

## РАСЧЕТНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА – «ГЛАЙДЕРА» HEXAFLY-INT

*Н.В. Воеводенко, А.А. Губанов, А.В. Грачев, А.В. Панюшкин, В.Ю. Лунин, Ю.Г. Швалев, В.А. Яковлева (ФГУП «ЦАГИ», г. Жуковский)*

В данной работе представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований аэродинамических характеристик модели бездвигательного варианта («глайдера») экспериментального высокоскоростного ЛА HEXAFLY-INT. Общий вид модели «глайдера» показан на рис. 1. Особое внимание уделено вопросу влияния состояния пограничного слоя (ПС) на поверхности модели на ее характеристики. Численное моделирование обтекания ЛА, как правило, основывается на решении RANS-уравнений с предустановленным турбулентным или ламинарным ПС. Для проведения быстрых вычислений в широком диапазоне параметров часто используют методы, основанные на решении

уравнений Эйлера, с поправками на вязкость, с помощью эмпирических формул. При этом необходимо знать состояние ПС на поверхности ЛА. Ранее в АДТ ЦАГИ Т-116 исследовалось состояние ПС на поверхности другого варианта экспериментального ЛА HEXAFLY-INT, – с внутренним протоком, моделирующим влияние двигательной установки. Было установлено, что внешняя поверхность модели при числах  $M \geq 6$  обтекается в основном с ламинарным ПС. Причем состояние ПС оказывает принципиальное влияние на характеристики воздухозаборника (запуск или незапуск) [1].

Вопросы трения и теплообмена при больших сверхзвуковых скоростях были ранее подробно исследованы

специалистами Т-116 в широком диапазоне параметров как для турбулентного, так и для ламинарного ПС [2,3]. Получены достаточно точные эмпирические формулы расчета местных коэффициентов трения на пластине. Эти формулы можно использовать в сочетании с невязким численным решением, и в ячейках, прилегающих к стенке, местный коэффициент трения вычислять по эмпирическим формулам, а параметры внешнего течения брать из невязкого решения. В пакете NINA реализована возможность применения нескольких формул учета трения.

Проведено методическое исследование влияния различных параметров течения – чисел  $M$  и  $Re$ , температуры стенки  $T_w$  и угла наклона поверхности пластины  $\Theta$  – на коэффициент трения для пластины при ламинарном и турбулентном ПС. Получено, что при  $\Theta=0$  коэффициент трения в турбулентном ПС в 4 – 7 раз больше, чем в ламинарном, а при  $\Theta=5^\circ$  отличие увеличивается до 7 – 13 раз.

Экспериментальные исследования модели «глайдера» проведены в АДТ ЦАГИ Т-116. Расчеты выполнены с помощью программных пакетов FLUENT и NUMECA (RANS с моделью турбулентности SA), а также NINA и XCODE (Эйлер). Аэродинамические коэффициенты  $C_{xa}$ ,  $C_{ya}$  и  $M_z$ , полученные в расчетах и в эксперименте, демонстрируют приемлемое соответствие результатов. Однако аэродинамическое качество  $K$  заметно различается в окрестности  $K_{max}$  в случаях ламинарного и турбулентного ПС (рис. 2). Расчеты при числе  $M=7$  дают: NINA с ламинарным ПС –  $K_{max} \approx 5.6$ ; NINA с турбулентным ПС –  $K_{max} \approx 4.65$ ; RANS-решения по пакетам FLUENT и NUMECA –  $K_{max} \approx 4.1$ . В эксперименте в Т-116 получена величина  $K_{max} \approx 4.2$ .

Полученные результаты дают основание предположить, что модель «глайдера» обтекалась в Т-116 в основном с турбулентным ПС, в отличие от модели с протоком. Возможно, роль турбулизаторов играли неровности при стыковке носовой части модели с основной частью корпуса. В следующих экспериментах предполагается исследовать состояние ПС на поверхности модели «глайдера» HEXAFLY-INT.

Работа выполнена в рамках международного проекта HEXAFLY-INT 7-й рамочной программы ЕС, тема 7, контракт № АСР3-GA-2014-620327 при поддержке Минпромторга РФ. [http://www.esa.int/techresources/hexafly\\_int](http://www.esa.int/techresources/hexafly_int) .

Литература:

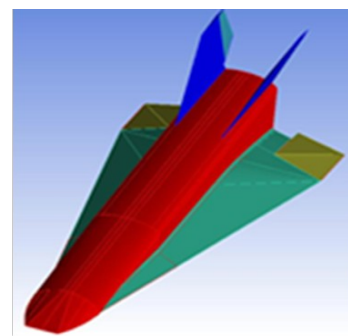


Рис. 1 Модель «глайдера» HEXAFLY-INT.

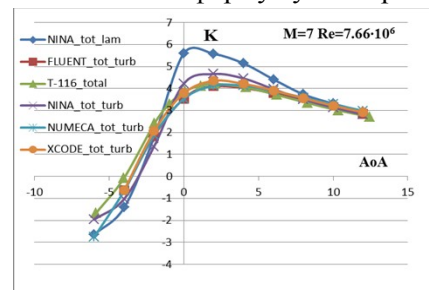


Рис. 2 Аэродинамическое качество «глайдера».

1. Воеводенко Н.В., Губанов А.А., Гусев Д.Ю., Иванькин М.А., Иванюшкин Д.С., Лунин В.Ю., Швалев Ю.Г. Талызин В.А., Яковлева В.А. Расчетные и экспериментальные исследования характеристик и течения в области воздухозаборника высокоскоростного гражданского самолета HEXAFLY-INT // Материалы XXVI научно-технической конференции по аэродинамике, 2015, с. 78 – 79.
2. Швалев Ю.Г. Экспериментальное исследование местной теплоотдачи в ламинарном пограничном слое при сверхзвуковых скоростях // Ученые записки ЦАГИ, 1978, Т. IX, № 5.
3. Рагулин Н.Ф., Швалев Ю.Г. Экспериментальное исследование местной теплоотдачи в турбулентном пограничном слое при сверхзвуковых скоростях // Инженерно-физический журнал, 1983, Т. XLV, №4.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа // М.: Наука, 1978.