|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего профессионального образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | А |  | Ракетно-космической техники |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | А5 |  | Динамика и управление полетом летательных аппаратов |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Инерциальные навигационные системы | | |

Практическая работа №2

на тему

|  |
| --- |
| Реализация алгоритма БИНС |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | | | А571 |
| Анкудинов А.Н. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **Преподаватель** | | | | | |
|  | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | 2021\_\_ г. | |

Санкт-Петербург

2021 г.

*Цель работы* **-** реализация алгоритма БИНС с использованием параметров Родрига-Гамильтона.

*Сведения из теории*

Структурная схема алгоритма БИНС с параметрами Родрига-Гамильтона представлена на рисунке 1. Внутри блоков реализованы следующие формулы в соответствии со схемой и входными и выходными параметрами:

|  |  |
| --- | --- |
| *N𝑔 = Λ ∘ N ∘* |  |
|  |  |
|  |  |
| *2Λ̇ = Λ ∘ Ω − Ω𝑔 ∘ Λ + Λ(1 − ‖Λ‖)* |  |

где - проекции вектора переносной угловой скорости ЛА или вектора абсолютной угловой скорости географического (нормального) сопровождающего трехгранника на его оси;

– углы Эйлера-Крылова: рысканье, тангаж и крен;

– геоцентрические координаты ЛА: широта, высота и долгота;

U, – угловая скорость вращения Земли;

g – ускорение свободного падения;

R, м – радиус сферической модели Земли;

- проекции вектора кажущегося ускорения ЛА на оси географической системы координат;

- компенсирующие составляющие ускорения;

*-* проекции вектора относительной линейной скорости ЛА на оси географической системы координат;

Λ – кватернион перехода от связанной системы координат к географической;

Ω𝑔, рад/с – гиперкомплексное отображение вектора абсолютной угловой скорости географического (навигационного) сопровождающего трехгранника;

Ω, рад/с – гиперкомплексное отображение вектора абсолютной угловой скорости ЛА;

N, м/с2 – гиперкомплексное отображение вектора кажущегося ускорения ЛА на оси связанной системы координат;

N𝑔, м/с2 – гиперкомплексное отображение вектора кажущегося ускорения ЛА на оси географической системы координат; – оператор умножения кватернионов.

