

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Национальный исследовательский университет
Московский энергетический институт"

НИУ МЭИ

Радиотехнический факультет
каф. Радиотехнических систем

КУРСОВАЯ РАБОТА

Этап II

по дисциплине

«Аппаратура потребителей СРНС»

Тема курсовой работы:

Разработка модуля расчёта координат спутника GPS

(наименование темы)

Студент группы ЭР-15-14

Каримов Х.Р.

Руководитель курсовой работы

к.т.н., доцент Корогодин И.В.

Работа представлена к защите

«Допущен к защите»

Москва 2019

```

clear all, close all
for i = 1:19860
    mu = 3.986005*10^14; %WGS 84 value of the earth's
    gravitational constant for GPS user
    dOmega_e_dt = 7.2921151467*10^(-5); %WGS 84 value of the earth's rotation
    rate
    t_oe = 288000 + 18; % Reference Time Ephemeris
    Az = 26559371.973; % Square Root of the Semi-Major
    Axis^2
    e = 0.313590513542E-03; % Eccentricity

    i_0 = 54.99258; % Inclination Angle at Reference Time
    [deg]
    i_0 = degtorad(i_0); % -//- [circles]

    OMEGA_0 = 58.37197; % Longitude of Ascending Node of Orbit
    Plane at Weekly Epoch [deg]
    OMEGA_0 = degtorad(OMEGA_0); % -//- [circles]

    omega = -86.81172; % Argument of Perigee [deg]
    omega = degtorad(omega); % -//- [circles]

    M_0 = 170.75306; % Mean Anomaly at Reference Time [deg]
    M_0 = degtorad(M_0); % -//- [circles/s]

    delta_n = 2.6429E-07; % Mean Motion Difference From Computed
    Value [deg/s]
    delta_n = degtorad(delta_n); % -//- [circles/s]

    OMEGAdot = -4.5867E-07; % Rate of Right Ascension [deg/s]
    OMEGAdot = degtorad(OMEGAdot); % [circles/s]

    IDOT = -1.7149E-08; %Rate of Inclination Angle [deg/s]
    IDOT = degtorad(IDOT); % -//- [circles/s]
    C_uc = -6.9290E-07; % Amplitude of the Cosine Harmonic Correction
    Term to the Argument of Latitude [rad]
    C_us = 8.8383E-06; % -//- Sine -//- [meters]
    C_rc = 2.0738E+02; % Amplitude of the Cosine Harmonic Correction
    Term to the Orbit Radius [meters]
    C_rs = -1.2594E+01; % -//- Sine -//- [meters]
    C_ic = 5.4017E-08; % Amplitude of the Cosine Harmonic Correction
    Term to the Angle of Inclination [rad]
    C_is = 1.1176E-08; % -//- Sine -//- [rad]

    n_0 = sqrt(mu/Az^3);
    t = 366000 + 18 + i; % Time of transmission + leap seconds
    t_k = t - t_oe; % Time from ephemeris reference epoch
    n = n_0 + delta_n;
    M_k = M_0 + n*t_k;
    m = 1;
    x(1) = 0;
    for m = 1:200
        x(m+1) = M_k + e*sin(x(m));
        if abs(x(m+1) - x(m)) < 10^(-8)
            break
        end
        m = m + 1;
    end
end

