

Міністерство освіти і науки України Національний авіаційний університет

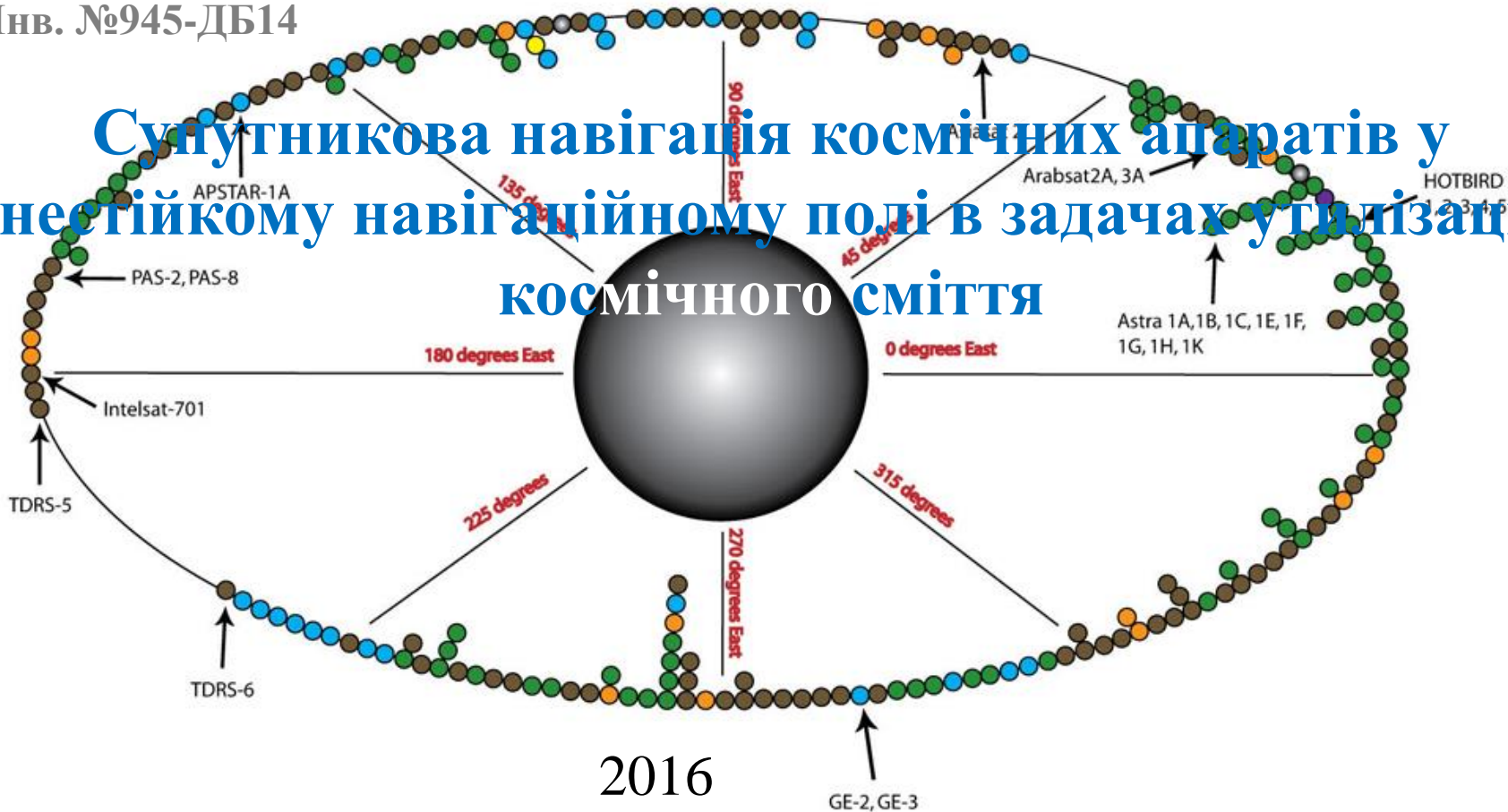
● UHF/Hybrid ● MSS ● Ku-Band ● C-Band ● Ka-Band ● S-Band ● L-Band

№ держреєстрації 0114U001602

Інв. №945-ДБ14

Супутникова навігація космічних апаратів у
нестійкому навігаційному полі в задачах утилізації

КОСМІЧНОГО СМІТТЯ



Відповідальні за виконання НДР 945-ДБ14



Науковий керівник:

КОНІН ВАЛЕРІЙ ВІКТОРОВИЧ

професор, д.т.н.

народився м. Рибінськ (Росія),

закінчив Рибінський авіатехнологічний інститут.

Заслужений машинобудівник України,

Почесний працівник космічної галузі.

Автор понад 200 наукових праць.

Наукові інтереси: супутникова навігація, техніка НВЧ, моделювання

Konin V.V. Scopus author ID: 6602407642, 13 documents;
Google Scholar: h-індекс 4, i10-індекс 3, кількість цитувань 99

Відповідальний виконавець:

ПОГУРЕЛЬСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ СЕРГІЙОВИЧ

с.н.с., к.т.н.

народився у м. Чорнобиль в 1980 р.,

закінчив НАУ у 2004 році.

к.т.н. за спеціальністю 05.22.13 “Навігація та управління рухом” (2012 р.)

Наукові інтереси зосереджені у галузі теоретичних досліджень та практичних застосувань технологій супутникової навігації.

Pogurelsky A.S. Scopus author ID: 56433565000, 2 documents

Анотація

В ході виконання роботи проведено класифікацію об'єктів космічного сміття та зроблено огляд існуючих методів їх утилізації.

Визначено перелік характеристик і проведено аналіз радіонавігаційного поля в навколосемному космічному просторі.

Окреслено коло завдань, які вирішуються навігаційними засобами при утилізації космічного сміття.

Обґрунтовано способи та виконано розробку методів координатно-кутового забезпечення сервісних космічних апаратів.

Описано моделі, які реалізують запропоновані методи координатно-кутового забезпечення та оцінки характеристик радіонавігаційного поля.