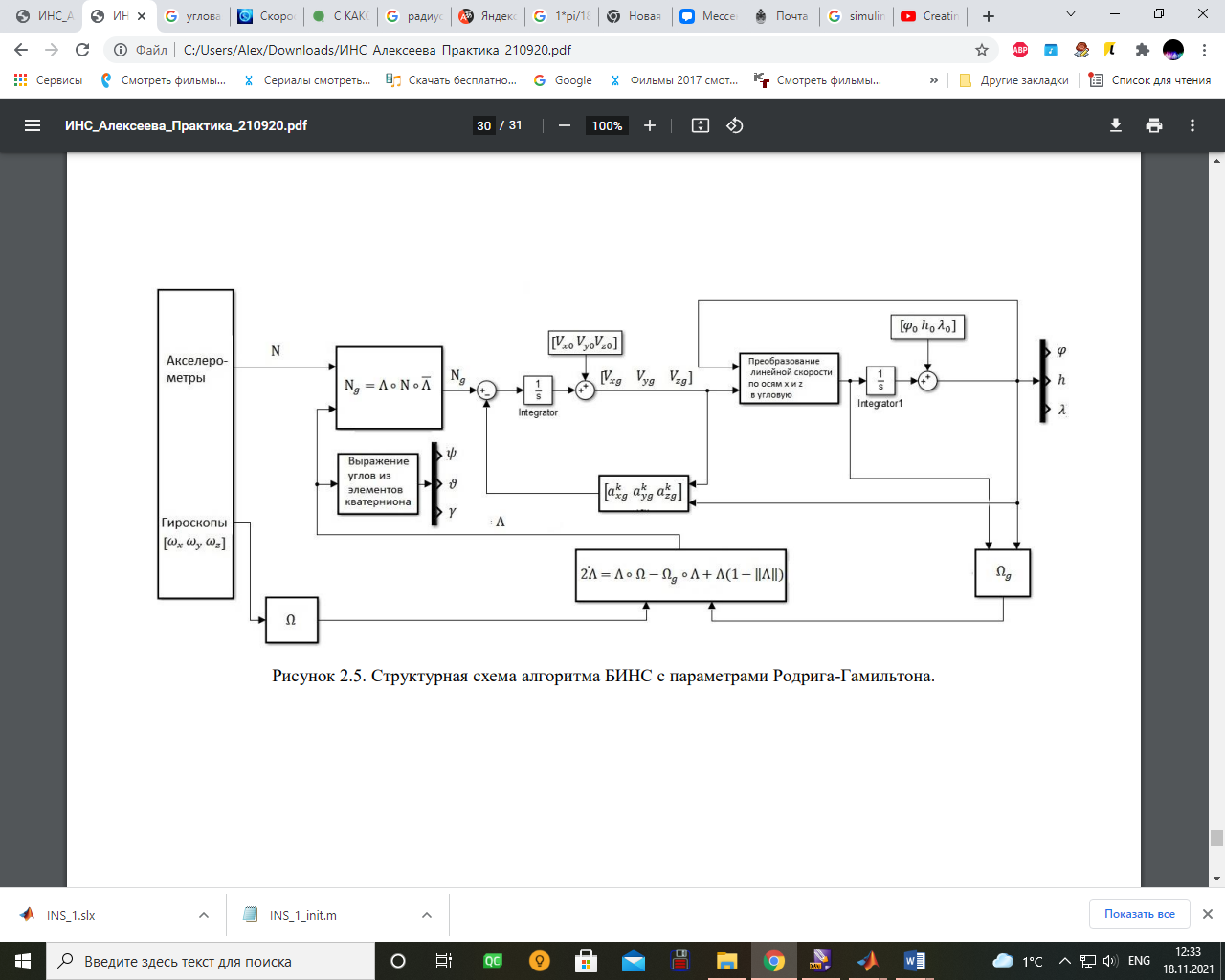


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма БИНС

с параметрами Родрига-Гамильтона.

*Ход работы*

На рисунке 2 представлена структурная схема БИНС, реализованная в пакете *Simulink*.

На рисунках 3, 4 приведены подсистемы для реализации зашумленных сигналов акселерометров и гироскопов.