```

```

    E_k = x(m+1);
    v_k = atan2( (sqrt(1-e^2)*sin(E_k))/(1 - e*cos(E_k)), (cos(E_k) - e)/(1 - e*cos(E_k)) );

    Phi_k = v_k + omega;

    delta_u_k = C_us*sin(2*Phi_k) + C_uc*cos(2*Phi_k);
    %Argument of Latitude Correction
    delta_r_k = C_rs*sin(2*Phi_k) + C_rc*cos(2*Phi_k);
    %Radius Correction
    delta_i_k = C_is*sin(2*Phi_k) + C_ic*cos(2*Phi_k);
    %Inclination Correction

    u_k = Phi_k+delta_u_k;
    %Corrected Argument of Latitude
    r_k = Az*(1 - e*cos(E_k)) + delta_r_k;
    %Corrected Radius
    i_k = i_0 + delta_i_k+ IDOT*t_k;
    %Corrected Inclination

    x_k_orb = r_k*cos(u_k);
    y_k_orb = r_k*sin(u_k);

    Omega_k = OMEGA_0 + (OMEGAdot - dOmega_e_dt)*t_k - dOmega_e_dt*t_oe;

    x_ecef = x_k_orb*cos(Omega_k) - y_k_orb*cos(i_k)*sin(Omega_k);
    y_ecef = x_k_orb*sin(Omega_k) + y_k_orb*cos(i_k)*cos(Omega_k);
    z_ecef = y_k_orb*sin(i_k);
    X(1,i) = x_ecef;
    Y(1,i) = y_ecef;
    Z(1,i) = z_ecef;

    %Перевод из ECEF в ECI пункт 20.3.3.4.3.3.2 (стр 106) ИКД
    theta = dOmega_e_dt * t_k;

    x_eci = x_ecef*cos(theta) - y_ecef*sin(theta);
    y_eci = x_ecef*sin(theta) + y_ecef*cos(theta);
    z_eci = z_ecef;
    X_eci(1,i) = x_eci;
    Y_eci(1,i) = y_eci;
    Z_eci(1,i) = z_eci;
    %Нахождение азимута и угла места
    lat = 55.75;
    lon = 37.62;
    [East,North,Up] = ecef2enu(x_ecef,y_ecef,z_ecef, lat, lon, 150,
wgs84Ellipsoid );
    p = sqrt(East^2 + North^2 + Up^2);

    El = asin(Up/p);
    Az = atan2(North,East);
    E_i(1,i) = -El*180/pi + 90;
    A_i(1,i) = Az;
end
figure;
plot(E_i(1,:));
grid on;

```

```

figure;
polar (A_i(1,:),E_i(1,:));
camroll(90)

N = 20;
thetavec = linspace(0,pi,N);
phivec = linspace(0,2*pi,2*N);
[th, ph] = meshgrid(thetavec,phivec);
R = 6.371*10^6;

x = R.*sin(th).*cos(ph);
y = R.*sin(th).*sin(ph);
z = R.*cos(th);

lat = degtorad(55);
lon = degtorad(37);
x_msk = R*cos(lat)*cos(lon);
y_msk = R*cos(lat)*sin(lon);
z_msk = R*sin(lat);

figure; %ecef
surf(x,y,z);
axis equal
hold on
plot3(X(1,:), Y(1,:),Z(1,:));
axis vis3d
grid on
title('Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF) coordinate system');
xlabel('X, m');
ylabel('Y, m');
zlabel('Z, m');

figure ;
surf(x,y,z);
axis equal
hold on
plot3(X_eci(1,:), Y_eci(1,:),Z_eci(1,:),x_msk,y_msk,z_msk,
'k.','MarkerSize',20 );
axis vis3d
grid on
title('Earth-centered inertial (ECI) coordinate system');
xlabel('X, m');
ylabel('Y, m');
zlabel('Z, m');