Приведено результати дослідження алгоритмів та методів координатно-кутового забезпечення користувача і оцінки характеристик радіонавігаційного поля, одержані за допомогою моделей.

Сформульовані рекомендації по реалізації навігаційно-балістичного забезпечення при розв'язанні проблеми утилізації космічного сміття.

Ключові слова: ГЛОБАЛЬНА НАВІГАЦІЙНА СУПУТНИКОВА СИСТЕМА, РАДІОНАВІГАЦІЙНЕ ПОЛЕ, КОСМІЧНЕ СМІТТЯ, КООРДИНАТНО-КУТОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ДОСТУПНІСТЬ СИГНАЛІВ ГНСС, МОДЕЛЬ

Annotation

In the course of the work we have classified the objects of space debris and made the overview of the existing methods for debris salvaging.

We identified the list of characteristics and analyzed the radionavigation field in the near-Earth space.

We identified the circle of challenges to be solved by navigation aids means for the problem of space debris salvaging.

We substantiated the means and developed the methods of coordinates-angles service provision for the service spacecraft.

We have described the models, which implement the proposed methods of coordinates-angles service provision and estimate the characteristics of radionavigation field.

We have provided the results of the research of algorithms and methods of coordinates-angles service provision for the user and the estimation of radio navigation field characteristics, which we obtained using the models.

We have formulated the recommendations for the implementation of navigation-ballistic service provision for the problem of space debris salvaging.

Key words: GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM, RADIONAVIGATION FIELD, SPACE DEBRIS, COORDINATES-ANGLES SERVICE PROVISION, AVAILABILITY OF GNSS SIGNALS, MODEL

Актуальність

Завдання утилізації космічного сміття комплексне і багатопланове. Одним з проблемних питань є навігація сервісного космічного апарату, розрахунок його точних координат та планове прибуття в задану точку.

Проблематика дослідження супутникового навігаційного забезпечення безпілотного сервісного космічного апарату полягає в наступному: радіонавігаційне поле, яке формується супутниковими навігаційними системами GPS, ГЛОНАСС, в перспективі GALILEO, COMPASS, забезпечує штатне функціонування навігаційних приймачів на відстані до 2000 - 3000 км від поверхні Землі при висоті орбіт навігаційних супутників в межах 19000 - 22000 км. Цього достатньо для навігації низькоорбітальних космічних апаратів (висота орбіт до 3000 км). Радіонавігаційне поле на відстанях 3000 - 22000 км і далі до висоти геостаціонарної орбіти нестійке, оскільки утворюється за рахунок бічного випромінювання антенних систем супутників.

Зазначене доводить актуальність дослідження комплексу питань що відносяться до навігації в нестійкому навігаційному полі, розподіленому в межах 3000 - 36000 км від поверхні Землі, та вирішенні цієї фундаментальної проблеми.

Значимість проекту полягає у створенні нової теорії, методів та способів забезпечення навігації космічних апаратів в нестійкому радіонавігаційному полі з орієнтацією на отримання Україною пріоритету у вирішенні проблеми утилізації космічного сміття.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Спільно с НВК «Курс» (входить до складу Державної акціонерної холдингової компанії “Київський радіозавод”) подані пропозиції до «Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2018 – 2022 роки» про розвиток і продовження робіт.

Мета – отримання нових фундаментальних знань про особливості обробки сигналів в нестійкому радіонавігаційному полі і створення на їх основі навігаційного забезпечення сервісного космічного апарату.

Об'єкт дослідження – радіонавігаційне поле, що формується сигналами супутникових навігаційних систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo та супутниковими функціональними доповненнями SBAS.

Предмет дослідження – методи оцінки характеристик нестійкого радіонавігаційного поля та методи забезпечення автономної навігації в його умовах.

Методи дослідження – лінійна алгебра, диференціальне числення, статистика, математичне моделювання, натурні експерименти.

Завдання, на вирішення яких було спрямовано проект:

- проведення оцінки зони засмічення навколоземного космічного простору (НКП);
- проведення класифікації об'єктів космічного сміття (КС);
- обґрунтування методів боротьби з КС;
- визначення характеристик радіонавігаційного поля (РНП) в НКП;
- розробка моделей та дослідження структури і стійкості РНП на висотах більше 3000 км;
- визначення завдань, що вирішуються навігаційними засобами для забезпечення реалізації способів боротьби з КС;
- визначення особливостей використання супутникових навігаційних систем в НКП;
- визначення шляхів забезпечення доступності, цілісності, точності і завадостійкості;
- обґрунтування способів рішення задачі координатно-кутового забезпечення (ККЗ) сервісного космічного апарату;
- визначення вимог до точнісних характеристик ККЗ;
- розробка методів вирішення завдань ККЗ;
- дослідження методів ККЗ на математичних моделях;
- розробка способів реалізації методів ККЗ;
- розробка методів формування РНП на висотах більше 3000 км за допомогою наземних станцій;
- дослідження точності і цілісності РНП на висотах більше 3000 км;
- розробка рекомендацій щодо рішення завдання навігаційного забезпечення для автоматичного зближення з об'єктами утилізації.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше було формалізовано узагальнений підхід для оцінки параметрів ГНСС в нестійкому радіонавігаційному полі, що дозволяє виконувати розрахунок координат на геостаціонарній орбіті, здійснювати автономну навігацію.
2. Розроблено метод розв'язання навігаційної задачі при використанні кількох супутникових систем, що забезпечують підвищення доступності, точності, цілісності, експлуатаційної готовності систем навігації.
3. Створено нову апаратно-програмну модель для оцінки якості розв'язання навігаційної задачі при використанні експериментальних спостережень, що забезпечує відпрацювання програмних рішень при розробці навігаційної апаратури та виконувати прогнозування автономної навігації в нестійкому радіонавігаційному полі.
4. Розроблено метод оцінки координат в нестійкому радіонавігаційному полі, який спирається на нову процедуру використання кількох частот, що дозволяє одержувати впевнені навігаційні рішення.
5. Удосконалено теорію автономної навігації в частині використання сигналів ГНСС для цілей координатного-кутового забезпечення в умовах нестійкого радіонавігаційного поля.

