УДК 533.9:51-7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ВБЛИЗИ ЗАРЯЖЕННОЙ ПЛАСТИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ГЛА

Котельников М.В., Кириллов М.В.
Научный руководитель – профессор Котельников В.А.
Московский авиационный институт
(государственный технический университет)

Рассматривается задача о распределение заряженных и нейтральных частиц, а также профиля самосогласованных электрических полей, возникающий вблизи заряженной пластины на боковой поверхности гиперзвукового летательного аппарата (ГЛА).

Математическая модель задачи включает уравнение неразрывности для всех компонент плазмы вблизи ГЛА, уравнения энергии и уравнений Максвелла, которые в данной задаче сводится к уравнению Пуассона. Система уравнений в безразмерном виде:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + div(\overline{j_i}) = 0, \quad \frac{\partial n_e}{\partial t} + div(\overline{j_e}) = 0, \quad \frac{\partial \rho_a}{\partial t} + div(\overline{j_a}) = 0, \quad \Delta\varphi = n_e - Zn_i,$$

$$\frac{\partial \rho_a E_a}{\partial t} + div(\rho_a \overrightarrow{u_a} E_a) = -div(\overrightarrow{u_a} P_a), \quad \frac{\partial \rho_a u_a}{\partial t} + div(\rho_a \overrightarrow{u_a}\overrightarrow{u_a}) = -\nabla P_a,$$

$$P_a = (E_a - V_a^2/2)\rho_a(\gamma - 1), \quad E_a = C_v T_a + V_a^2/2, \quad u_i = \frac{1}{1+\beta_i^2}(u_a + a_i + \beta_i(u_a + a_i)\times e),$$

$$u_e = \frac{1}{1+\beta_e^2}(u_a + a_e - \beta_e(u_a + a_e)\times e), \quad \beta_i = \frac{2w_i}{\nu_{ia}}, \quad \beta_e = \frac{w_e}{\nu_{ea}}, \quad a_i = -D_i\left(\frac{1}{n_i}\nabla n_i + \frac{Ze}{kT_i}\nabla\varphi\right),$$

$$a_e = -D_e\left(\frac{1}{n_e}\nabla n_e - \frac{e}{kT_e}\nabla\varphi\right), \quad e = \vec{B}/B.$$

Все входящие параметры являются общепринятыми.
Масштабы:

$$M_L = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 kT_i}{ne^2}}, \quad M_\varphi = \frac{kT_i}{e}, \quad M_t = \frac{M_L^2}{D_i}$$

Имеют место следующие условия на поверхности заряженной пластины:

$$n_i(r_\infty, t) = 0, \quad n_e(r_\infty, t) = 0, \quad \varphi(r_p, t) = \varphi_p(t)$$

на границе расчетной области:

$$n_i(r_\infty, t) = 1, \quad n_e(r_\infty, t) = 1, \quad \varphi(r_\infty, t) = 0$$

в начальный момент времени $t = 0$:

$u_x(x,y) = 0$, $u_y(x,y) = u_\infty$, $n_i(r,0) = f_1(r)$, $n_e(r,0) = f_2(r)$, где функции $f_1(r)$, $f_2(r)$ – известные функции.

Решение системы осуществлялось методом последовательных итераций по времени. Для решения уравнений неразрывности и энергии метод крупных частиц, а для уравнения Пуассона – метод Фурье.

Получены двумерные поля направлений скоростей, концентраций частиц вблизи элементов конструкций ГЛА в зависимости от его потенциала, размера и параметров плазмы, а также потоки частиц на элементы конструкции.