

5. Zubarev V. M. *Comparative analysis of various  $k$ - $\varepsilon$  turbulence models for laminar-turbulent transition* // Препринт ИПМех РАН. М.: Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, 1997, Препринт № 601. – 52с.

## О структуре течения в ударных слоях около V-образных крыльев при сверхзвуковых скоростях обтекания

<sup>1</sup>М. А. Зубин, <sup>2</sup>Ф. А. Максимов, <sup>3</sup>Н. А. Остапенко

НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>1</sup>[zubinma@mail.ru](mailto:zubinma@mail.ru)

<sup>2</sup>[f\\_a\\_maximov@mail.ru](mailto:f_a_maximov@mail.ru)

<sup>3</sup>[ostap@imec.msu.ru](mailto:ostap@imec.msu.ru)

Представлены результаты комплексного теоретического и экспериментального исследования структуры обтекания V-образных крыльев при сверхзвуковых скоростях обтекания.

Показана возможность распространения ранее установленных критериев существования невязких вихревых структур (вихревых особенностей Ферри) в ударных слоях около V-образных крыльев [Зубин М.А., Максимов Ф.А., Остапенко Н.А. ДАН. Т.434. №3. С.282-288.] на случай образования контактного разрыва соответствующей интенсивности, исходящего из точки ветвления  $\lambda$ -конфигурации ударных волн, сопровождающей отрыв турбулентного пограничного слоя под воздействием внутреннего скачка уплотнения, падающего на одну из консолей крыла. В рамках модели идеального газа рассмотрены режимы течения как с ударными волнами, присоединенными к передним кромкам, так и с центрированной волной разрежения на передней кромке подветренной консоли, реализующиеся при несимметричном обтекании крыла с нулевым углом стреловидности передних кромок и углом раскрытия  $2\pi/3$  потоком с числом Маха  $M = 3$ . С использованием результатов численных расчетов, точного расчета точек ветвления на головной ударной волне и разработанной ранее эффективной полуэмпирической методики расчета интенсивности контактного разрыва, исходящего из точки ветвления  $\lambda$ -конфигурации ударных волн, а также экспериментальных данных, полученных с помощью различных методов, установлено,

что при интенсивности контактных разрывов, исходящих из точек ветвления головной ударной волны и  $\lambda$ -конфигурации ударных волн, большей порогового значения, над наветренной консолью крыла существуют невязкие вихревые структуры – вихревые особенности Ферри.

Приведены результаты численного исследования несимметричного обтекания ромбовидного крыла с углами раскрытия  $\gamma = 240^\circ$  и при вершине консолей  $\beta = 45^\circ$  на режимах со сверхзвуковыми передними кромками при числах Маха  $M = 3\text{--}6$ .

Обнаружены неизвестные ранее разнообразные схемы течения в ударном слое в зависимости от числа Маха, углов атаки и скольжения, обусловленные наличием точки излома поперечного контура крыла. При обтекании со скольжением на режимах с дозвуковым (поперечным) течением в окрестности центральной хорды крыла наблюдается срыв потока с наветренной консоли с образованием вихря на подветренной консоли. Увеличение угла скольжения приводит к возникновению транс- и сверхзвукового течения по обводу вихря и в возвратном потоке около стенки подветренной консоли с образованием ударных волн. При реализации в окрестности точки излома контура условий, допускающих существование центрированной волны разрежения, вихрь сдвигается вниз от точки излома контура вдоль поверхности крыла, а перед ним образуется ударная волна.

В экспериментах при числе  $M = 3$  с использованием различных методов, в частности – специального теневого метода для визуализации конических течений, подтверждено существование схем обтекания с образованием вихря на подветренной консоли крыла в окрестности центральной хорды. В возвратном потоке внутри вихря обнаружен отрыв турбулентного пограничного слоя, который существует при дозвуковой скорости возвратного течения и исчезает при достижении ею скорости звука.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект №15-01-02361).