Результат

- ❑ Теорія автономної навігації в нестійкому радіонавігаційному полі
- ❑ Модель оцінки характеристик радіонавігаційного поля в навколоземному космічному просторі
- ❑ Модель для дослідження способу прогнозу вектора стану СКА по обмірюваних координатах (x, y, z) і вектору швидкості
- ❑ Модель для дослідження прогнозу вектора стану СКА по методу Ламберта – Ейлера
- ❑ Модель для дослідження способу фільтрації при навігації СК
- ❑ Модель для дослідження іоносферної затримки сигналу при навігації СКА
- ❑ Модель для дослідження способу визначення координат космічного сміття
- ❑ Модель для дослідження методу визначення параметрів руху СКА по вибірці вимірів наростаючого обсягу
- ❑ Модель визначення доступності супутникової навігації для СКА
- ❑ Модель іоносферної затримки сигналу при навігації СКА

Практичне значення: обґрунтування і проектування апаратних засобів для автономної навігації на висотах понад 3000 км при виконанні аванпроектів, ескізних і технічних проектів

Апробація результатів

Вид	Кількість	Примітка
Конференції	37	
Акти впровадження	1	Після завершення оформлення програм в січні 2017 (учбовий процес)
Авторські свідоцтва	7	
Патенти	1	

Публікації

Вид	Кол-во	Примітка
Статті	2	Scopus
Статті	8	
Підручники	2	Підготовлено до видання
Монографії	2	Підготовлено до видання
Конспект лекцій	1	Підготовлено до видання
Лабораторні	1	Підготовлено до видання
EGNOS PEGASUS Звіти	99	Викладено на сайті аерокосмічного центра НАУ за 2015- 2016 р. (об'єм кожного звіту - 30 стор.)

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Сукупність створених та таких, що отримали розвиток, взаємопов'язаних методів, процедур та правил можна розглядати як методологію призначену для розв'язання важливої науково-технічної проблеми – створення методів оцінки характеристик супутникових навігаційних систем в нестійкому радіонавігаційному полі.
2. Отримано замкнений метод розв'язання навігаційної задачі при використанні кількох супутникових навігаційних систем. Метод дозволяє розраховувати координати користувача і порівнювати їх з даними, одержаними навігаційним приймачем. При цьому вхідними даними в приймачі і розробленому алгоритмі виступають «сірі» вимірювання псевдовіддалей та дані ефемерид супутників, записані приймачем. Викладений метод може використовуватись при програмуванні сигнальних процесорів створюваної апаратури, відпрацюванні програмного забезпечення та верифікації навігаційних приборів.
3. В завершеному вигляді отримано метод розрахунку геометричних факторів кількох супутникових систем, який дозволяє створювати прогноз доступності довільної кількості супутникових навігаційних систем з довільною кількістю супутників в кожній. Метод дозволяє обґрунтовано приймати рішення про застосування чи відхилення супутникової навігації в умовах обмеженої доступності супутників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

4. Розроблена методологія автономної навігації на геостаціонарній орбіті, яка містить визначення нестійкого радіонавігаційного поля, формування цього поля сигналами однієї або декількох супутникових систем, випроміненими як через основну, так і через бічні пелюстки діаграми направленості, обробку сигналів моделлю, основною складовою якої є дальності до супутників, доповнені випадковими похибками на певній захопленій частоті.
5. Розроблено апаратно-програмний комплекс (АПК), який дозволяє методами натурно-модельних експериментів розв'язувати навігаційні задачі в умовах нестійкого радіонавігаційного поля. Основна ідея АПК полягає в одержанні експериментальних даних від навігаційних супутників, в загальному випадку, від декількох сузір'їв, обробці цих даних штатними засобами навігаційної станції і обробці цих же даних програмними пакетами, які реалізують запропоновані в роботі методи і доповнені правилами та процедурами, описаними в інтерфейсних контрольних документах.
6. Виконано комплекс досліджень орбітального руху супутників, доступності супутникових систем в певній позиції і на заданій траєкторії, по розв'язанню навігаційних задач окремими системами і спільним їх використанням, а також із застосуванням багаточастотного режиму. Ці задачі орієнтовані на розв'язання проблеми автономної навігації в нестійкому радіонавігаційному полі.

Список виконавців

Конін Валерій Вікторович, провідний науковий співробітник, д.т.н., професор

Погурельський Олексій Сергійович, старший науковий співробітник, к.т.н.

Кондратюк Василь Михайлович, старший науковий співробітник

Ковалевський Едуард Олександрович, старший науковий співробітник

Ільницька Світлана, старший науковий співробітник, к.т.н.

Ясенко Сергій, старший науковий співробітник, к.т.н.

Сушич Олексій Петрович, старший науковий співробітник, к.т.н.

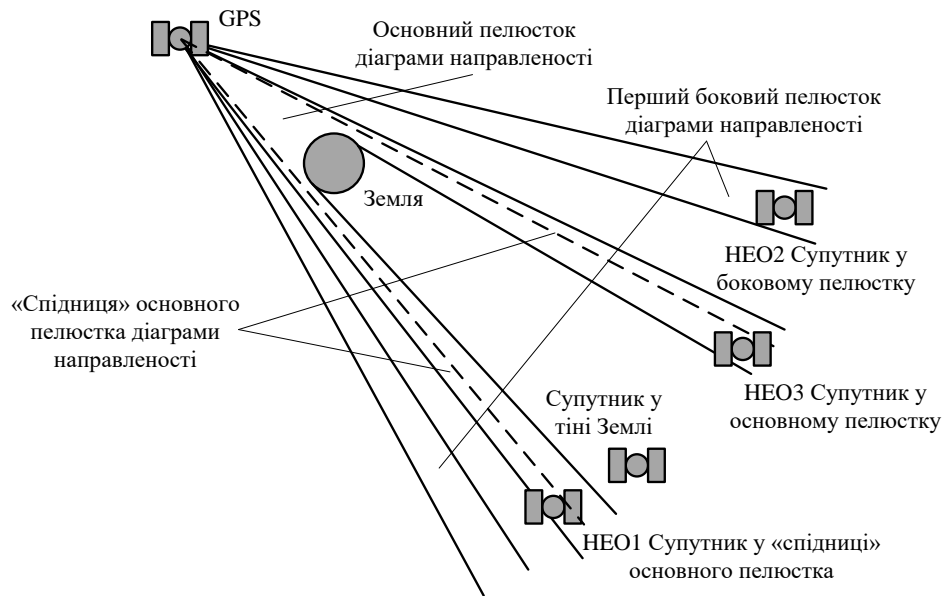
Куценко Олександр, молодший науковий співробітник

