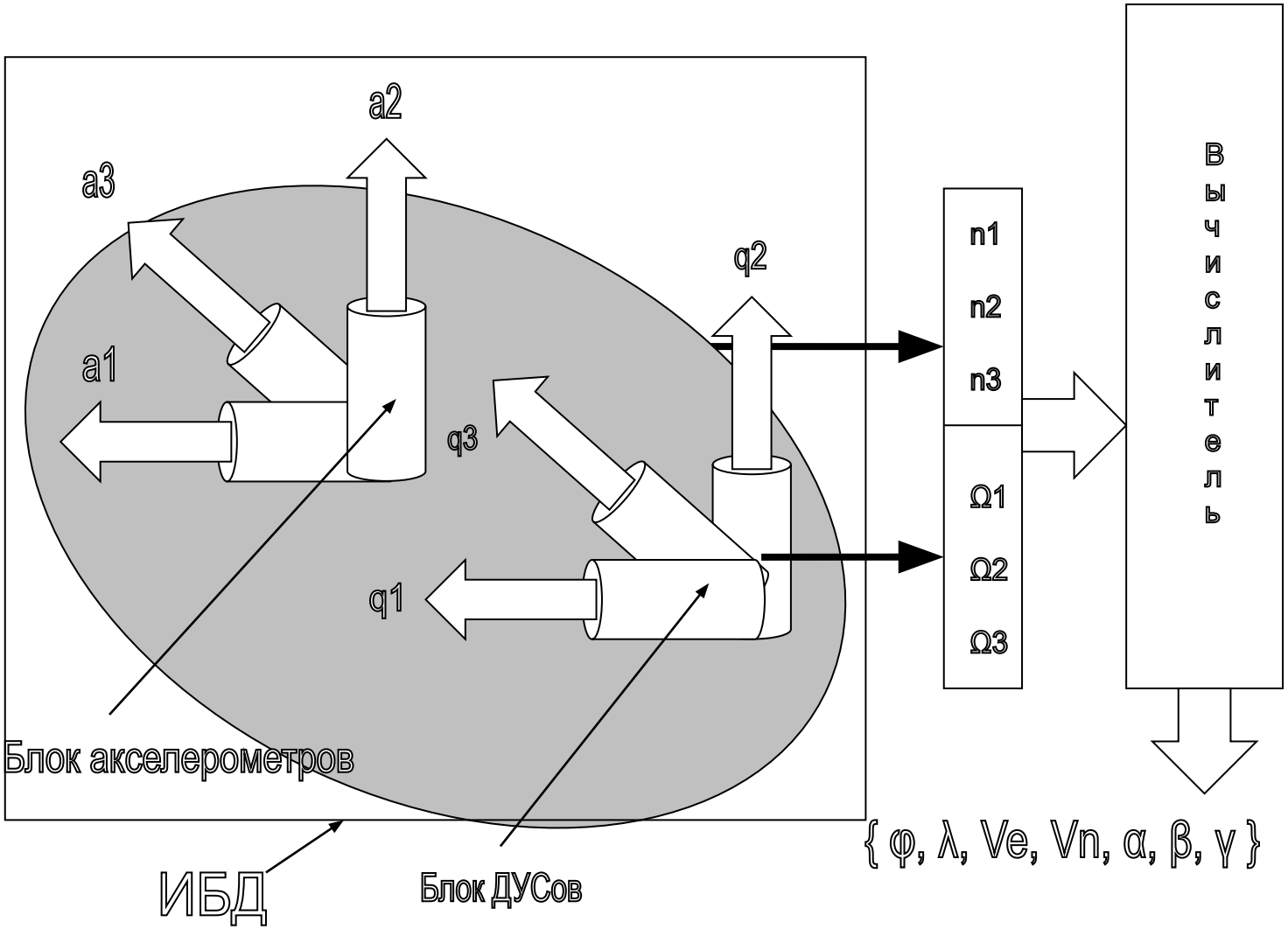
Дипломная работа

«Моделирование точности работы БИНС в контуре беспилотного ЛА»

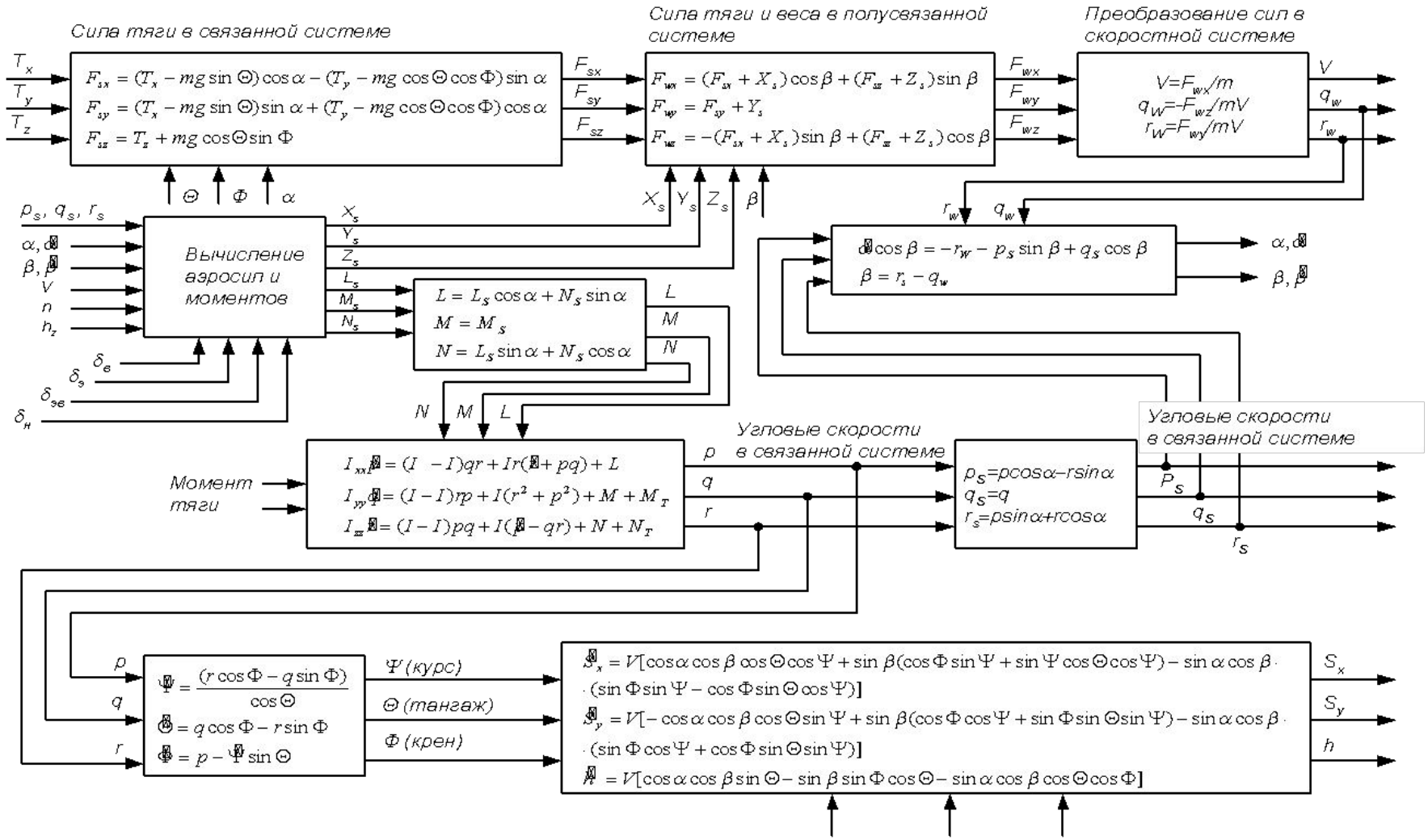
Дипломант: Арыкова А. Ю.

