

Описание модели с учетом аэродинамики

Обозначения координат

X, Y, Z - линейные координаты локальной системы координат относительно глобальной (линейные координаты конвертоплана)

ψ, θ, γ - углы рысканья, тангажа и крена (угды порота конвертоплана относительно осей глобальной системы координат)

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - угловые скорости конвертоплана в локальной системе координат

V_x, V_y, V_z - проекции вектора скорости на оси локальной системы координат

φ – угол поворота моторов (0 – параллельно плоскости конвертоплана, +90 – перпендикулярно плоскости конвертоплана)

α – угол атаки (между проекций вектора скорости на плоскость Oxy локальной системы координат и осью Ox локальной системы координат)

n – количество оборотов моторов в секунду

Уравнение динамики в локальной системе координат

$$m(\dot{V}_x + \omega_y V_z - \omega_z V_y) = R_x + G_x$$

$$m(\dot{V}_y + \omega_z V_x - \omega_x V_z) = R_y + G_y$$

$$m(\dot{V}_z + \omega_x V_y - \omega_y V_x) = R_z + G_z$$

$$I_x \dot{\omega}_x - I_{xy} \dot{\omega}_y + (I_z - I_y) \omega_y \omega_z + I_{xy} \omega_x \omega_z = M_{Rx}$$

$$I_y \dot{\omega}_y - I_{xy} \dot{\omega}_x + (I_x - I_z) \omega_x \omega_z - I_{xy} \omega_y \omega_z = M_{Ry}$$

$$I_z \dot{\omega}_z + (I_y - I_x) \omega_x \omega_y + I_{xy} \omega_y^2 \omega_x^2 = M_{Rz}$$

Уравнения перехода между угловыми скоростями в локальной и глобальной системе координат

$$\omega_x = \dot{\gamma} + \dot{\psi} \sin \theta$$

$$\omega_y = \dot{\psi} \cos \theta \cos \gamma + \dot{\theta} \sin \gamma$$

$$\omega_z = -\dot{\psi} \cos \theta \sin \gamma + \dot{\theta} \cos \gamma$$

$$\dot{\gamma} = \omega_x - (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma) \operatorname{tg} \theta$$

$$\dot{\theta} = \omega_z \cos \gamma + \omega_y \sin \gamma$$

$$\dot{\psi} = \frac{1}{\cos \theta} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma)$$

Перевод линейных скоростей в глобальную систему координат

$$V_g = \Gamma^T V$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \sin \theta & -\sin \psi \cos \theta \\ \cos \psi \sin \theta \cos \gamma + \sin \psi \sin \gamma & \cos \theta \cos \gamma & \cos \psi \sin \gamma + \sin \psi \sin \theta \cos \gamma \\ \cos \psi \sin \theta \sin \gamma & -\cos \theta \sin \gamma & \cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \theta \sin \gamma \end{bmatrix}$$

Откуда

$$V_{gx} = V_x \cos \psi \cos \theta + V_y (-\cos \psi \sin \theta \cos \gamma + \sin \psi \sin \gamma) + V_z (\cos \psi \sin \theta \sin \gamma + \sin \psi \cos \gamma)$$

$$V_{gy} = V_x \sin \theta + V_y \cos \theta \cos \gamma - V_z \cos \theta \sin \gamma$$

$$V_{gz} = -V_x \sin \psi \cos \theta + V_y (\cos \psi \sin \gamma + \sin \psi \sin \theta \cos \gamma) + V_z (\cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \theta \sin \gamma)$$

Силы и моменты в локальной системе координат

Осевые составляющие тяги винта

$$J1 = V_vint(1) / n_s1 / D;$$

$$J2 = V_vint(2) / n_s2 / D;$$

$$J3 = V_vint(3) / n_s3 / D;$$

$$J4 = V_vint(4) / n_s4 / D;$$

$$c_t1 = -0.1903 * (J1^2) - 0.0423 * J1 + 0.0959;$$

$$c_t2 = -0.1903 * (J2^2) - 0.0423 * J2 + 0.0959;$$

$$c_t3 = -0.1903 * (J3^2) - 0.0423 * J3 + 0.0959;$$

$$c_t4 = -0.1903 * (J4^2) - 0.0423 * J4 + 0.0959;$$

$$T1 = \rho * c_t1 * (n_s1^2) * (D^4);$$

$$T2 = \rho * c_t2 * (n_s2^2) * (D^4);$$

$$T3 = \rho * c_t3 * (n_s3^2) * (D^4);$$

$$T4 = \rho * c_t4 * (n_s4^2) * (D^4);$$

V_vint – проекция скорости с учетом угла поворота двигателей

$$V_vint1 = V * \cos(\alpha) * \cos(\phi1);$$

$$V_vint2 = V * \cos(\alpha) * \cos(\phi2);$$

$$V_vint3 = V * \cos(\alpha) * \cos(\phi3);$$

$$V_vint4 = V * \cos(\alpha) * \cos(\phi4);$$

Нормальные составляющие тяги винта

Проекция на ось x локальной системы координат

$$N_{1_m_x} = C_{\alpha x}(\varphi_1 - \alpha) V_{vint1}$$

$$C_{\alpha x}(\alpha) = * \alpha^2 + 0.009337 * \alpha + 0.068991$$

Аналогично для трех остальных двигателей

Проекция на ось y локальной системы координат

$$N_{1_m_y} = C_{\alpha y}(\varphi_1 - \alpha) V_{vint1}$$

```
function C_alpha_y = fcn(alpha)
```

```
if alpha <4
```

```
    C_alpha_y = 0.0714*alpha + 0.7908;
```

```
else
```

```
    C_alpha_y = -0.000643*alpha^2 + 0.066781*alpha + 0.816948;
```

```
end
```