Шишков Федір Олександрович, молодший науковий співробітник

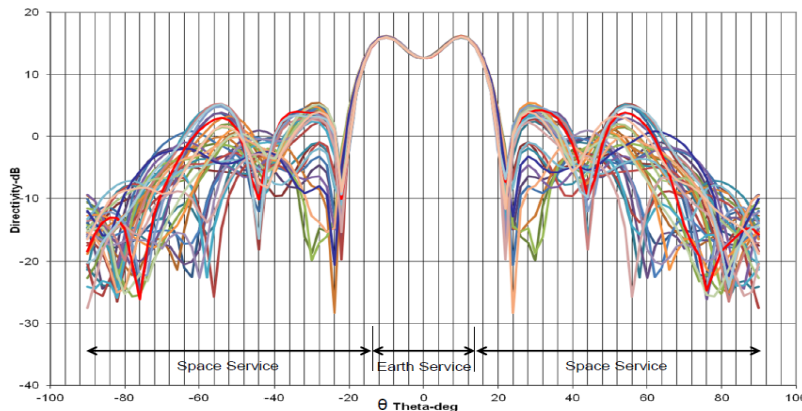
Приходько Ірина Анатоліївна, молодший науковий співробітник

Олевінська Тетяна, аспірант

НЕУСТОЙЧИВОЕ РАДИОНАВИГАЦИОННОЕ ПОЛЕ



В КОСМОСЕ
ВЫШЕ 3000 КМ



НА ПОВЕРХНОСТИ
ЗЕМЛИ
РАДИОПОМЕХИ,
БЛОКИРОВАНИЕ
СПУТНИКОВ

РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

$$[X^{(m+1)}] = [X^{(m)}] + \{[G^{(m)}]^T \cdot [W]^{-1} \times \rightarrow (1) \\ [G^{(m)}]\}^{-1} \cdot [G^{(m)}]^T \cdot [W]^{-1} \cdot \{[PR^{(m+1)}] - [PR^{(m)}]\}$$

$[X^{(m)}]$ ВЕКТОР КООРДИНАТ НА ШАГЕ m

$[PR^{(m)}]$ ВЕКТОР ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ НА ШАГЕ m

$[G^{(m)}]$ МАТРИЦА ГЕОМЕТРИИ НА ШАГЕ m

$[W]$ МАТРИЦА ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ продолжение

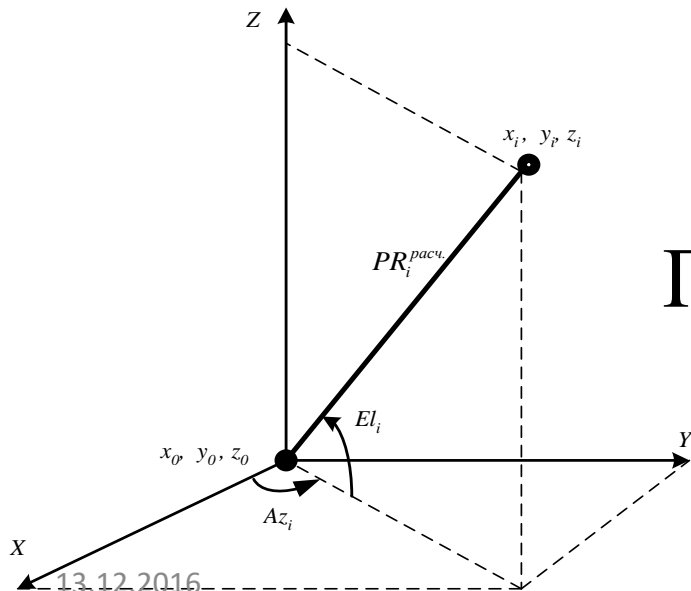
$$\tilde{[G]} = \begin{pmatrix} \frac{-(x_{s1} - x)}{PR_{s1}^{расч.}} & \frac{-(y_{s1} - y)}{PR_{s1}^{расч.}} & \frac{-(z_{s1} - z)}{PR_{s1}^{расч.}} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ (\cdot)_{s1} & (\cdot\cdot)_{s1} & (\dots)_{s1} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ \frac{-(x_{s2} - x)}{PR_{s2}^{расч.}} & \frac{-(y_{s2} - y)}{PR_{s2}^{расч.}} & \frac{-(z_{s2} - z)}{PR_{s2}^{расч.}} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ (\cdot)_{s2} & (\cdot\cdot)_{s2} & (\dots)_{s2} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{-(x_{sn} - x)}{PR_{sn}^{расч.}} & \frac{-(y_{sn} - y)}{PR_{sn}^{расч.}} & \frac{-(z_{sn} - z)}{PR_{sn}^{расч.}} & 0_{sn} & 0_{sn} & \dots & 1_{sn} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{НОВОЕ} \\ \text{СТОЛБЦЫ} \\ \text{СПРАВА} \\ \text{М} \\ \text{Н} \\ \text{О} \\ \text{Г} \\ \text{О} \\ \text{С} \\ \text{И} \\ \text{С} \\ \text{Т} \\ \text{Е} \\ \text{МНОСТЬ} \end{matrix} \quad (2)$$

