

УДК 532.526.3 : 532.582.2

ПЕРЕХОД К ТУРБУЛЕНТНОМУ РЕЖИМУ ТЕЧЕНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБАХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА

Г. С. ГЛУШКО

(Москва)

Рассматривается влияние масштаба турбулентности набегающего потока на переход от ламинарного режима течения в пограничном слое плоской пластины к турбулентному.

При крупномасштабной турбулентности набегающего потока число Рейнольдса перехода зависит только от интенсивности турбулентности, а при мелкомасштабной турбулентности оно почти не зависит от параметров турбулентности набегающего потока.

При численном интегрировании системы дифференциальных уравнений, предложенной в [1], была получена зависимость положения точки перехода ламинарного режима течения в пограничном слое плоской пластины в турбулентный от интенсивности турбулентности набегающего потока, причем значение масштаба турбулентности в набегающем потоке оставалось неизменным и равным толщине ламинарного слоя при $R_0 = x_0 U_\infty / \nu = 10^4$ ($R_L = L_\infty U_\infty / \nu = 500$). В этой работе проведена серия расчетов с целью изучения влияния масштаба турбулентности набегающего потока на положение точки перехода.

Интегрирование системы начиналось от сечения пограничного слоя, расположенного на расстоянии x_0 ($R_0 = 10^4$) от начала пластины. В этом сечении были заданы следующие начальные условия: для безразмерной продольной составляющей средней скорости — распределение Блазиуса $u = f(x_0, y)$, для энергии турбулентности $e = \bar{E}(x_0) f^2(x_0, y)$ ($\bar{E}(x_0) = 1.5u'^2$, u' / U_∞ — интенсивность турбулентности набегающего потока), для масштаба турбулентности

$$L(x_0, y) = y \quad \text{при } y < 0.75L_\infty, \quad L(x_0, y) = y - (y - 0.75L_\infty)^2 / L_\infty$$

$$\text{при } 0.75L_\infty \leq y \leq 1.25L_\infty, \quad L(x_0, y) = L_\infty \quad \text{при } y > 1.25L_\infty$$

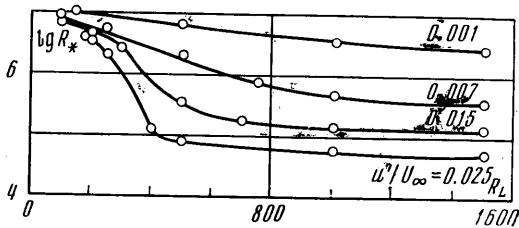
На пластину набегают турбулентный поток с равномерно распределенными по y энергией и масштабом турбулентности. Взаимодействие с твердой поверхностью изменяет это распределение так, что при $x \geq 0$ энергия и масштаб турбулентности на линии $y = 0$ становятся равными нулю. Предположено, что распределение энергии в сечении $x = x_0$ подобно распределению средней скорости.

В уравнении для масштаба турбулентности член, приводящий к уменьшению масштаба в зоне взаимодействия турбулентных молей с твердой поверхностью, пропорционален $(L/y)^2$ (см. [1, 2]).

В точках $y < L_\infty$ особенно при малых значениях y происходит быстрое уменьшение масштаба турбулентности от начала пластины вниз по потоку, обусловленное влиянием этого члена. Поэтому было предположено, что в сечении $x = x_0$ распределение масштаба близко к $L = y$ (при $y < L_\infty$).

С этими начальными распределениями была проделана серия расчетов течения в пограничном слое плоской пластины при $0.001 \leq u'/U_\infty \leq 0.025$ и $100 \leq R_L \leq 1500$. Число Рейнольдса перехода от ламинарного режима течения к турбулентному R_* определялось так же, как в [1].