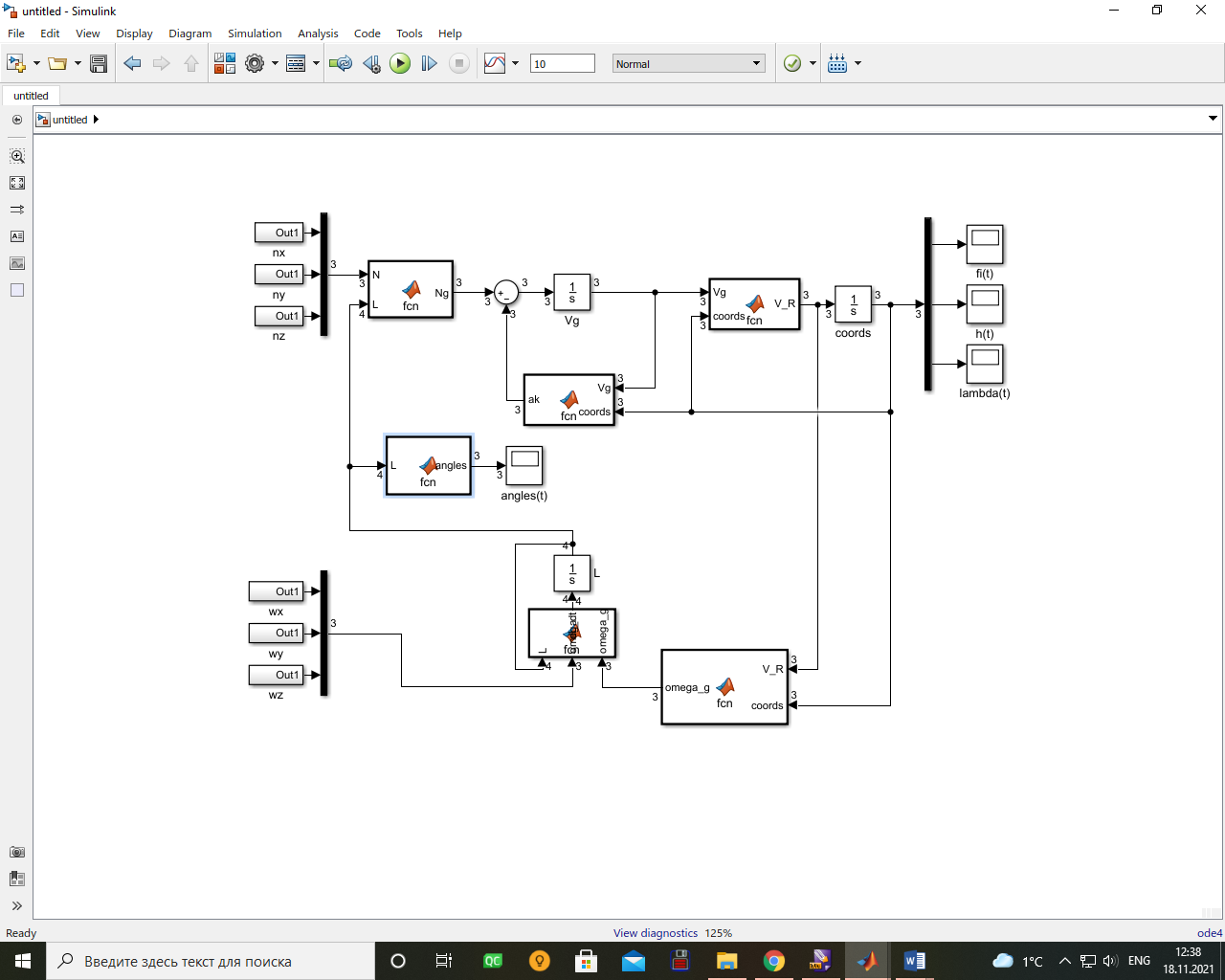


Рисунок 2 - Схема БИНС с параметрами Родрига-Гамильтона в Simulink.