$x_{s(\cdot)}, y_{s(\cdot)}, z_{s(\cdot)}$ КООРДИНАТЫ СПУТНИКОВ СИСТЕМЫ S(·)

x, y, z КООРДИНАТЫ ИСКОМЫЕ

ПРЕОБРАЗОВАВАННАЯ МАТРИЦА $[\tilde{G}]$

$$G = \begin{bmatrix} \{\cos(El_i) \cos(Az_i)\}_{s1} & \{\cos(El_i) \sin(Az_i)\}_{s1} & \{\sin(El_i)\}_{s1} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ \{\cdot\}_{s1} & \{\cdot\}_{s1} & \{\dots\}_{s1} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ \{\cos(El_i) \cos(Az_i)\}_{s2} & \{\cos(El_i) \sin(Az_i)\}_{s2} & \{\sin(El_i)\}_{s2} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ \{\cdot\}_{s2} & \{\cdot\}_{s2} & \{\dots\}_{s2} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \{\cos(El_i) \cos(Az_i)\}_{sn} & \{\cos(El_i) \sin(Az_i)\}_{sn} & \{\sin(El_i)\}_{sn} & 0_{sn} & 0_{sn} & \dots & 1_{sn} \end{bmatrix} \quad (2.a)$$



ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Преобразует ошибки дальности в погрешности позиции

ТОЧНОСТЬ = DOP*(ошибку пользователя при измерении дальности до спутников)

$$\begin{bmatrix} G \\ P \\ H \\ V \\ T_{s1} \\ \dots \\ T_{sn} \end{bmatrix} DOP = \sqrt{\text{Tr} [G^T G]^{-1}}$$

$$[G^T G]^{-1} \quad (3)$$

Элементы матрицы (3) могут рассчитываться вместе с (1) или отдельно относительно заданной позиции, территории, траектории

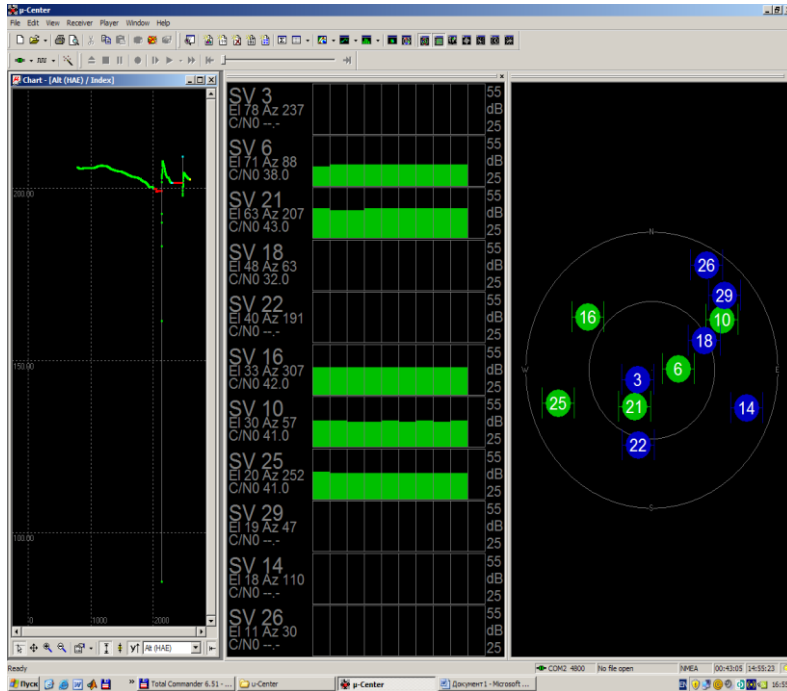
ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ

1. Принять данные с навигационных спутников, находящихся в прямой видимости
2. По данным альманаха составить базу данных спутников, потенциально участвующих в решении навигационной задачи. База данных есть все возможные сочетания из видимых спутников N по $N-1, N-2, \dots, 4$.
3. Определить все приемлемые комбинации спутников.
4. По сообщениям спутников привести их данные в единую шкалу времени.
5. По кеплеровским элементам орбит GPS, GALILEO, COMPASS координаты видимых спутников на интервал времени, в котором будет решаться навигационная задача.
6. Из решения системы дифференциальных уравнений определить координаты спутников ГЛОНАСС.
7. Определить, если есть необходимость ионосферные, тропосферные и аппаратные коррекции псевдодалейностей спутников.
8. Измерить псевдодалейности до спутников.
9. По формулам (1), (2, 2а)/(3) используя базу данных из п. 2 определить координаты позиции. Параллельно по формуле (3) вычислить геометрические факторы.
10. В качестве окончательного решения принимается результат с минимальным значением геометрического фактора.

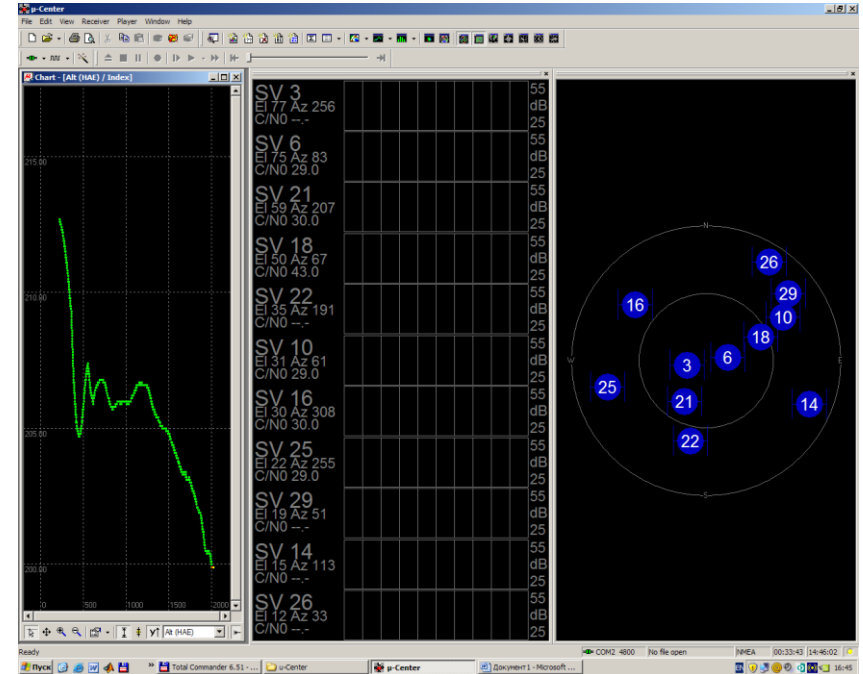
ДАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЫЛА ПРИМЕНЕНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