На фиг. 1 изображены полученные зависимости числа Рейнольдса перехода R_* от масштаба турбулентности набегающего потока при различных интенсивностях турбулентности. Видно, что для крупномасштабной тур-

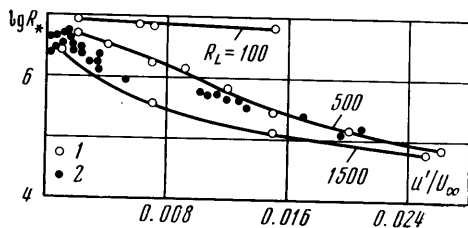


Фиг. 1

булентности ($R_L \geq 10^3$) число Рейнольдса перехода R_* почти не зависит от масштаба турбулентности набегающего потока и сильно зависит от ее интенсивности u'/U_∞ . Для мелкомасштабной турбулентности ($R_L \sim 10^2$) R_* почти не зависит от параметров турбулентности набегающего потока.

Из экспериментальных данных [3, 4] следует, что при интенсивности турбулентности набегающего потока $u'/U_\infty \leq 0.001$ число Рейнольдса перехода R_* становится постоянным. Такую интенсивность турбулентности в аэродинамических трубах получают, устанавливая перед рабочей частью трубы мелкие сетки, которые гасят колебания скорости с масштабом больше размера ячейки сетки M и порождают турбулентность с масштабом порядка M . Так как длина вдоль течения, на которой происходит вырождение турбулентности, пропорциональна M , то порожденная такой сеткой мелкомасштабная турбулентность быстро вырождается. Таким образом, можно предполагать, что эксперименты при $u'/U_\infty \leq 0.001$ были проведены с мелкомасштабной турбулентностью. При этом предположении результаты расчетов могут служить объяснением факта постоянства R_* при $u'/U_\infty \leq 0.001$.

Для экспериментальных исследований перехода с большими интенсивностями турбулентности $u'/U_\infty \sim 0.01-0.03$ необходимо использовать крупномасштабную турбулентность (иначе она выродится). Это соображение и результаты расчетов для крупномасштабной турбулентности позволяют объяснить слабую зависимость положения точки перехода от масштаба турбулентности набегающего потока, отмеченную в ряде экспериментальных исследований (обзоры этих исследований даны в [5, 6]).



Фиг. 2

На фиг. 2 дается сравнение расчетных зависимостей (точки 1 и сплошные кривые) числа Рейнольдса перехода от интенсивности турбулентности набегающего потока при различных значениях R_L с экспериментальными данными различных авторов, опубликованными в [3-6] (точки 2). Основная масса экспериментальных точек лежит между расчетными линиями $R_L = 500$ и $R_L = 1500$. Расчетные значения при $R_L = 100$ слабо зависят от интенсивности турбулентности набегающего потока и лежат выше экспериментальных значений, полученных в малотурбулентных трубах. По-видимому, это связано с наличием шумов в реальных потоках, которые данная теория не учитывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушко Г. С. Некоторые особенности турбулентных течений несжимаемой жидкости с поперечным сдвигом. Изв. АН СССР, МЖТ, 1971, № 4.
 2. Глушко Г. С. Дифференциальное уравнение для масштаба турбулентности и расчет турбулентного пограничного слоя на плоской пластине. В сб. «Турбулентные течения», М., «Наука», 1970.
 3. Schlichting H. Entstehung der Turbulenz. Berlin, 1959. (Рус. перев.: Возникновение турбулентности, М., Изд-во иностр. лит., 1962.)
 4. Wells C. S. Jr. Effects of free stream turbulence on boundary layer transition. Amer. Inst. Aeronaut. and Astron. J., 1967, vol. 5, No. 1. (Рус. перев.: Ракетная техника и космонавтика, 1967, т. 5, № 1.)
 5. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика, ч. 1. М., «Наука», 1965.
 6. Dguden H. L. Transition from laminar to turbulent flow. Turbulent Flow and Heat Transfer Princeton, Univ. Press., 1959. (Рус. перев.: В кн. «Турбулентные течения и теплопередача». М., Изд-во иностр. лит., 1963.)
-