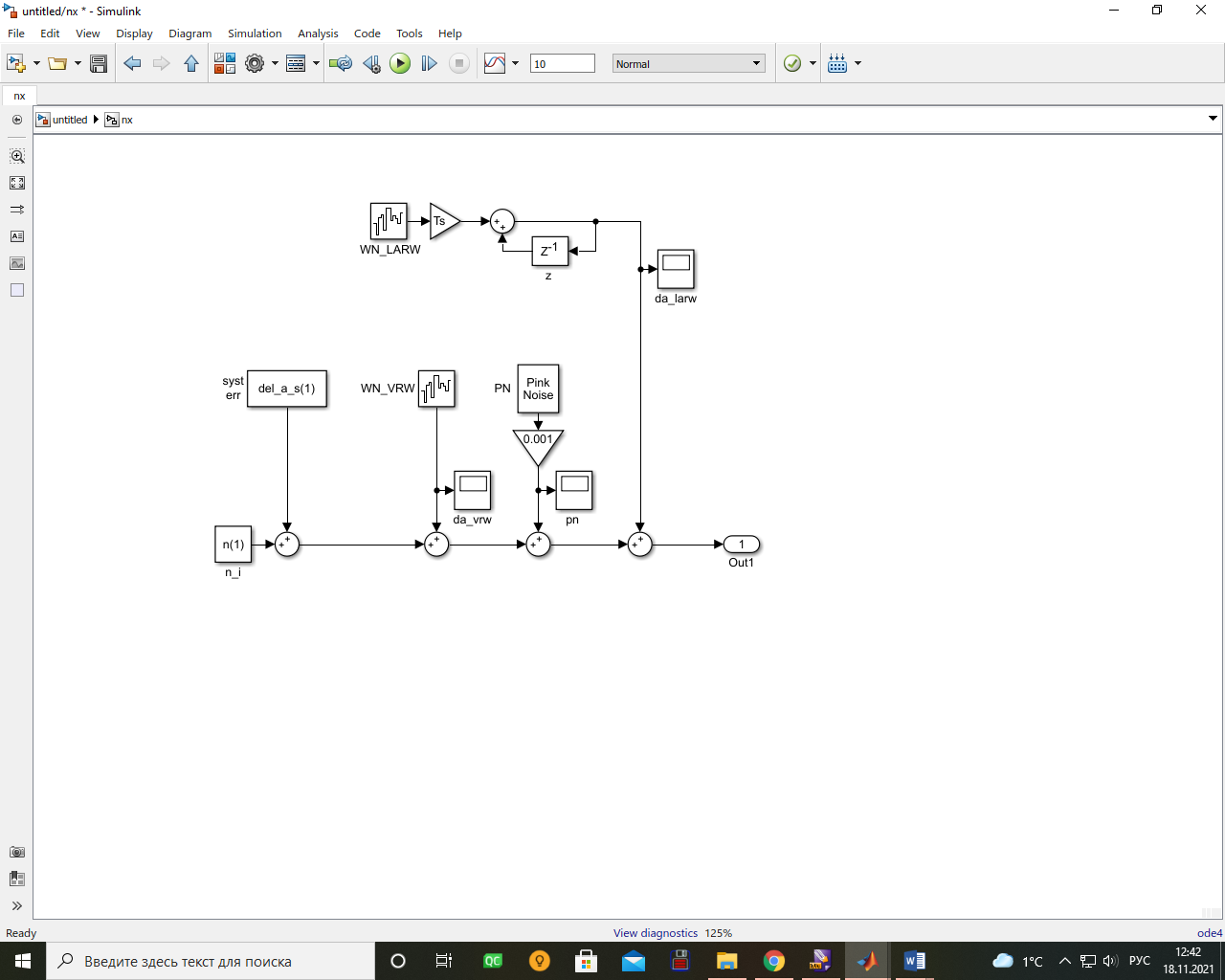


Рисунок 3 - Подсистема для реализации зашумленного сигнала акселерометра

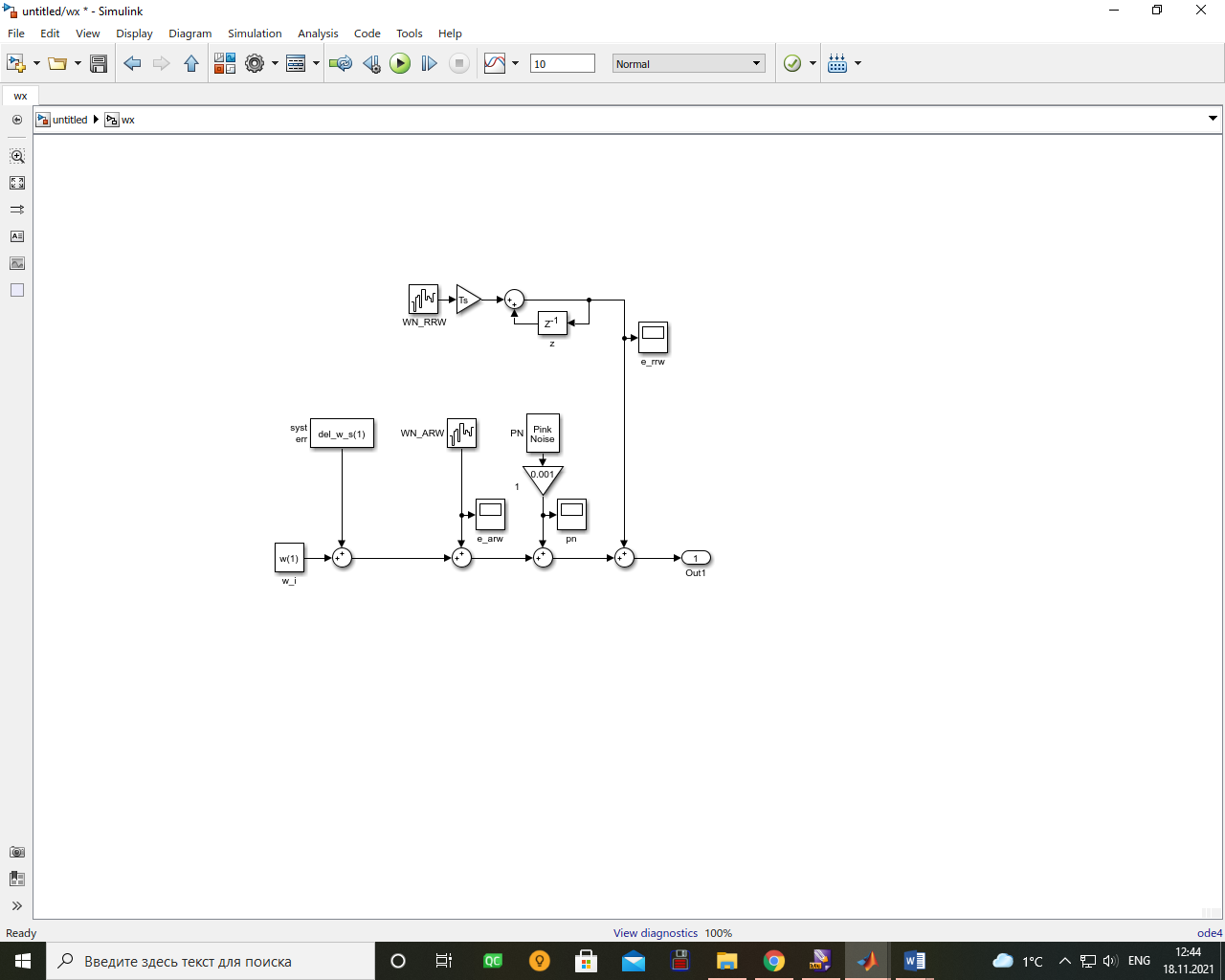


Рисунок 4 - Подсистема для реализации зашумленного сигнала гироскопа

Примем параметры датчиков равными следующим значениям:

Таблица 1 – Параметры датчиков

|  |  |
| --- | --- |
| *ARW,рад/с* *\* √с* | 0.00520 |
| *VRW,м/с2* *\* √с* | 0.00418 |
| *RRW,рад /с√с* | 0.00110 |
| *LARW,м /с2√с* | 0.00114 |

Промоделируем работу БИНС на неподвижном основании.

Зададим значения полезных сигналов с датчиков и следующим образом:

Шаг интегрирования примем *dt* = 0,01.

Начальные условия для интегрирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Начальные условия на блоках интеграторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Время моделирования 30 сек.

Полученные графики зависимостей координат и углов ориентации от времени представлены на рисунках 5-8.