```

RTKNAV ver.2.4.2: RTK Monitor

Nav GPS

All

Current

Close

SAT	PRN	Stat.	IODE	IODC	Acc	Hea	Toc	Trans	A (m)	e	i0 (deg)	OMEGA0 (d)	omega (deg)	M0 (deg)	deltan (deg/s)	OMEGA0dot (d)	IDOT (deg/s)	af0 (ns)	af1 (ns/s)	af2 (ns/s)	TGD (ns)	BGD1	BGD	Cuc(rad)	Cus(rad)	Crc(m)	Crs(m)	Cic(rad)	Cis(rad)	Code	Flag	
G01	1	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G02	2	-	257	1	0	0	2019/02/13 07:59:44	2019/02/13 07:59:44	26560130.495	0.01886557	54.62098	-66.86763	-101.68691	-125.49630	2.6707E-07	-4.4895E-07	1.9625E-08	-138599.4	-0.0099	0.0000	-20.5	0.0	0.0	-1.9212E-06	8.1845E-06	2.1247E-02	-2.4938E+01	-5.440E-07	5.215E-08	1	0	
G03	3	-	2287	89	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559353.945	0.00189325	55.15975	-3.32161	36.26292	158.68863	2.6989E-07	-4.6172E-07	7.0804E-09	182699.9	0.0018	0.0000	2.3	0.0	0.0	-0.9418E-06	7.1991E-06	2.3891E-02	-1.0062E+01	-2.774E-08	-2.9802E-08	1	0	
G04	4	-	-	467	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559371.973	0.00001359	54.99258	58.37197	-96.81172	170.75306	2.6429E-07	-4.5867E-07	-1.7149E-08	112218.8	0.0097	0.0000	-8.8	0.0	0.0	-6.9290E-07	8.8383E-06	2.0738E-02	-1.2594E+01	-5.4017E-08	1.1176E-08	1	0	
G05	5	-	2133	83	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26559820.385	0.00555263	54.40784	-4.78780	40.89810	-154.32800	2.9120E-07	-4.6929E-07	1.6494E-08	1079.4	0.0001	0.0000	-11.2	0.0	0.0	-8.0094E-07	7.4618E-06	2.3034E+02	-1.2000E+01	3.3528E-08	-1.3970E-07	1	0	
G06	6	-	6682	26	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26561614.109	0.00149999	55.80040	-63.52669	-66.63077	-131.19636	2.4560E-07	-4.5176E-07	1.4161E-08	276783.9	-0.0082	0.0000	4.7	0.0	0.0	-1.9928E-06	8.6203E-06	2.2134E+02	-3.2250E+01	-2.6077E-08	1.8628E-09	1	0	
G07	7	-	1593	62	0	0	2019/02/13 07:59:44	2019/02/13 07:59:44	26559709.250	0.01221966	54.77658	-117.52735	-142.01036	-179.86914	2.5406E-07	-4.4731E-07	1.0233E-08	133469.9	-0.0072	0.0000	-11.2	0.0	0.0	-2.9970E-06	9.3300E-06	1.9672E+02	5.9281E+01	-1.4901E-08	-1.3411E-07	1	0	
G08	8	-	1232	48	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560593.206	0.0042016	55.88161	-124.17322	-120.13571	-178.27473	2.4588E-07	-6.6212E-07	-3.1719E-09	-132806.8	-0.0015	0.0000	5.1	0.0	0.0	-2.0713E-06	6.1411E-06	2.6525E+02	-4.1188E+01	-4.6566E-08	3.7253E-08	1	0	