Руководитель работы: профессор Костюков В. М.

Структура БИНС



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛА



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БИНС

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\begin{bmatrix} VE \\ VN \\ Vz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_z + 2\cdot u_z & -(\omega_y + 2\cdot u_y) \\ -(\omega_z + 2\cdot u_z) & 0 & \omega_x \\ \omega_y + 2\cdot u_y & -\omega_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} VE \\ VN \\ Vz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} NX \\ NY \\ NZ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \\ \dfrac{d}{dt}\begin{bmatrix} \varphi \\ \lambda \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{VN}{\rho_1 + H} \\ \dfrac{VE}{(\rho_2 + H)\cdot\cos(\varphi)} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega_x \\ \omega_y \\ Vz \end{bmatrix} \end{cases}$$

Уравнения Пуассона

$$\frac{d[C_{ij}]}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & \Omega_z & -\Omega_y \\ -\Omega_z & 0 & \Omega_x \\ \Omega_y & -\Omega_x & 0 \end{bmatrix} \cdot [C_{ij}] + [C_{ij}] \cdot \begin{bmatrix} 0 & \Omega_3 & -\Omega_2 \\ -\Omega_3 & 0 & \Omega_1 \\ \Omega_2 & -\Omega_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Omega_x = \omega_x$$

$$\Omega_y = \omega_y + u_y$$

$$\Omega_z = \omega_z + u_z$$

$$\begin{bmatrix} NX \\ NY \\ NZ \end{bmatrix} = [C_{ij}] \cdot \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix}$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БИНС

$$\rho_1 = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi))^{3/2}}$$

$$\rho_2 = \frac{a}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi))^{1/2}}$$

a = 6378245 м – экваториальный полудиаметр (эллипсоид Красовского ПЗ-42);
e^2 = 0.0066934126 – эксцентриситет.

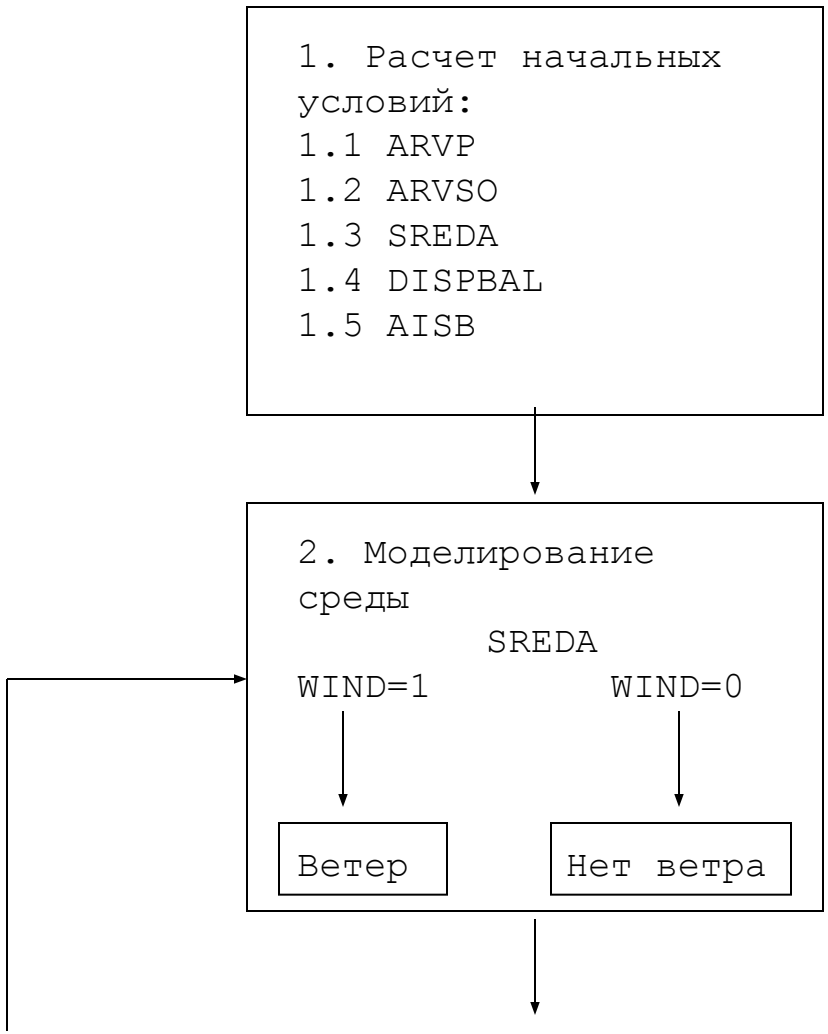
$$u_y = u \cdot \cos(\varphi)$$

$$u_z = u \cdot \sin(\varphi)$$

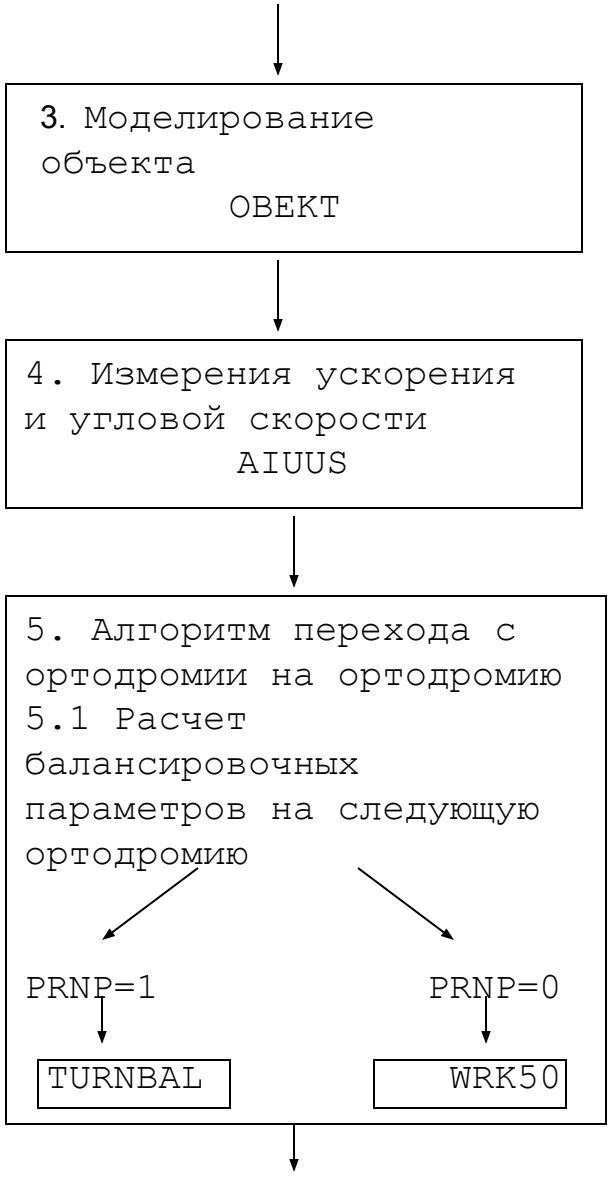
$$u = 7292115 \cdot 10^{-11} \ рад./с.$$

$$\omega_x = -\dot{\varphi} \qquad \omega_y = \dot{\lambda} \cdot \cos(\varphi) \qquad \omega_y = \dot{\lambda} \cdot \sin(\varphi)$$