РАДИОПОМЕХИ

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОМЕХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

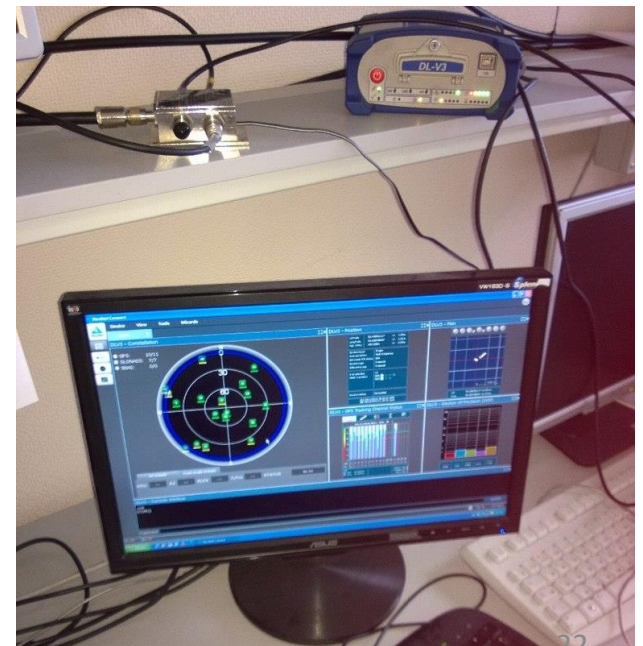


НАВИГАЦИЯ ПО 5 СПУТНИКАМ



**НАВИГАЦИЯ ОТСУТСТВУЕТ.
ВСЕ СПУТНИКИ ПОДАВЛЕНЫ**

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС



ПАКЕТЫ ПРОГРАММ

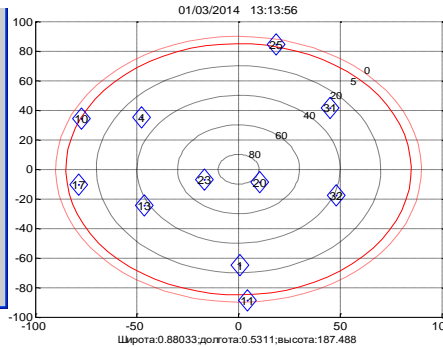
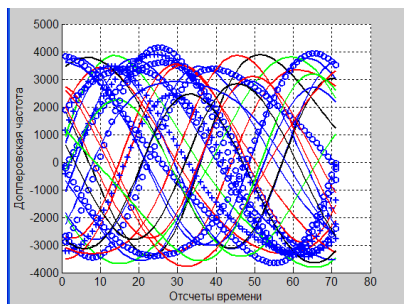
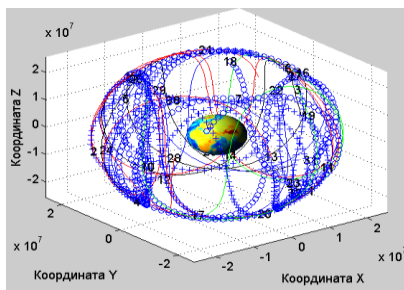
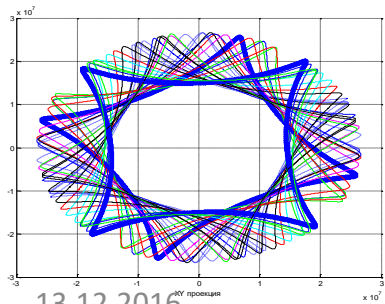
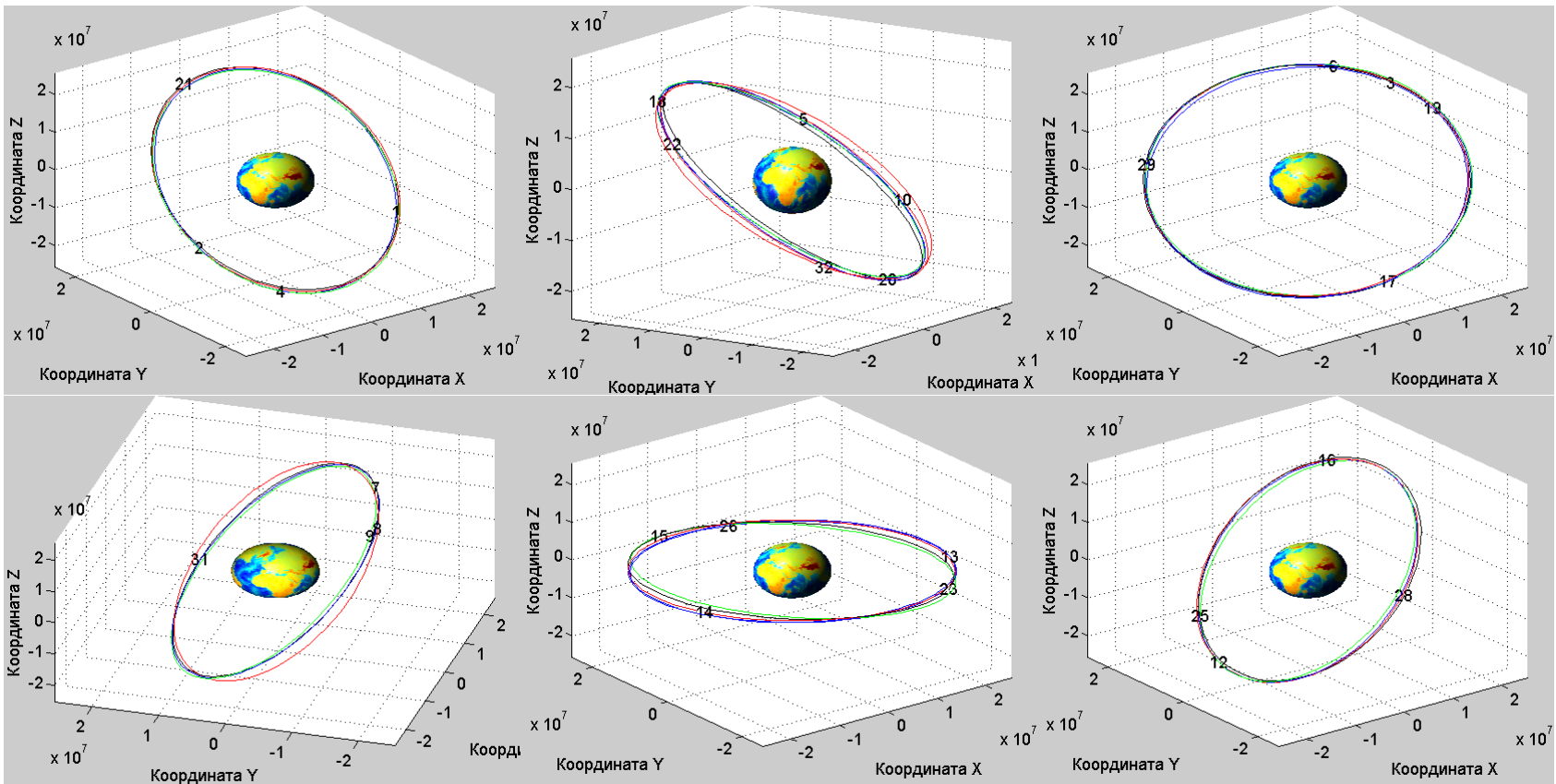
1. Пакет программ № 1 для оценки, точности и доступности ГНСС на геостационарной орбите
- 2. Пакет программ № 2 для решения навигационной задачи по сигналам GPS**
3. Пакет программ № 3 для решения навигационной задачи по сигналам ГЛОНАСС
- 4. Пакет программ № 4 для решения навигационной задачи по сигналам двух и более систем**
5. Пакет программ № 5 для решения навигационной задачи в двухчастотном режиме
- 6. Пакет программ № 6 для исследования орбитального движения спутников GPS**
7. Пакет программ № 7 для исследования орбитального движения спутников ГЛОНАСС
- 8. Пакет программ № 8 для исследования орбитального движения спутников действующих и перспективных систем**
9. Пакет программ № 9 для геометрических факторов