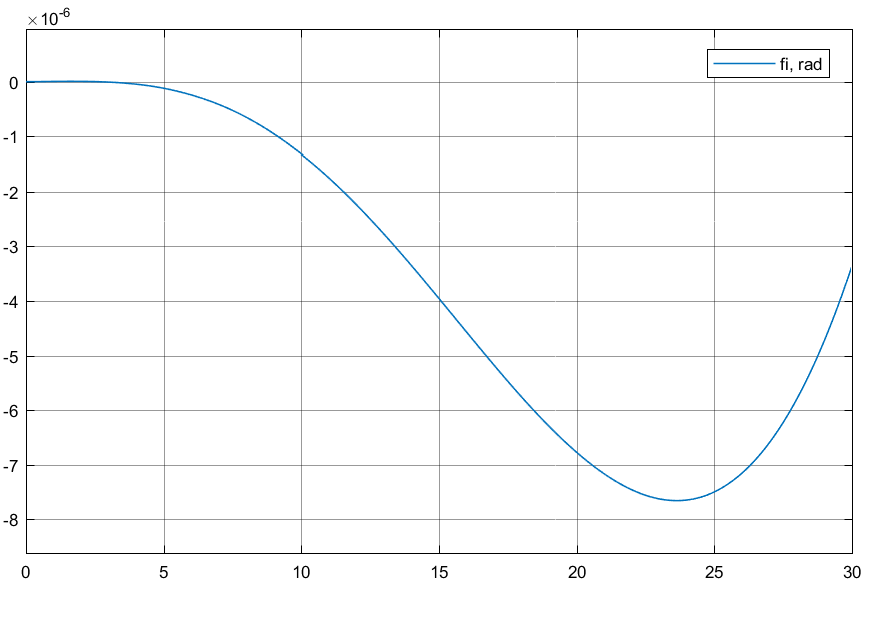


Рисунок 5 – График изменения широты от времени

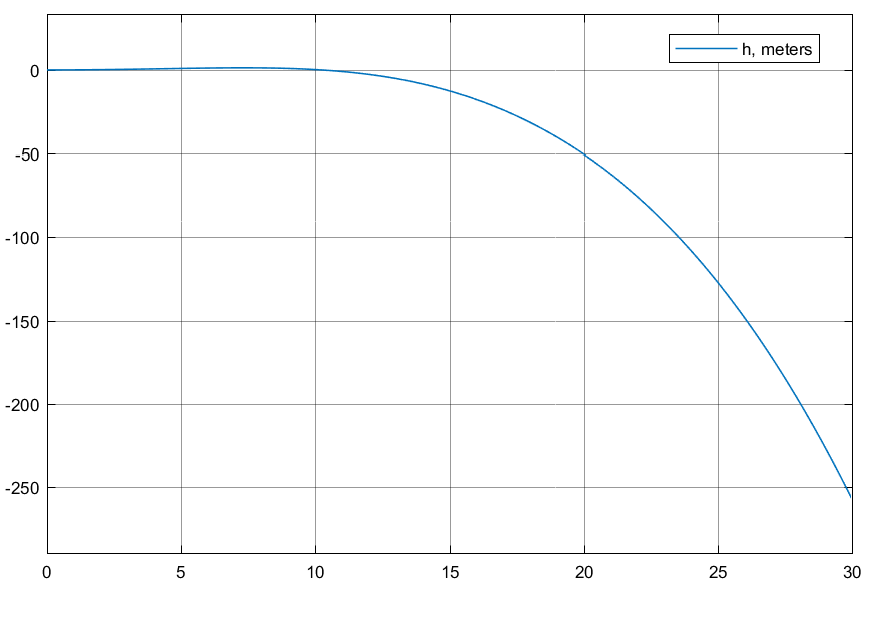


Рисунок 6 – График изменения высоты от времени

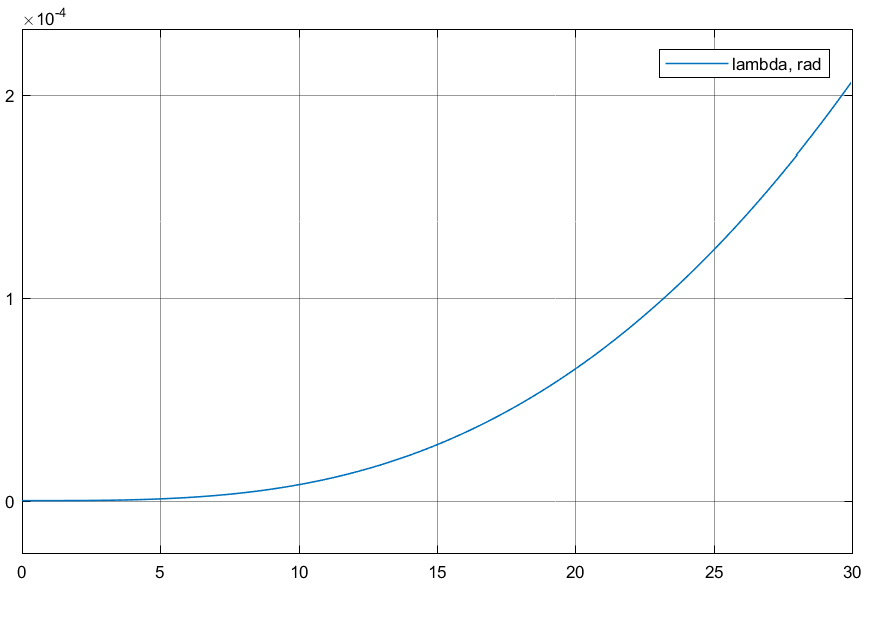


Рисунок 7 – График изменения долготы от времени

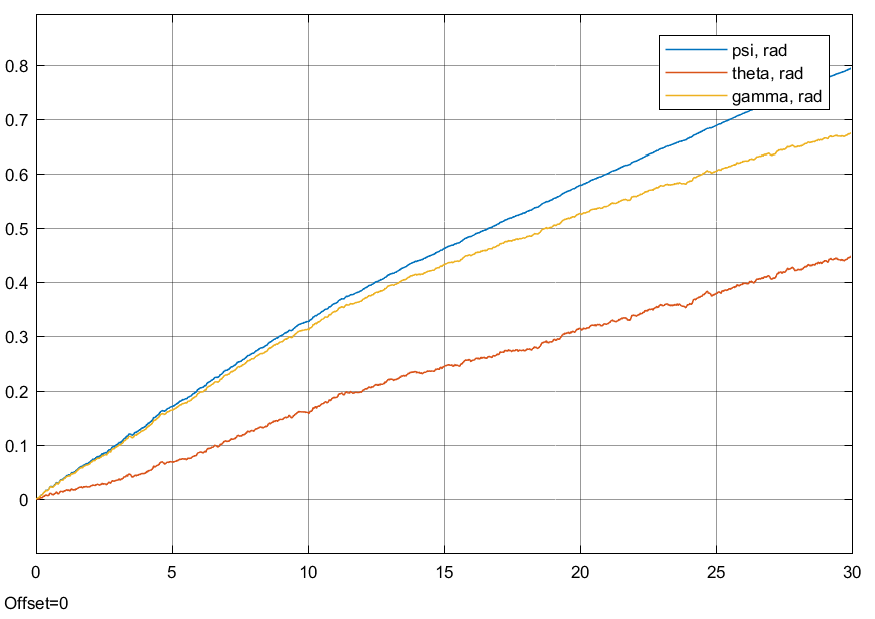


Рисунок 8 – Графики изменения углов ориентации от времени

*Вывод:* В ходе работы была смоделирована работа БИНС с параметрами Родрига-Гамильтона на неподвижном основании. На графиках виден уход выходных параметров БИНС от нуля с течением времени, что можно объяснить постепенно накапливающейся ошибкой при многократных численных интегрированиях в системе. На графиках изменения углов ориентации также заметно влияние случайных погрешностей датчиков на выходные сигналы.