Аналогично для трех остальных двигателей

Силы от элевоннов

Проекция на ось x локальной системы координат

$$N_{1_{e_x}} = C_{ex}(\varphi_1 - \alpha)V_{vint 1}$$

```
function C_e_x = fcn(alpha)
if alpha < 30
    C_e_x = 0.000014*alpha^2 + 0.000376*alpha + 0.002834;
else
    C_e_x = -0.000009*alpha^2 + 0.001686*alpha - 0.014520;
end
```

Аналогично для трех остальных двигателей

Проекция на ось y локальной системы координат

$$N_{1_{e_y}} = C_{ey}(\varphi_1 - \alpha)V_{vint 1}$$

```
function C_e_y = fcn(alpha)
C_alpha_x2 = 0.00000019*alpha^3 - 0.00004332*alpha^2 + 0.00233089*alpha;
```

Аналогично для трех остальных двигателей

Результирующие силы

По оси x локальной системы координат

$$R_x = \sum_{i=1}^4 T_i \sin \varphi_i - N_{i_{m_x}} - N_{i_{e_x}}$$

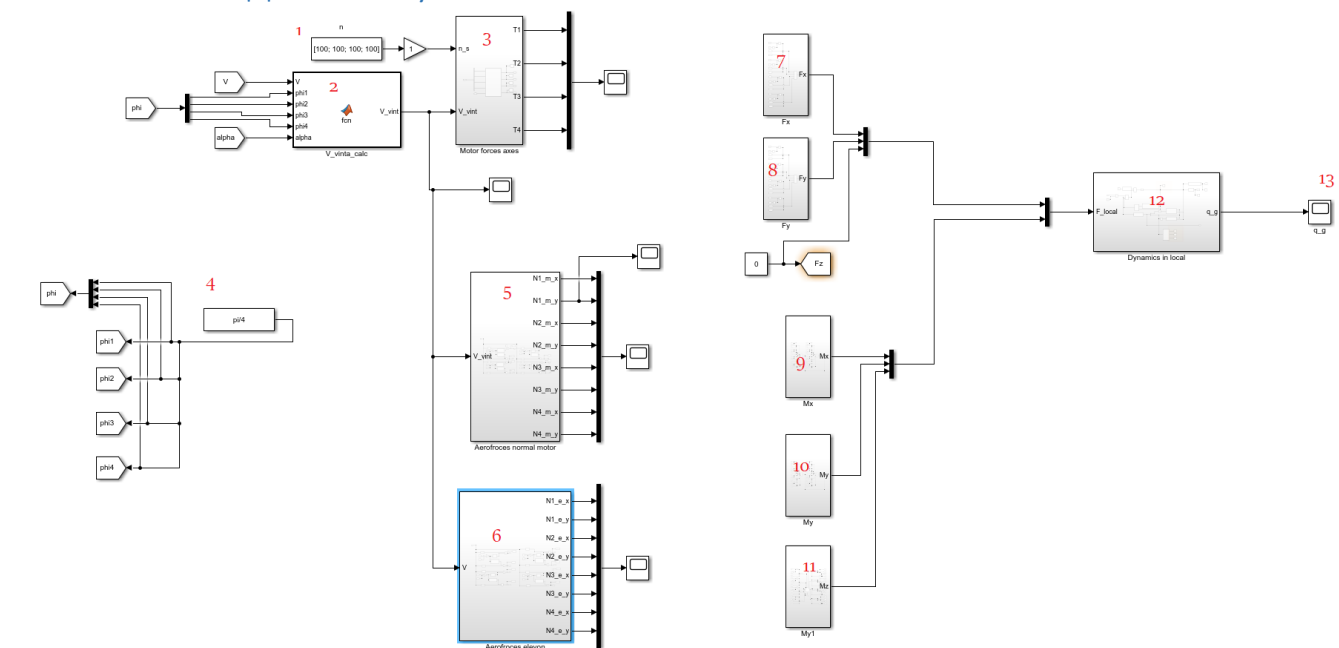
По оси y локальной системы координат

$$R_y = \sum_{i=1}^4 T_i \cos \varphi_i + N_{i_{m_y}} - N_{i_{e_y}}$$

По оси z локальной системы координат

$$R_z = 0$$

Описание модели симулинок



1 – вектор, задающий обороты двигателя

2 – пересчет скорости по направлению угла атаки с учетом поворота моторов

3 – блок расчета осевой тяги

4 – задание угла поворота моторов

5 – расчет нормальной силы моторов

6 – расчет силы элевонров

7 – расчет проекции силы на ось x локальной системы координат

8 – расчет проекции силы на ось y локальной системы координат

9 – 11 – расчет моментов сил относительно локальной системы координат

12 – динамическая модель конвертоплана с преобразованием координат в глобальную систему координат

13 – глобальные координаты конвертоплана