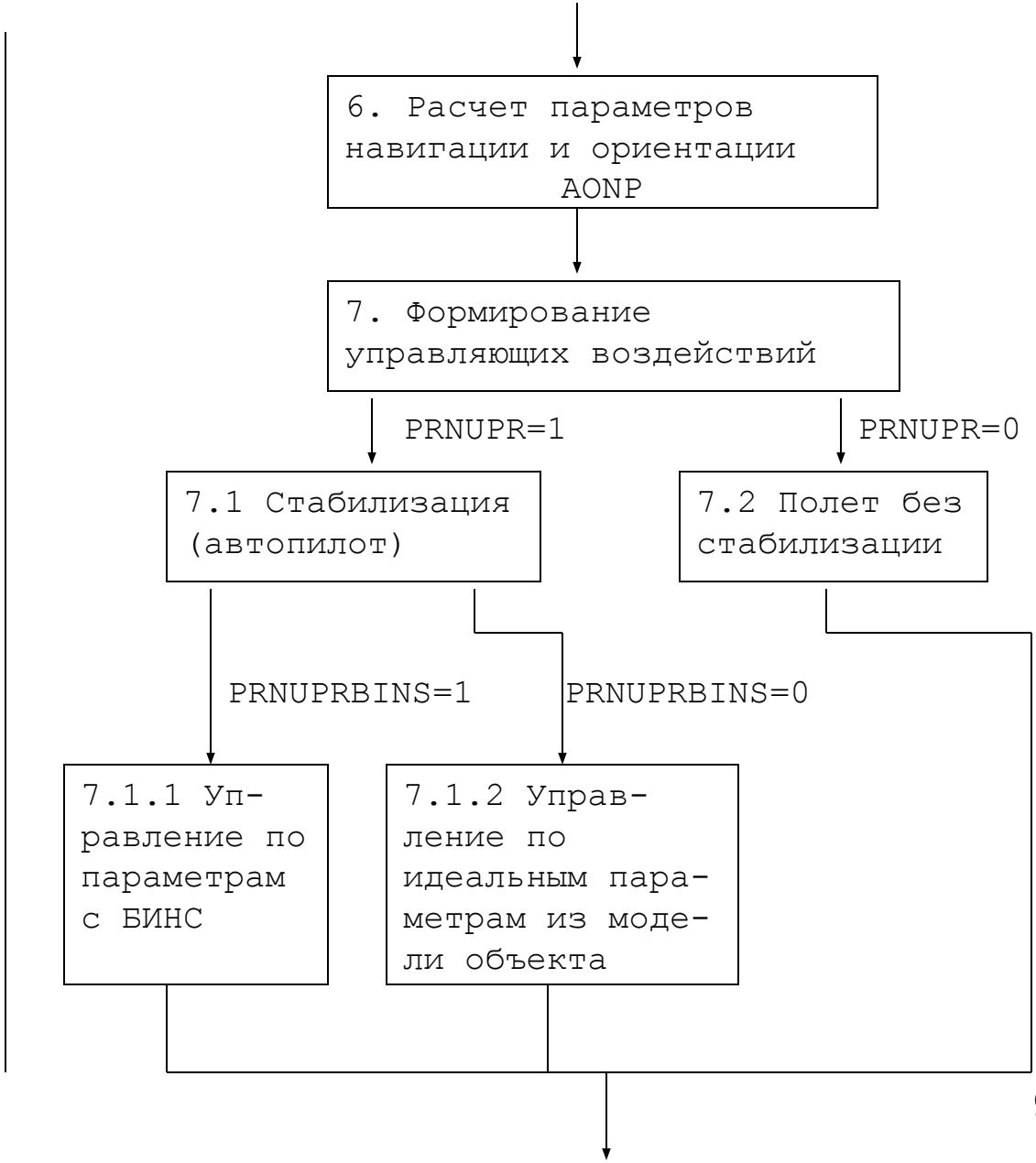
Алгоритм программы



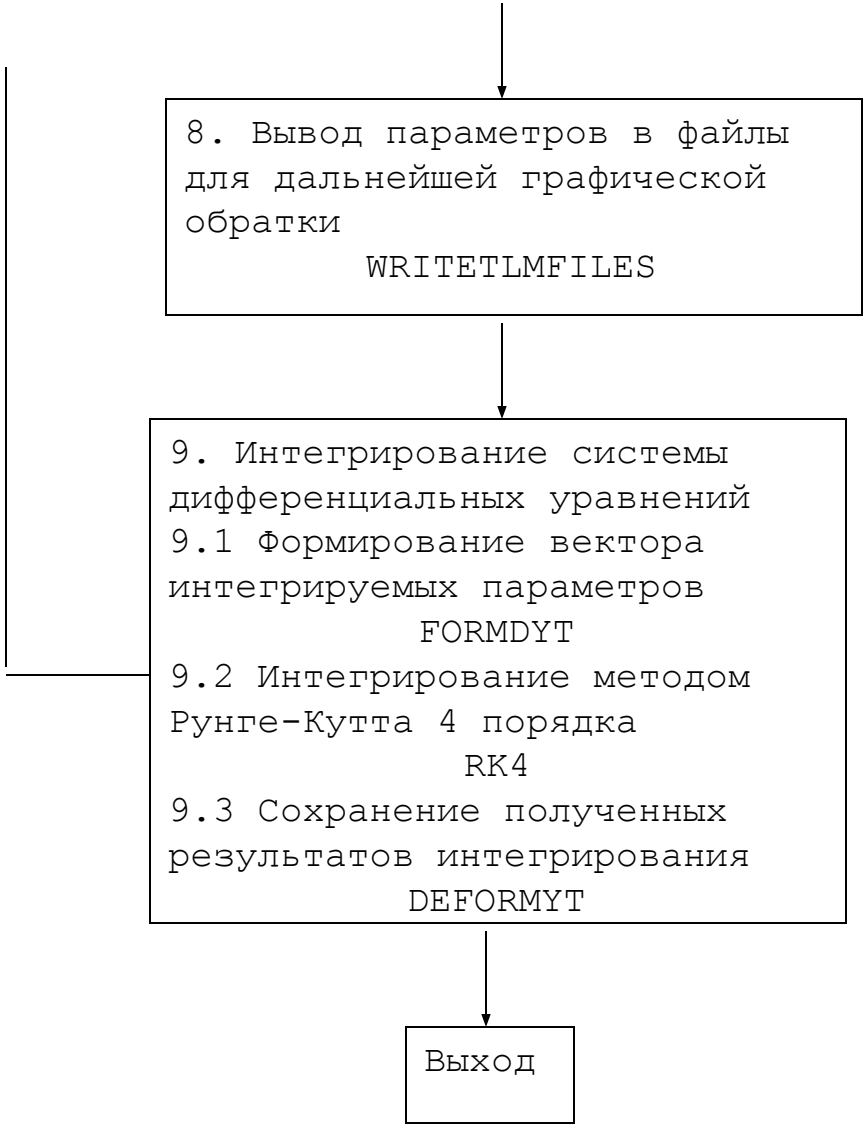
Алгоритм программы



Алгоритм программы



Алгоритм программы



МОДЕЛЬ ОШИБОК БИНС

$$\begin{cases} B_{x_П} = W_{ax} + k_{ax} f_x + U_{az} f_y - U_{ay} f_z + \nu_x(n) \\ B_{y_П} = W_{ay} - U_{az} f_x + k_{ay} f_y + U_{ax} f_z + \nu_y(n) \\ B_{z_П} = W_{az} + U_{ay} f_x - U_{ax} f_y + k_{az} f_z + \nu_z(n), \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varepsilon_{x_П} = O_{Дx} + k_X \omega_{Дz} + U_Y \omega_{Дy} - U_Z \omega_x + \eta_x(n) \\ \varepsilon_{y_П} = O_{Дz} - U_X \omega_{Дy} + k_Y \omega_{Дx} + U_Z \omega_y + \eta_y(n) \\ \varepsilon_{z_П} = O_{Дy} + U_X \omega_{Дx} - U_Y \omega_{Дz} + k_Z \omega_z + \eta_z(n) \end{cases}$$

МОДЕЛЬ ОШИБОК БИНС

$$\nu_i(n) = C_{Ai}\chi_{Ai}(n) + d_{Ai}\nu_i(n-1)$$

где $i = x, y, z$

$C_{Ai} = \sigma_{Ai}\sqrt{1-\rho_{Ai}^2} = 0,003$ / ^{2}

$d_{Ai} = \rho_{Ai} = e^{-2\pi f_{Ai}\Delta t_{Ai}} = 0,00000015$

$$\eta_{Бi}(n) = C_{ii}\chi_i(n) + d\eta(n-1)$$

где $i = x, y, z$