G09	9	-	6168	24	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26560971.874	0.00146475	54.57146	55.82613	88.53938	2.01704	2.7403E-07	-6.6497E-07	-1.8028E-08	495218.9	-0.0052	0.0000	1.4	0.0	0.0	-8.6054E-07	8.6408E-06	2.0794E+02	-1.5281E+01	-8.754E-08	-4.2841E-08	1	0	
G10	10	-	771	3	0	0	2019/02/13 13:59:44	2019/02/13 13:59:44	26560214.559	0.00432025	55.16236	-53.82068	-157.74842	-79.35559	2.7059E-07	-6.6474E-07	1.7533E-08	117549.2	-0.0075	0.0000	1.9	0.0	0.0	-8.0280E-07	7.1134E-06	2.1432E+02	-1.4406E+01	-4.4703E-08	1.676E-08	1	0	
G11	11	-	1901	74	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560497.915	0.01655380	52.03378	-88.51920	106.69050	-32.37823	3.2711E-07	-5.1417E-07	7.7762E-09	-660583.4	0.0059	0.0000	-12.1	0.0	0.0	-2.9616E-06	7.8622E-06	2.0244E+02	-5.3906E+01	-2.4401E-07	-1.7881E-07	1	0	
G12	12	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G13	13	-	1978	77	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560218.295	0.00372649	55.45549	63.59022	78.62098	98.59776	2.6281E-07	-4.5442E-07	-1.6964E-08	-75068.3	0.0013	0.0000	-11.2	0.0	0.0	-1.1921E-07	9.2611E-06	2.0400E+02	-1.1250E+01	-2.4214E-08	-1.3039E-07	1	0	
G14	14	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G15	15	-	6168	24	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26559933.663	0.01121171	53.17113	51.38077	43.73662	111.08862	3.2150E-07	-4.8607E-07	-1.4325E-08	-328027.6	0.0017	0.0000	-10.7	0.0	0.0	-9.8161E-07	8.2161E-06	2.0747E+02	-1.7781E+01	-2.7195E-07	-1.1362E-07	1	0	
G16	16	-	2647	103	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26561396.452	0.01057272	56.41440	-178.48906	30.86550	31.78651	2.3427E-07	-4.6850E-07	4.2974E-07	-18899.3	-0.0025	0.0000	-10.7	0.0	0.0	2.1439E-06	4.6026E-06	3.0238E+02	3.9438E+01	-5.4017E-08	1.8440E-07	1	0	
G17	17	-	1799	70	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560589.313	0.01299050	56.36564	-120.38566	-98.70576	159.51923	2.1943E-07	-4.1414E-07	-7.0395E-09	9221.5	0.0055	0.0000	-11.2	0.0	0.0	-3.3230E-06	6.1765E-06	2.6916E+02	-6.6125E+01	1.3039E-07	-5.2154E-08	1	0	
G18	18	-	8995	35	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560990.866	0.01504780	56.86562	-66.09226	78.75439	24.62735	2.7016E-07	-8.8121E-07	1.0457E-08	25580.6	0.0039	0.0000	-6.1	0.0	0.0	-1.9539E-06	8.7433E-06	2.0950E+02	-3.4062E+01	-2.4038E-07	-3.7253E-08	1	0	
G19	19	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G20	20	-	4626	18	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560316.632	0.00440825	53.30469	-10.16068	130.42969	20.14717	3.1350E-07	-4.9051E-07	1.8008E-08	522163.2	0.0003	0.0000	-8.4	0.0	0.0	-6.6310E-07	7.0948E-06	2.2666E+02	-1.2250E+01	-6.146E-08	-3.9116E-08	1	0	