Функции пакета № 4 (иллюстрация)

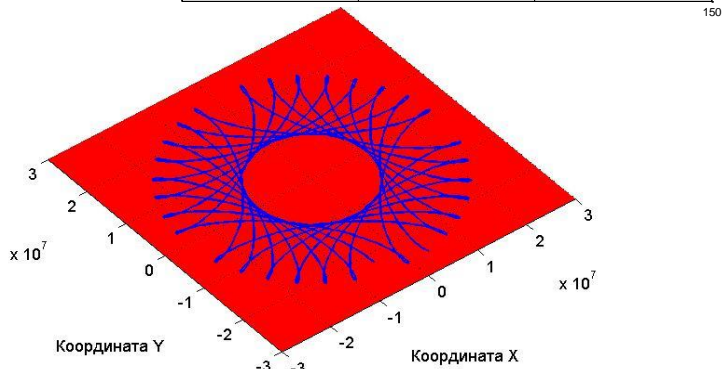
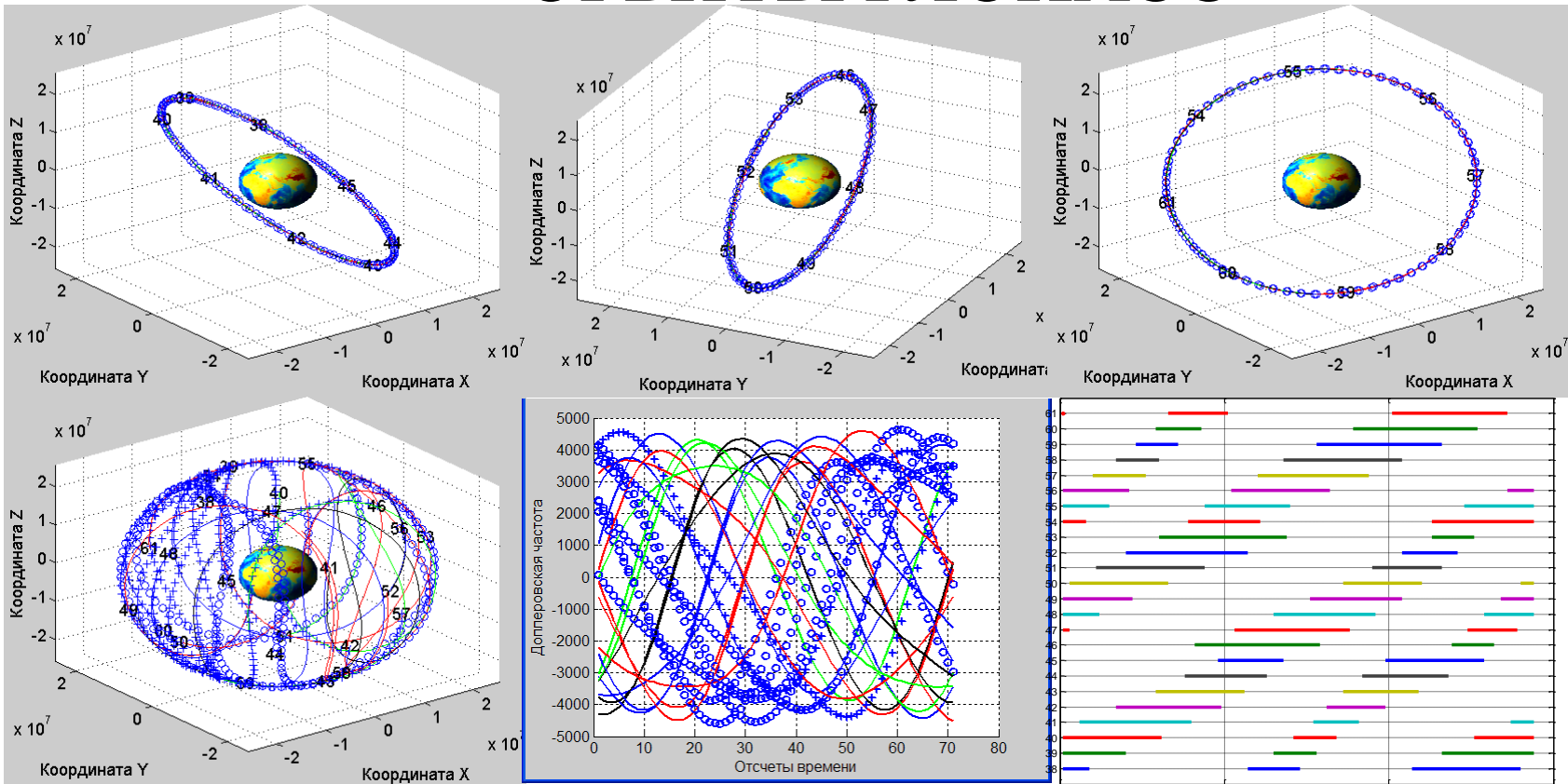
- var_sign.m
- utc_nut_fi_eps.m
- utc_nut.m
- ti_correct.m
- swap2byte.m
- s0_Nut.m
- read_XYZ.m
- Read_TIME.m
- read_range.m
- Read_PSRXYZ.m
- Read_IONUTC.m
- Read_EphGl.m
- Read_Eph.m
- pz90_eci.m
- pozGPSGL.m
- positionV0.m
- Matric.m
- mainGG10.m
- koef.m
- kepler.m
- JD_from_epohi.m

