

УДК 629.7.016

Ю.В.Солодкин (4 курс, каф. ИСУ), В.В.Кучинский, д.ф.-м.н., проф. НИПГС

ПЛАЗМЕННОЕ ОБТЕКАНИЕ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЙ КОНЦЕПЦИИ «АЯКС»

Одной из важнейших проблем, возникающих при создании гиперзвуковых самолетов, является проблема аэродинамического качества. В концепции «Аякс» улучшение аэродинамического качества летательного аппарата предлагается проводить, используя накопленную на борту электрическую энергию для создания вблизи поверхности плазменной оболочки. Электрическая энергия получается на борту самолета при работе магнитоплазмохимического двигателя и может составить величину порядка 10 МВт.

Для получения устойчивого плазменного образования в гиперзвуковом набегающем потоке разработан и испытан плазменный генератор принципиально нового типа. Этот генератор обладает очень высоким коэффициентом преобразования энергии (до 90%), позволяет при любых условиях полета достигать стабильности по току порядка 1%.

Прохождение ударной волны через плазменное образование, создаваемое таким генератором, сопровождается существенным изменением параметров ударной волны, что, в частности, позволяет снизить лобовое сопротивление летательного аппарата. Содержание данной работы состоит в исследовании изменения скорости ударной волны при прохождении через пространственную температурную неоднородности, создаваемую плазмой.

Процесс формирования и прохождения ударной волны через пространственную неоднородность в одномерном приближении описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = a(x(t)) + a_0 \frac{f(x(t))}{2} \\ \frac{d(t \cdot f(x(t)))}{dt} = \frac{a_0 f(x(t))}{2a(x(t))} \end{cases},$$

где x – пространственная координата, t – время, $f(t)$ – функция, описывающая начальную форму возмущения ударной волны, $a(x)$ – скорость звука в точке x .

Данная одномерная задача была решена, были получены и точные (для простых случаев), и приближенные формулы.

Было установлено, что скорость ударной волны при прохождении через пространственную неоднородность в первом приближении описывается следующей формулой:

$$V(x, x_0, M_0, a_0, T) = a(T(x)) + a_0 F(x, x_0, M_0).$$

Следующее приближение дается более сложной формулой:

$$V(x, x_0, M_0, a_0, T) \approx a(T(x)) + a_0 F(x) \times \begin{cases} 1 & x \leq x_p \\ \sqrt{\frac{1 + F(x_p) \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/3} + \left[1 - \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/3}\right] \frac{F(x)^2}{F(x_p)}}}{1 + F(x_p)} \end{cases},$$

где $F(x) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{x(2M_0 - 1)}{x_0(M_0 - 1)^2} - 1}}$.

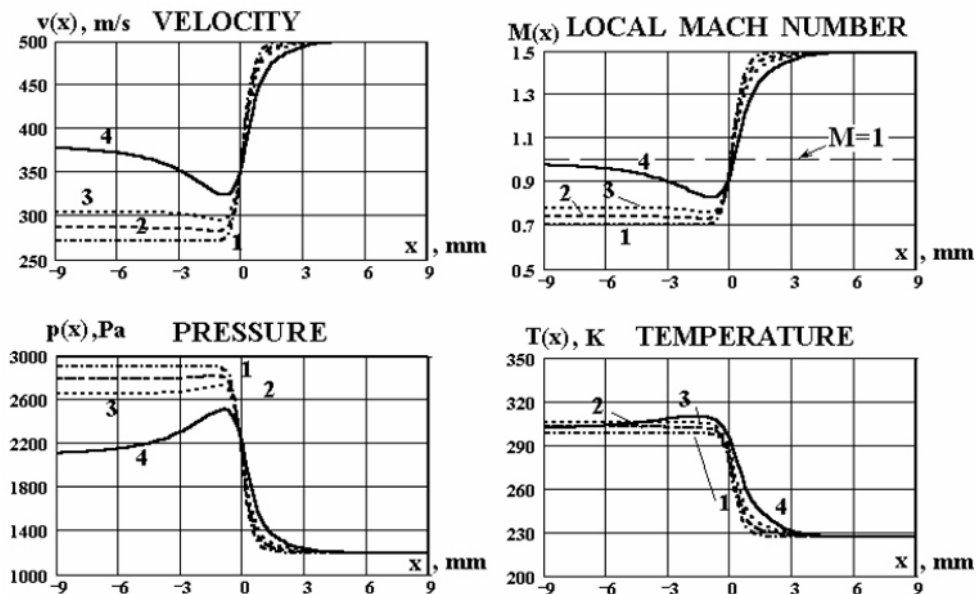


Рис. 1. Изменение параметров ударной волны в пространственной плазменной неоднородности. Центр неоднородности расположен в точке 0. Ударная волна движется слева направо

Данные формулы позволяют производить оптимизацию параметров пространственной неоднородности с целью получения необходимого аэродинамического качества. В работе показано, что данные формулы хорошо применимы для различных наиболее практически значимых форм пространственных неоднородностей.

Как видно из приведенных графиков, с помощью устойчивого плазменного образования в гиперзвуковом набегающем потоке удалось оптимизировать основные параметры ударной волны: увеличить скорость (VELOCITY) и число локального Маха (LOCAL MACH NUMBER) и уменьшить давление (PRESSURE). Также удалось снизить нагрев обшивки аппарата (TEMPERATURE).

Полученное решение составляет основу для дальнейшего конструкторского расчета и моделирования гиперзвукового летательного аппарата. Такой аппарат планируется построить на фирме «Гражданские самолеты Сухого» при участии фирмы «Боинг». Проведена оценка точности приближенных формул и определена область их применимости в зависимости от требуемого уровня точности. Работа выполняется по заказу фирмы «Гражданские самолеты Сухого».