$C_{Бi} = \sigma \sqrt{1-\rho_{Бi}^2} \approx 0,00057$ 1/с =

$d_{Бi} = \rho = e^{-2\pi f_{Бi}\Delta t_{Бi}} = 0,00187$

МОДЕЛЬ ОШИБОК БИНС

$$\begin{cases} \omega_{x_П} = \omega_X + \varepsilon_{x_П} \\ \omega_{y_П} = \omega_Y + \varepsilon_{y_П} \\ \omega_{z_П} = \omega_Z + \varepsilon_{z_П} \end{cases}$$

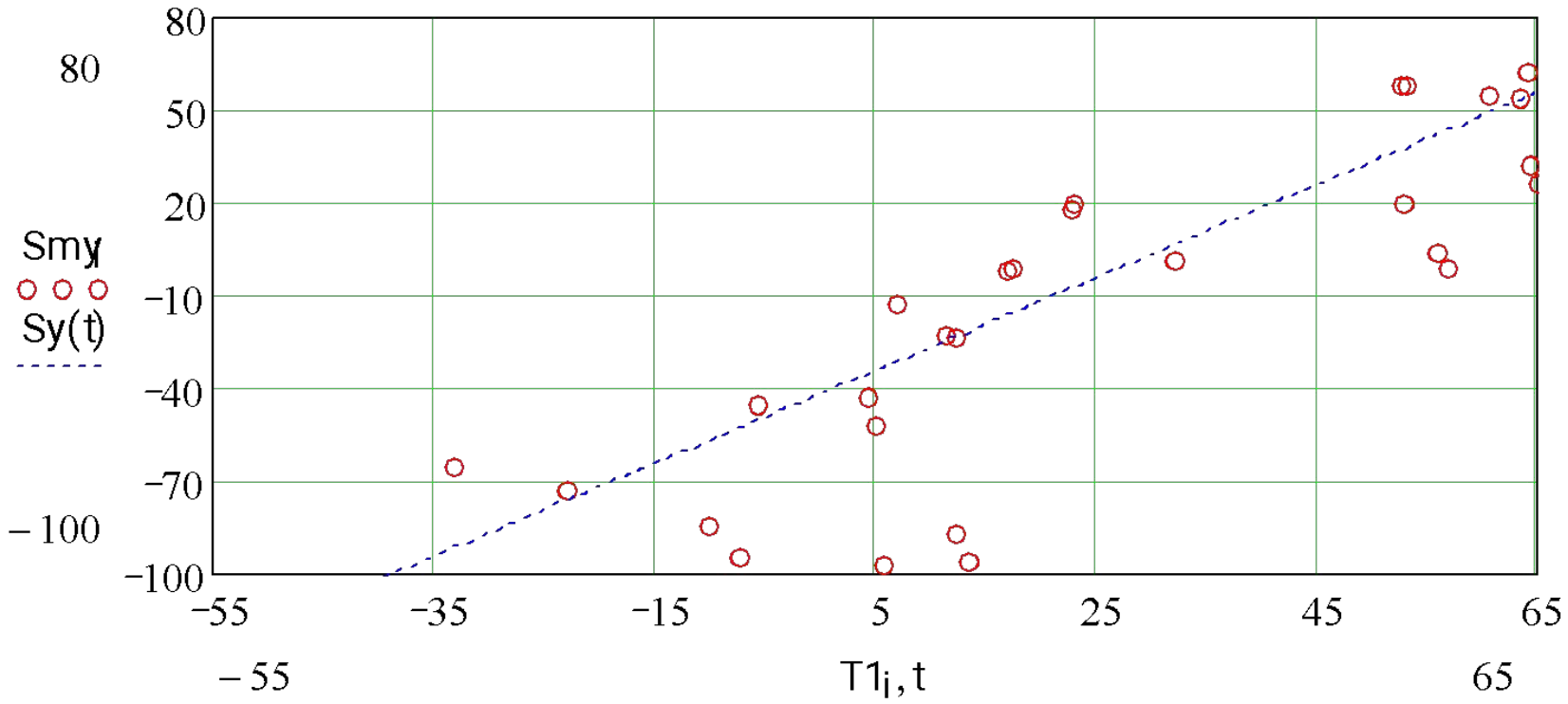
$$\begin{cases} a_{x_П} = f_X + B_{x_П} \\ a_{y_П} = f_Y + B_{y_П} \\ a_{z_П} = f_Z + B_{z_П} \end{cases}$$

Оси	O_1X_1	O_1Y_1	O_1Z_1
$O_1X_П$	1	ϕ_Z	$-\phi_Y$
$O_1Y_П$	$-\phi_Z$	1	ϕ_X
$O_1Z_П$	ϕ_Y	$-\phi_X$	1

$$\begin{cases} f_X = a_{X_1} + \varphi_Z a_{Y_1} - \varphi_Y a_{Z_1} \\ f_Y = a_{Y_1} - \varphi_Z a_{X_1} + \varphi_X a_{Z_1} \\ f_Z = a_{Z_1} + \varphi_Y a_{X_1} - \varphi_X a_{Y_1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \omega_X = \omega_{X_1} + \varphi_Z \omega_{Y_1} - \varphi_Y \omega_{Z_1} \\ \omega_Y = \omega_{Y_1} - \varphi_Z \omega_{X_1} + \varphi_X \omega_{Z_1} \\ \omega_Z = \omega_{Z_1} + \varphi_Y \omega_{X_1} - \varphi_X \omega_{Y_1} \end{cases}$$

