называются *моделями турбулентности*.

Модель турбулентности

Количество существующих на данный момент моделей турбулентности слабо поддается подсчету, однако, среди них возможно выбрать те, которые наиболее подходят для данной задачи. Для численного моделирования была выбрана модифицированная алгебраическая модель турбулентности, которая математически представляется следующим образом:

$$v_{turb} = \begin{cases} v_{turb\ inner}, & y < y^* \\ v_{turb\ outer}, & y > y^* \end{cases}$$

$$y^* = \min(y) : v_{turb\ inner} = v_{turb\ outer}$$

$$v_{turb\ inner} = \ell^2 \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

$$\ell = \kappa y \left(1 - e^{-\frac{y^+}{A^+}}\right)$$

$$v_{turb\ outer} = \alpha \gamma \delta^* v_\infty$$

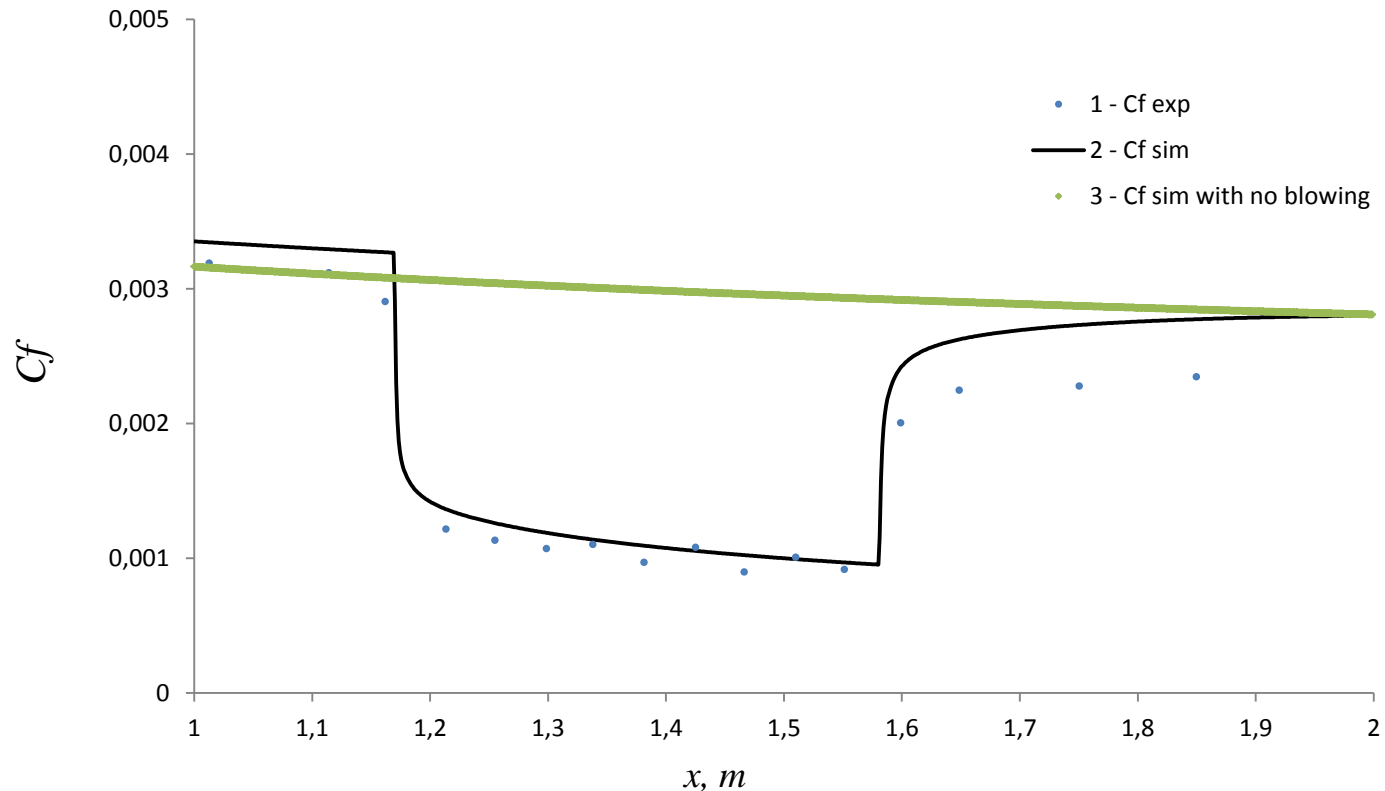
$$\gamma = \left[1 + 5.5 \left(\frac{y}{\delta}\right)^6\right]^{-1}$$

Учет выдува

Данная модель в своем первоначальном варианте предполагает постоянство коэффициентов k , A^+ , α .

Данная модель является достаточно адекватной в ряде случаев, однако, без использования модификаций, воспроизвести эффекты, оказываемые выдувом, она не в состоянии. В связи с этим было решено расширить модель на случай выдува за счет представления коэффициента A^+ как функции скорости выдува. Построение такой модели предполагается осуществить за счет аппроксимации существующих экспериментальных данных (Kornilov V.I., 2015).

Результаты численного моделирования



На графике представлена зависимость коэффициента трения $C_f(x)$ вдоль длины пластины, на которой присутствует область с выдувом. Как можно видеть, четко прослеживается падение коэффициента трения в области выдува. На графике представлены результаты численного моделирования (2, 3) и результаты экспериментального исследования (1).

Дальнейшие исследования

Планируется провести уточнение разработанной модели в направлении совершенствования модели турбулентности применительно к исследуемому методу активного управления течениями, а также обобщить данную модель на более сложные геометрии и случай неоднородного выдува.