G21	21	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G22	22	-	1387	54	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559327.405	0.00717553	53.11727	-7.28793	-81.31606	-62.60935	3.2107E-07	-4.9596E-07	9.6793E-09	-644191.1	-0.0082	0.0000	-18.2	0.0	0.0	-3.6139E-07	7.0892E-06	2.2406E+02	-7.4688E+00	-1.8254E-07	2.0495E-07	1	0	
G23	23	-	1953	76	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559985.839	0.01278889	54.03353	55.58988	-131.76002	-99.38826	2.8254E-07	-6.6080E-07	-1.4343E-08	-197398.5	0.0013	0.0000	-20.0	0.0	0.0	-8.3260E-07	8.2180E-06	2.0781E+02	-1.3781E+01	1.9372E-07	-1.7509E-07	1	0	
G24	24	-	1953	76	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559985.839	0.01278889	54.04353	55.58988	-131.76002	-99.38826	2.8254E-07	-6.6080E-07	-1.4343E-08	-197398.5	0.0013	0.0000	-20.0	0.0	0.0	-8.3260E-07	8.2180E-06	2.0781E+02	-1.3781E+01	1.9372E-07	-1.7509E-07	1	0	
G25	25	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G26	26	-	3006	117	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26561658.128	0.00364141	54.60609	175.29116	7.18542	82.33168	2.7493E-07	-4.8358E-07	1.5143E-09	123313.0	0.0103	0.0000	7.5	0.0	0.0	2.6505E-06	4.4089E-06	2.8959E+02	5.0188E+01	-3.5390E-08	1.3039E-08	1	0	
G27	27	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G28	28	-	1799	70	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26560630.402	0.01309994	56.35289	-178.26834	-84.46242	-149.91555	2.2813E-07	-4.4183E-07	-4.0927E-08	764478.4	0.0008	0.0000	-11.2	0.0	0.0	2.4736E-06	4.3940E-06	3.0594E+02	4.7719E+01	1.7881E-07	3.9116E-08	1	0	
G29	29	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0
G30	30	-	2338	91	0	0	2019/02/13 14:00:00	2019/02/13 14:00:00	26559922.595	0.00365514	53.94616	119.22057	-173.23298	2.54166	2.7951E-07	-4.7582E-07	-1.1419E-08	-50222.3	-0.0064	0.0000	3.7	0.0	0.0	3.6750E-06	8.9146E-06	1.9506E+02	7.4969E+01	3.5390E-08	2.4214E-08	1	0	
G31	31	-	5911	23	0	0	2019/02/13 08:00:00	2019/02/13 08:00:00	26559237.365	0.00925119	55.03917	118.30841	-0.95420	158.16774	2.5277E-07	-4.5372E-07	-4.4611E-09	58991.4	-0.0027	0.0000	-13.5	0.0	0.0	4.2375E-06	9.8217E-06	1.9122E+02	8.3656E+01	-8.1956E-08	2.7940E-08	1	0	
G32	32	-	-	-	0	0	-	-	0.000	0.0000000	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0	0