Температурная компенсация



Результаты моделирования

Сравним результаты моделирования:

1) Движение объекта с возмущенной средой (с ветром), управление по данным с БИНС. БИНС с ошибками (без температурной компенсации)

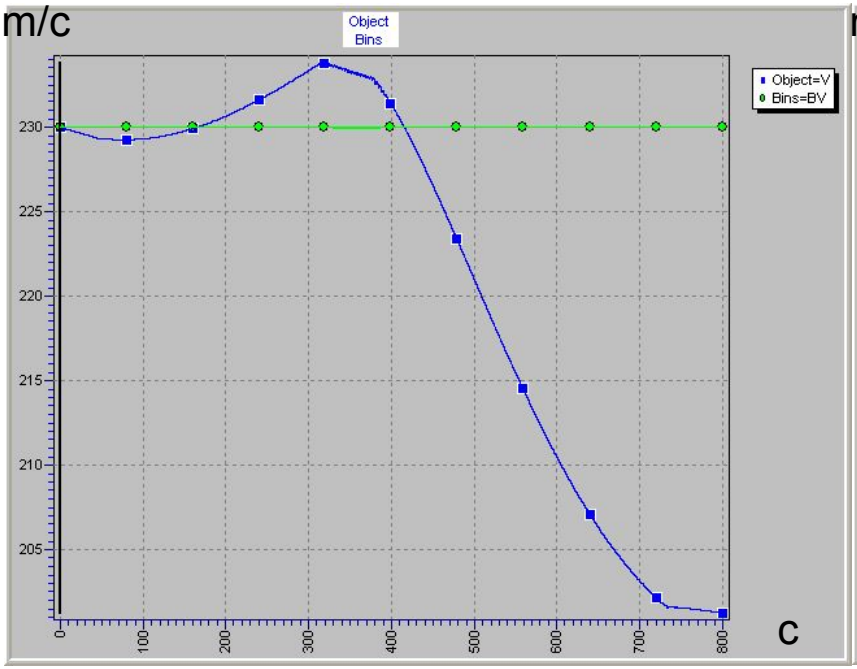
NENOL1POST=0.014649
NENOL2POST=0.024414
NENOL3POST=0.012878
SIGMANENOL1=0.00473
SIGMANENOL2=0.00839
SIGMANENOL3=0.003967
MONENOL1=0.00049
MONENOL2=0.00049
MONENOL3=0.00049
NENOL1POSTGIR=0.000000024
NENOL2POSTGIR=0.000000027
NENOL3POSTGIR=0.000000005
SIGMANENOLGIR1=0.000000008
SIGMANENOLGIR2=0.000000002
SIGMANENOLGIR3=0.000000007
MONENOL1GIR=0.000072717
MONENOL2GIR=0.000072717
MONENOL3GIR=0.000072717

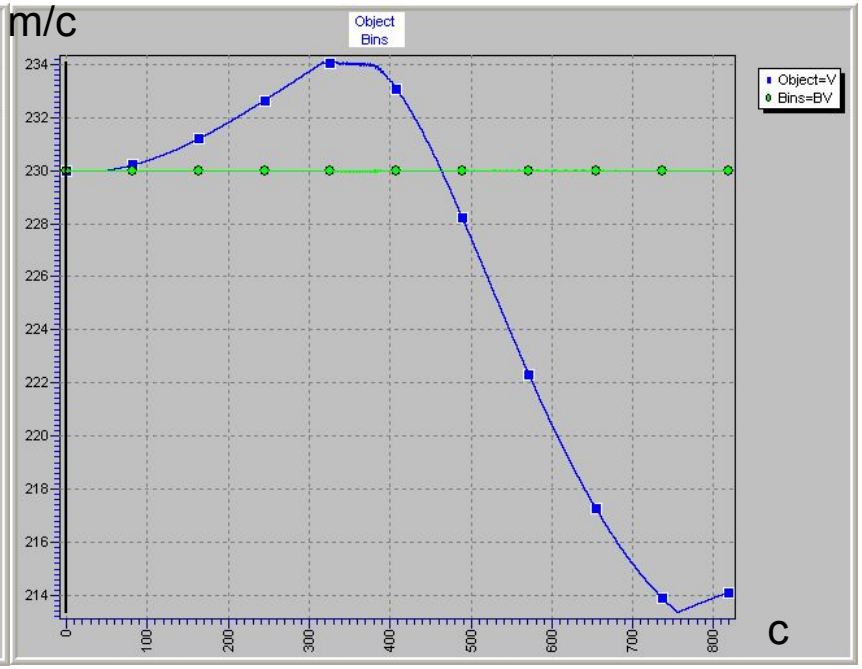
1) Движение объекта с возмущенной средой (с ветром), управление по данным с БИНС. БИНС с ошибками (с температурной компенсации)

NENOL1POST=0.0
NENOL2POST=0.0
NENOL3POST=0.0
SIGMANENOL1=0.00183
SIGMANENOL2=0.00153
SIGMANENOL3=0.00102
MONENOL1=0.00049
MONENOL2=0.00049
MONENOL3=0.00049
NENOL1POSTGIR=0.0
NENOL2POSTGIR=0.0
NENOL3POSTGIR=0.0
SIGMANENOLGIR1=0.000000002
SIGMANENOLGIR2=0.00000000049
SIGMANENOLGIR3=0.00000000099
MONENOL1GIR=0.000072717
MONENOL2GIR=0.000072717
MONENOL3GIR=0.000072717

Результаты моделирования

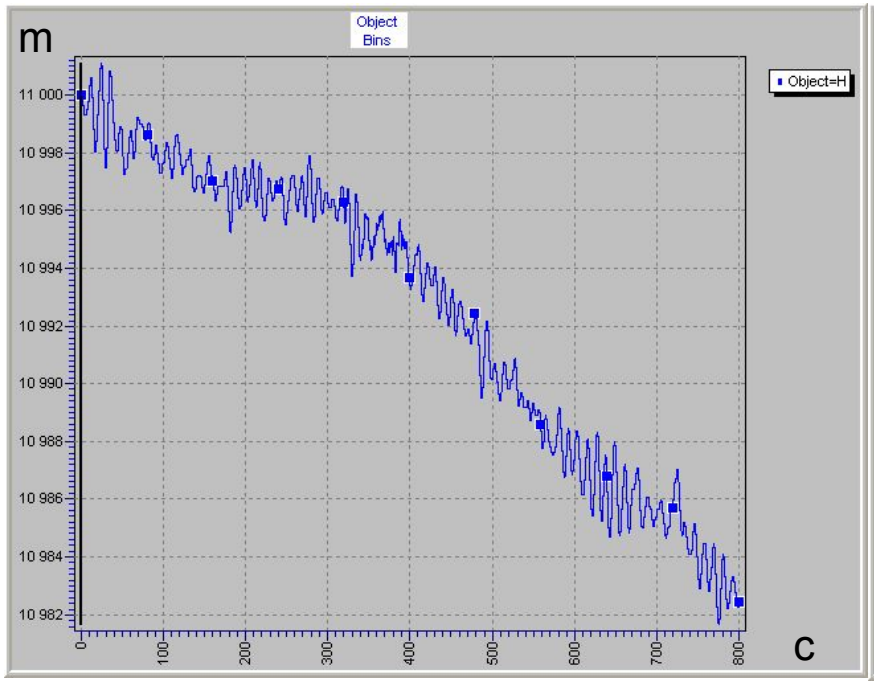
Сравнение по скорости:

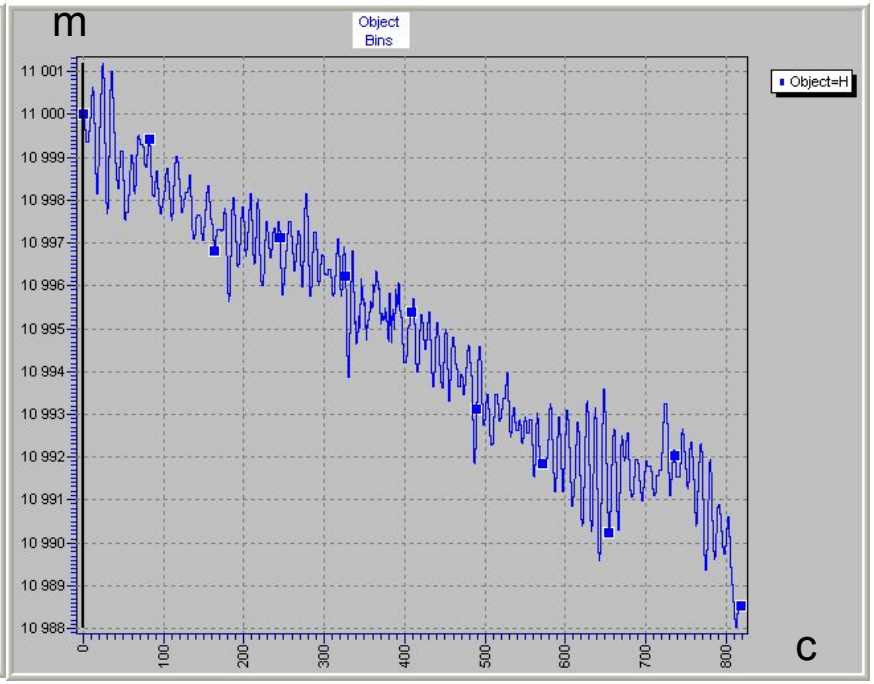




Результаты моделирования

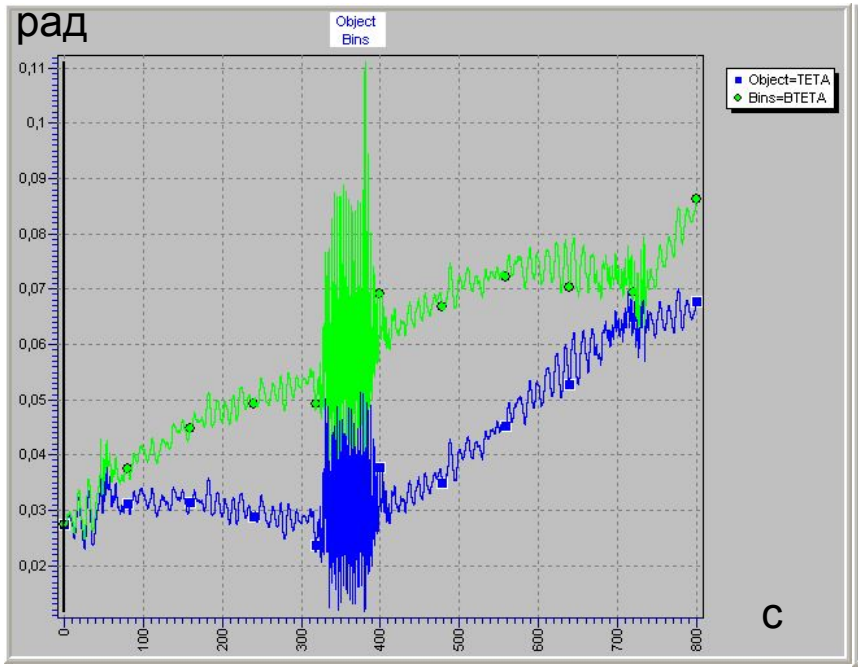
Сравнение по высоте:

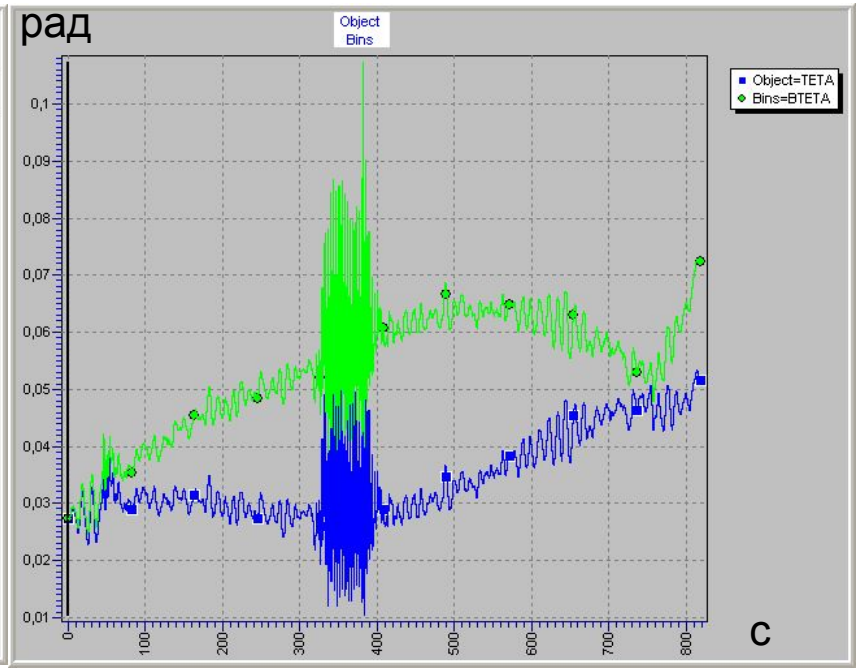




Результаты моделирования

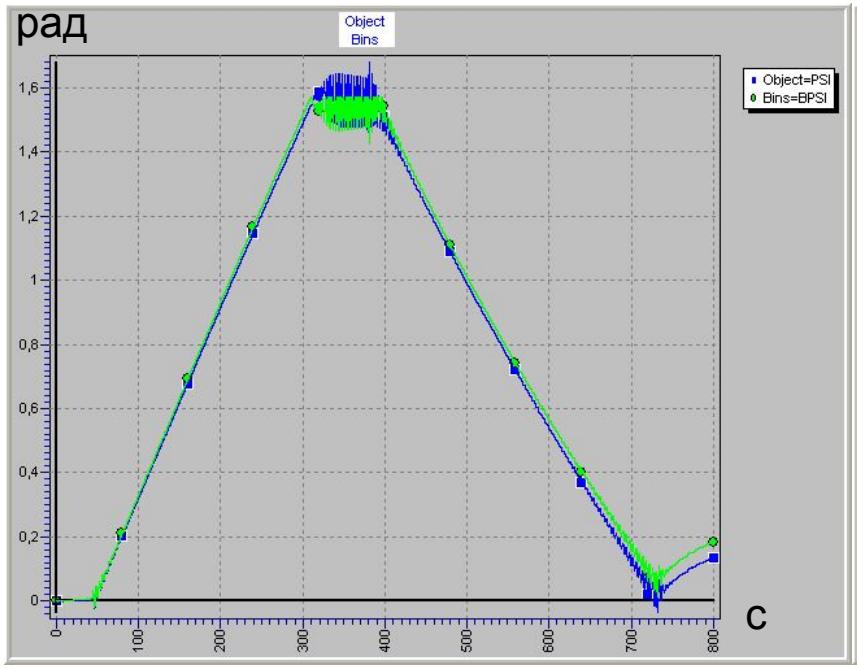
Сравнение по углу тангажа:

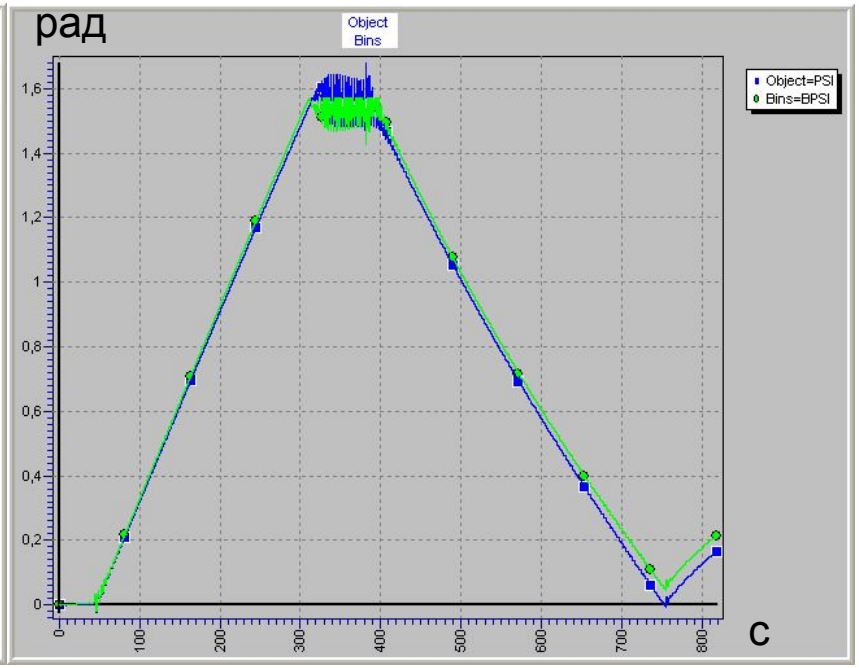




Результаты моделирования

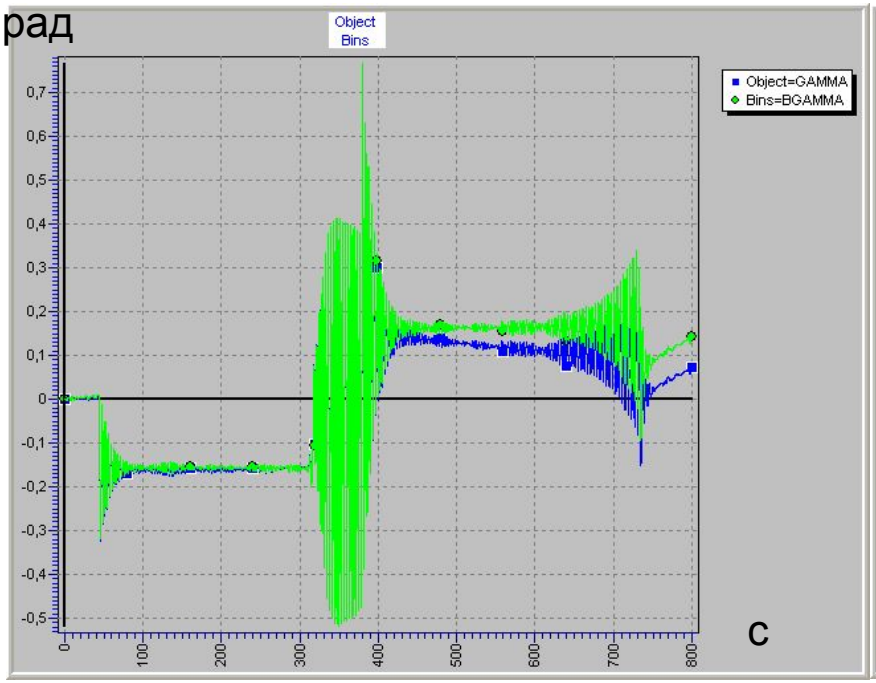
Сравнение по углу курса:

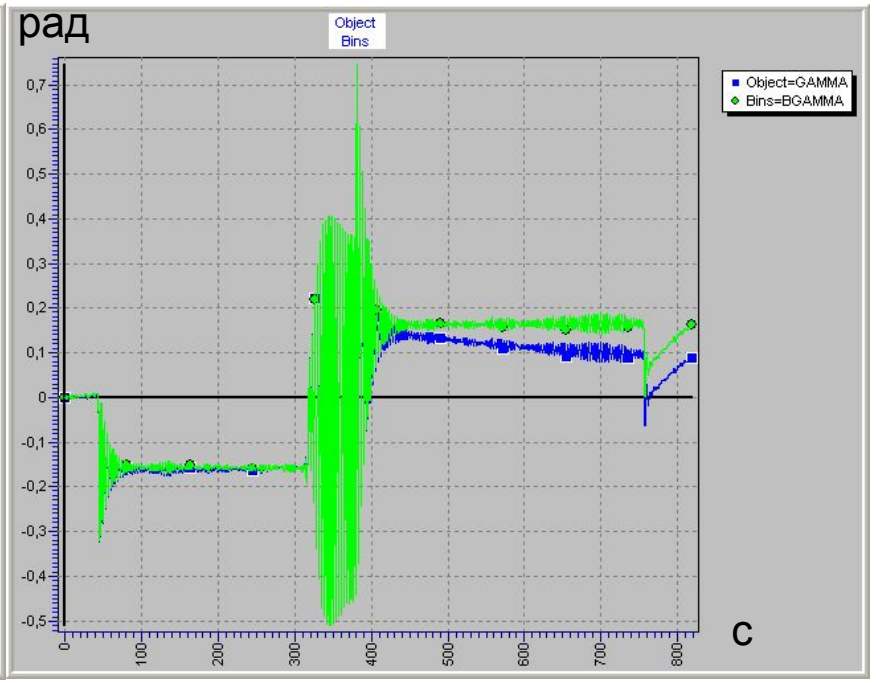




Результаты моделирования

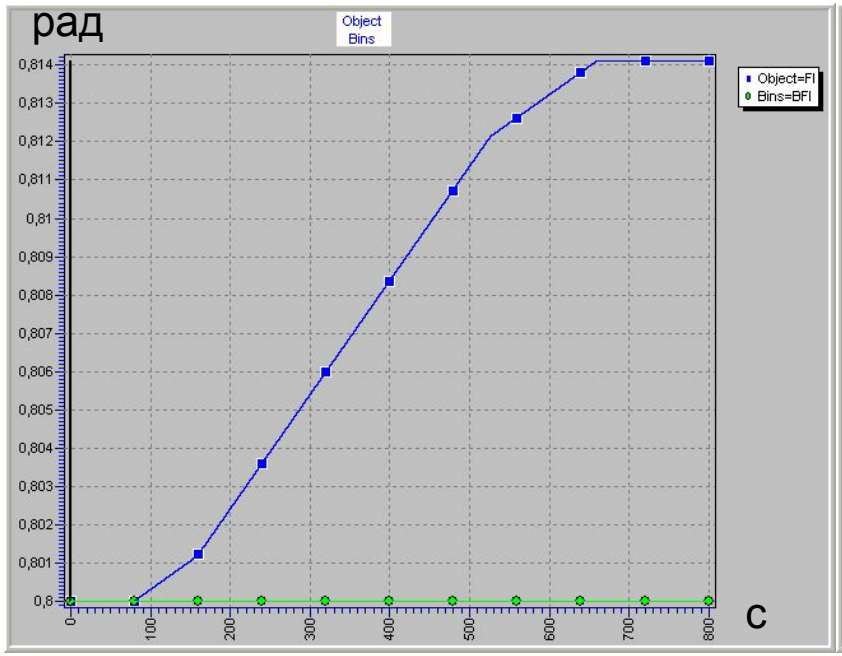
Сравнение по углу крена:

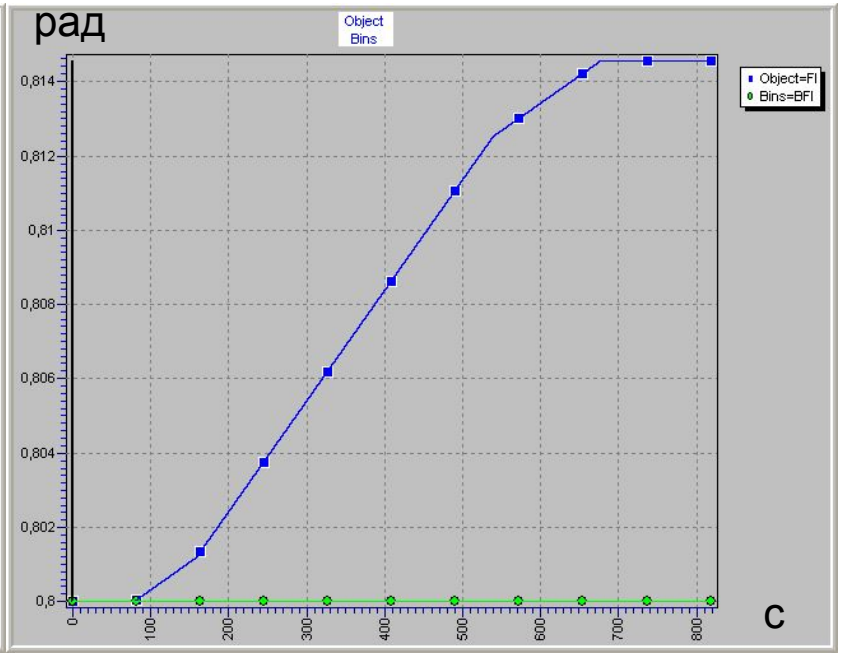


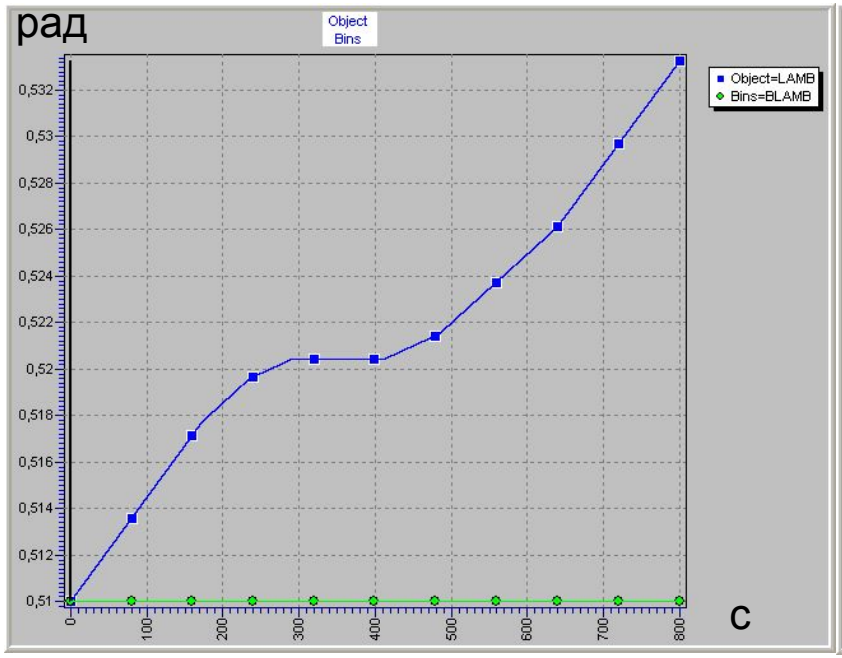
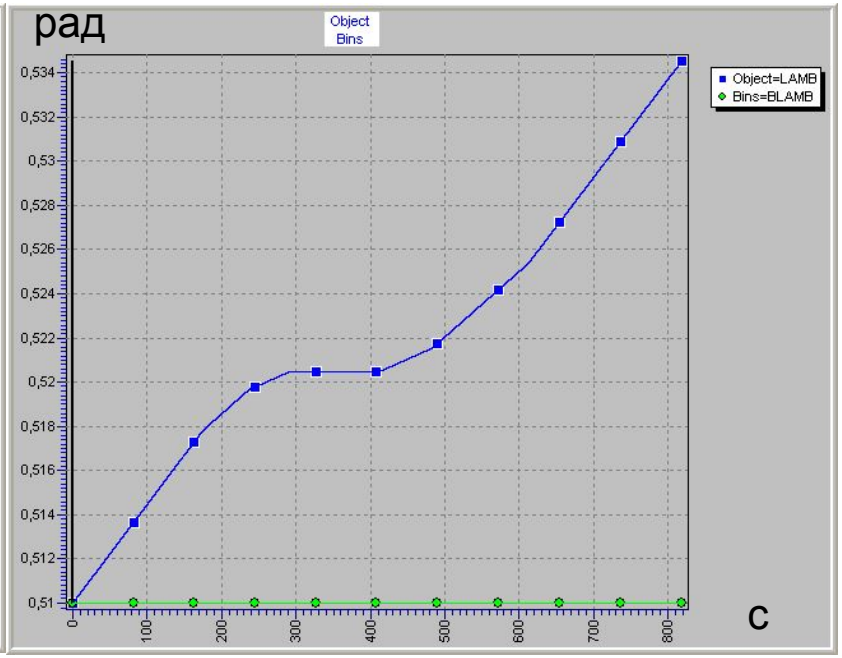


Результаты моделирования

Сравнение по широте местоположения ЛА:





Результаты моделирования

Сравнение по долготе местоположения ЛА