

# ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОПОДВОДА НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Рыжов А. А.

Центральный аэрогидродинамический институт им. Н. Е. Жуковского,  
г. Жуковский, Московская область, Россия

Выполнено двумерное численное моделирование устойчивости и восприимчивости пограничного слоя на пластине при числе Маха набегающего потока 6 при наличии энергоподвода в пограничный слой. Изучено влияние параметров энергоподвода на восприимчивость и устойчивость.

## ВВЕДЕНИЕ

Определение ламинарно-турбулентного перехода необходимо для проектирования высокоскоростных летательных аппаратов. В настоящее время проводятся многочисленные экспериментальные и аналитические исследования в данной области. В тихих условиях переход осуществляется в три этапа: восприимчивость, линейная фаза и нелинейная фаза. Восприимчивость – механизм порождения мод пограничного слоя внешними возмущениями. Линейная фаза связана с эволюцией порожденных мод и описывается линейной теорией устойчивости. При достижении возмущений в пограничном слое критической амплитуды происходит нелинейный переход к турбулентности. Данная работа нацелена на рассмотрение восприимчивости и линейной фазы.

Проведено численное моделирование восприимчивости пограничного слоя к внешним возмущениям при наличии энергоподвода в пограничный слой. На практике энергоподвод осуществляют плазменным разрядом, лазерным пучком. В данной работе источник моделируется посредством добавления источникового члена в уравнения Навье – Стокса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведено численное моделирование сверхзвукового потока на плоской пластине с острой передней кромкой ( $M=6$ ,  $Re=2$  млн.). Использована неявная конечнообъемная схема второго порядка по пространству-времени [1]. WENO-схема использована для

вычисления конвективных членов на границах ячеек. Расчетная сетка состоит из  $2201 \times 301$  ячеек.

Сначала получено стационарное решение. Затем в пограничный слой добавляется подвод энергии вида

$$E'(x, y; t) = \varepsilon \exp \left[ \frac{-(x-x_0)^2 - (y-y_0)^2}{\sigma_0^2} \right] \delta(\omega t - 2\pi n), n \in \Gamma,$$

и решается нестационарная задача. Здесь  $\varepsilon$  – интенсивность энергоподвода,  $(x_0, y_0)$  – точка введения возмущений,  $\sigma_0$  – характерный размер,  $\omega$  – частота. Все параметры

обезразмерены с использованием величин набегающего потока.

Возмущения давления на пластине изображены на Рис. 1. Видно, что генерируются неустойчивые моды, амплитуда которых растет к концу пластины.

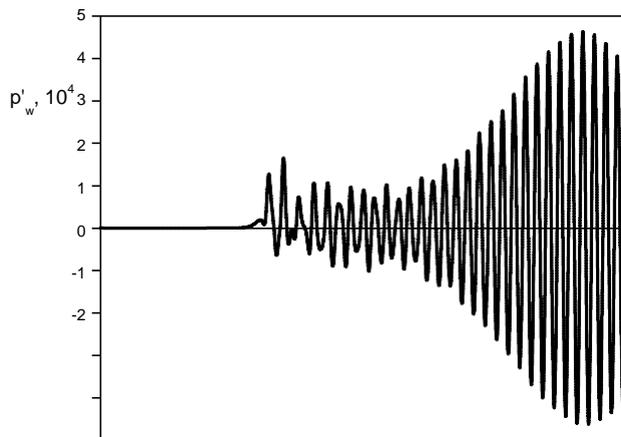




Рис. 1. Распределение возмущений давления на стенке  
 $\sigma_0 = 0.5\delta_e, x_0 = 0.3, y_0 = 1.125\delta_e$

Коэффициент восприимчивости максимален при  $y_0 \approx \delta_e$ , где  $\delta_e = 0.008$  – толщина пограничного слоя при  $x = 0.5$  (Рис. 2).

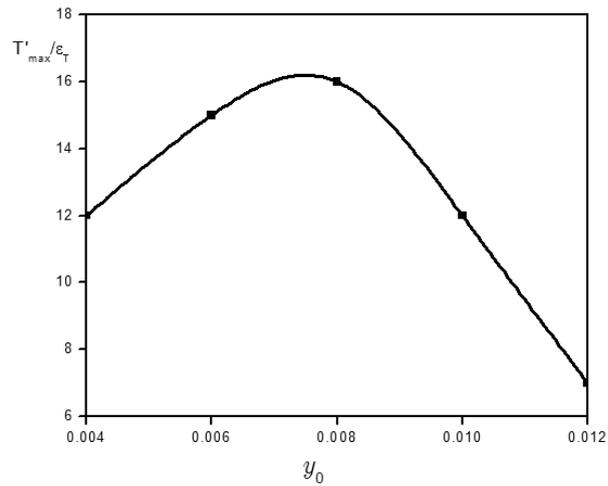


Рис. 2. Коэффициент восприимчивость в зависимости от  $y_0$  при  $\sigma_0 = 0.5\delta_e, x_0 = 0.3$ ,

верхняя граница пограничного слоя – при  $y_0 \approx 0.008$ ;  $T'$  – амплитуду возмущений температуры в центре энергоподвода,  $T'_{\max}$  – максимум возмущений температуры в пограничном слое.