*Листинг скрипта инициализации параметров датчиков*

clear; clc;

%% Сист. погрешности

% ПУС---------------------------------------------

w = [0 0 0]';

% M

n = rand(1, 3) \* (0.05 - 0);

M = [

0 -n(2) n(1);

n(2) 0 -n(3);

-n(1) n(3) 0

];

% del\_K

del\_K = diag( rand(1, 3) \* (2 - 1) );

% eps

eps = rand(3, 1) \* (0.04 - 0);

% del\_w\_s

del\_w\_s = 10^-2 \* del\_K \* w - M \* w + eps

% ПЛУ---------------------------------------------

n = [0 9.81 0]';

% M

fi = rand(1, 3) \* (0.02 - 0);

M = [

0 -fi(2) fi(1);

fi(2) 0 -fi(3);

-fi(1) fi(3) 0

];

% del\_K

del\_K = diag( rand(1, 3) \* (2 - 1) );

% del\_a

del\_a = rand(3, 1) \* (0.02 - 0);

% del\_a\_s

del\_a\_s = 10^-2 \* del\_K \* n - M \* n + del\_a

%% Случайные погрешности

Ts = 0.01;

% Блуждание угла (лин. скорости)

% ПУС

ARW = 0.00520;

sig\_arw = ARW / sqrt(Ts)

% ПЛУ

VRW = 0.00418;

sig\_vrw = VRW / sqrt(Ts)

% Случайное блуждание угл. скорости (лин. ускорения)

% ПУС

RRW = 0.00110;

sig\_rrw = RRW / sqrt(Ts)

% ПЛУ

LARW = 0.00114;

sig\_larw = LARW / sqrt(Ts)

*Листинг функции для получения кватернионной матрицы*

function M = toMatrix( q )

M = [

q(1) -q(2) -q(3) -q(4);

q(2) q(1) -q(4) q(3);

q(3) q(4) q(1) -q(2);

q(4) -q(3) q(2) q(1)

];

end

*Листинг функций со схемы Simulink*

function Ng = fcn(N, L)

N = [ 0; N ];

L\_conj = [ L(1); -L(2); -L(3); -L(4) ];

Ng\_0 = toMatrix( toMatrix(L) \* N ) \* L\_conj

Ng = Ng\_0(2:end) % remove 0

end

function ak = fcn(Vg, coords)

R = 6371100;

U = 0.00007292115078;

g = 9.81;

ak = [

(Vg(3)^2\*tan(coords(1))/R) + (Vg(1)\*Vg(2)/R) + (2\*U\*Vg(3)\*sin(coords(1)));

(-Vg(3)^2/R)-(Vg(1)^2/R) - (2\*U\*Vg(3)\*cos(coords(1))) + g;

(Vg(3)\*Vg(2)/R) - (Vg(3)\*Vg(1)\*tan(coords(1))/R) + 2\*(U\*Vg(2)\*cos(coords(1)) - U\*Vg(1)\*sin(coords(1)))

];

end

function V\_R = fcn(Vg, coords)

R = 6371100;

V\_R = [

Vg(1)/R;

Vg(2);

Vg(3)/(R\*cos(coords(1)))

];

end

function omega\_g = fcn(V\_R, coords)

U = 0.00007292115078;

omega\_g = [

(U+V\_R(3))\*cos(coords(1));

(U+V\_R(3))\*sin(coords(1));

-V\_R(1)

];

end

function dL\_dt = fcn(L, omega, omega\_g)

sigma = [ 0; omega ];

sigma\_g = [ 0; omega\_g ];

dL\_dt = (toMatrix(L) \* sigma - toMatrix(sigma\_g) \* L + L \* (1 - sum(L.^2))) ./ 2;

end

function angles = fcn(L)

psi = atan( -(2\*L(2)\*L(4)-2\*L(1)\*L(3))/(2\*L(2)^2+2\*L(1)^2-1) );

theta = asin(2\*L(2)\*L(3)+2\*L(1)\*L(4));

gamma = atan( -(2\*L(3)\*L(4)-2\*L(1)\*L(2))/(2\*L(1)^2+2\*L(3)^2-1) );

angles = [psi; theta; gamma];

end