Рисунок 1 Таблица используемых эфемерид (из файла *BINR morning.bin*)

Earth-centered inertial (ECI) coordinate system

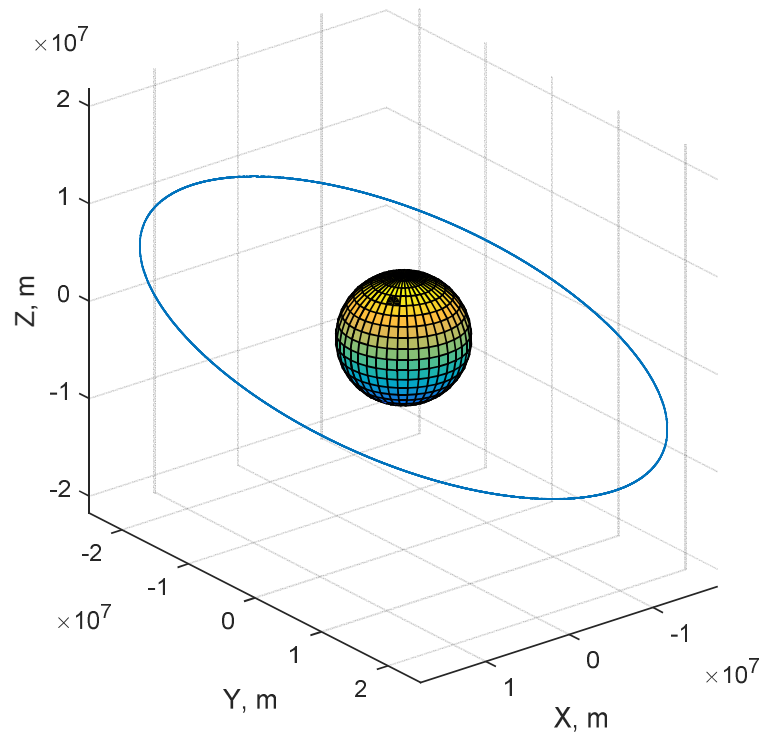


Рисунок 2 Траектории спутника в системе координат ECI

Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF) coordinate system

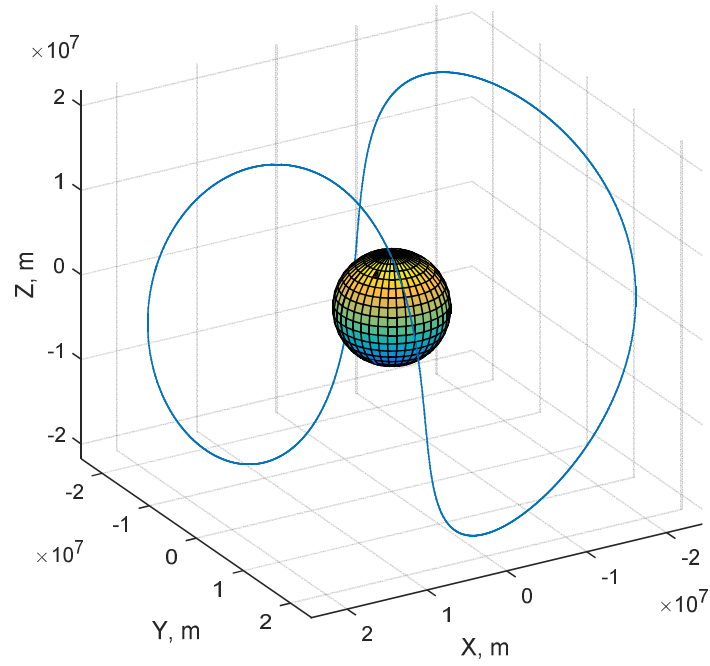


Рисунок 3 Траектории спутника в системе координат ECEF

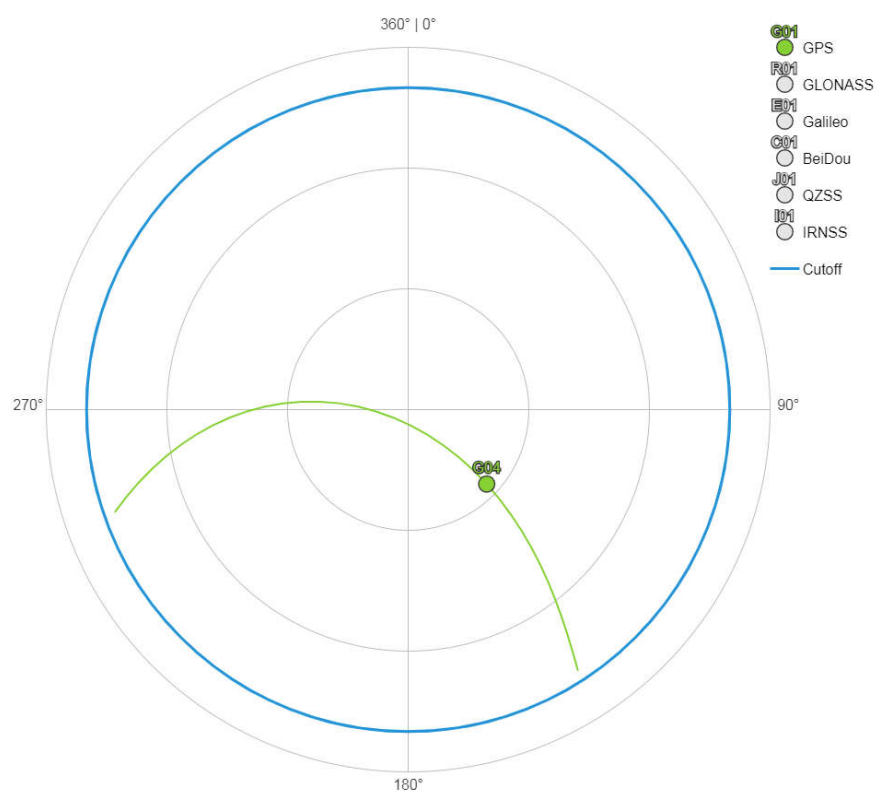


Рисунок 4 SkyView полученное в GNSS Planing Online

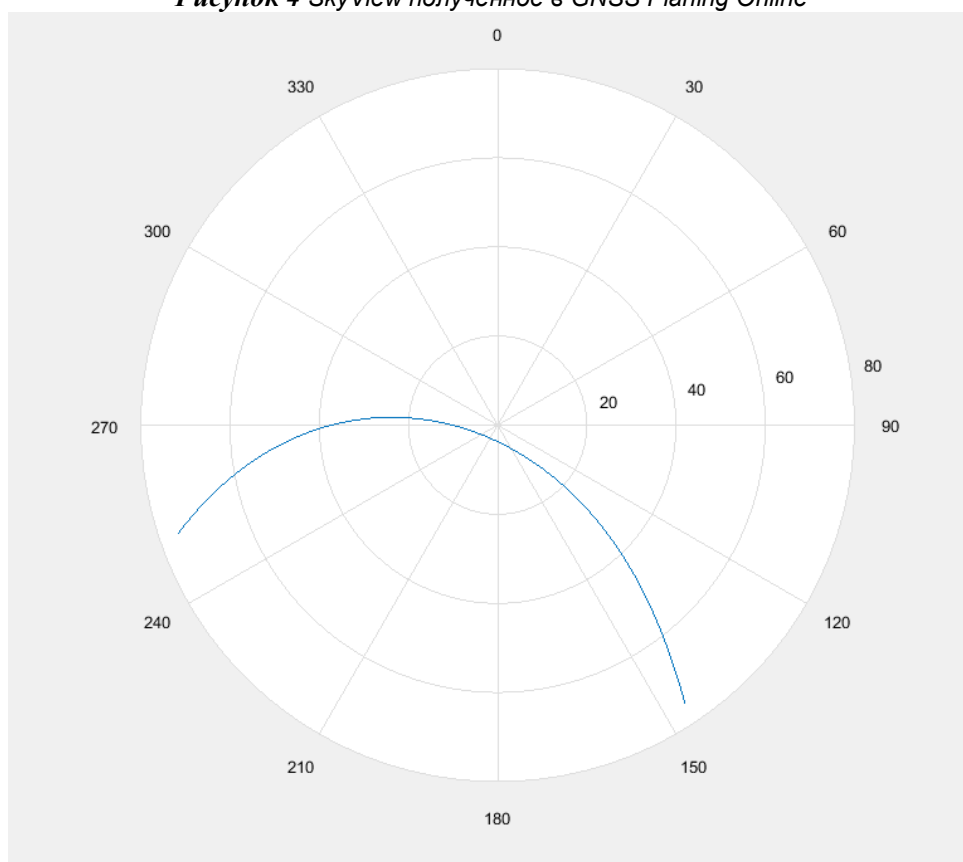


Рисунок 5 SkyView полученное при моделировании в MatLab

Вывод

В ходе предыдущего этапа данного курсового проекта были получены данные эфемерид спутников. На данном этапе требовалось, используя полученные эфемериды, промоделировать положение спутника в разные моменты времени и построить траекторию его движение за 12 часов. А так же построить SkyView для спутника относительно координат потребителя, где были получены использованные эфемериды.

Различия в графиках системы координат ECI и ECEF вызваны тем, что в первой системе строго зафиксированы оси системы координат (ось X направлена в точку весеннего равноденствия, Z – направлена от центра масс в сторону Северного полюса (не отличается от ECEF), Y – ось образующая совместно с X , Z правую тройку векторов). ECEF – система координат привязанная к Земле.

SkyView полученные в Matlab и GNSS Planning Online на первый взгляд совпадают. Видно, что обзор прямой видимости спутника для широт на которой находился приемник не столь велик.