- JD_epohi.m
- JD_data.m
- init_xyz.m
- init_satvis_satpos.m
- init_Range.m
- init_Poz.m
- init_data_gps.m
- init_data_gln.m
- init_data.m
- gln_e_dvdt_ODE1.m
- gln_cos.m
- gln_e.m
- EphGIF.m
- EphF.m
- eci_to_ecef.m
- e_norm.m
- CRC_OEM4.m
- CRC32Value.m
- CRC32.m
- CRC32_new.m
- CalculateBlockCRC32.m

Орбиты GPS

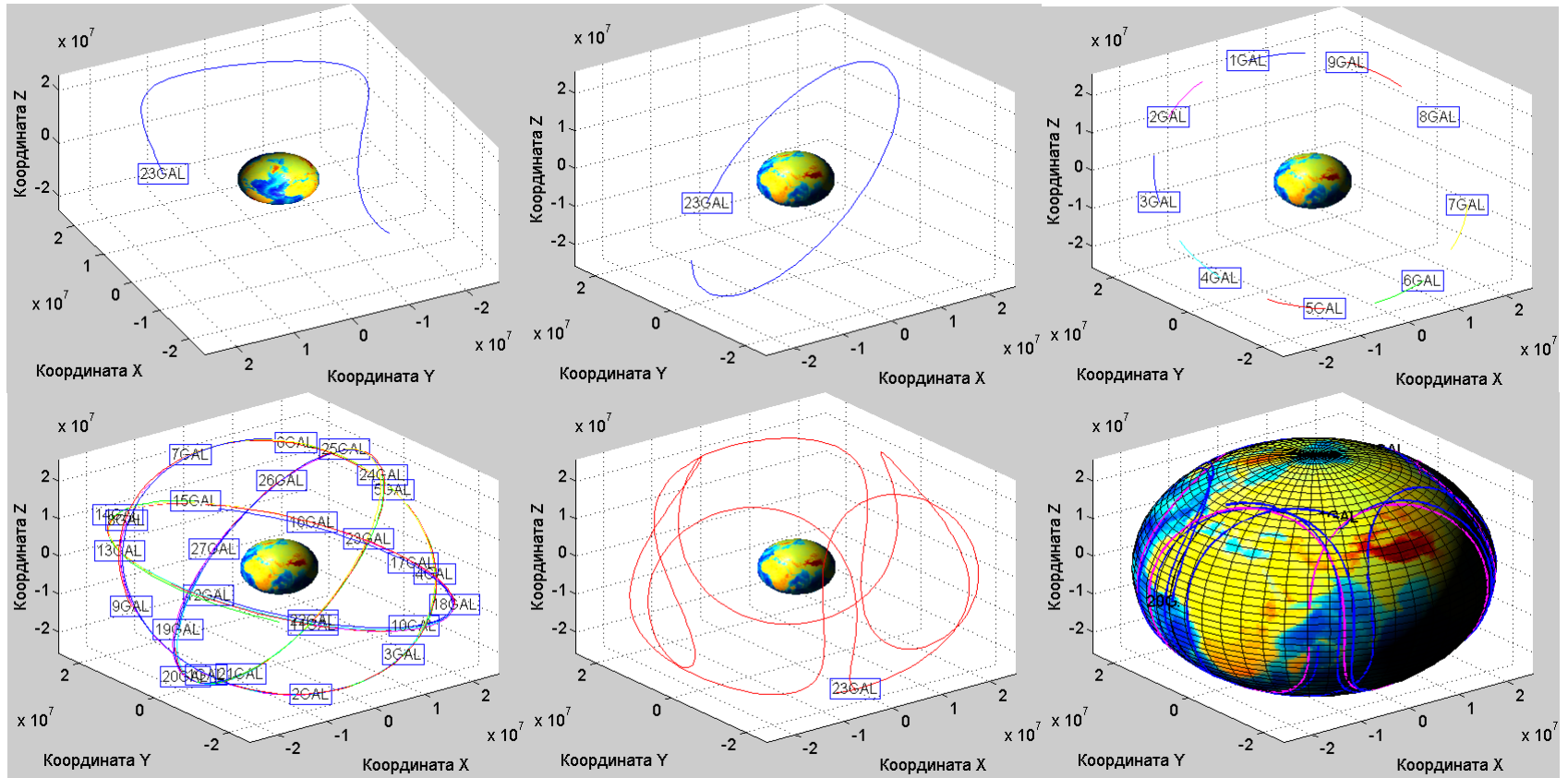


ОРБИТЫ ГЛОНАСС

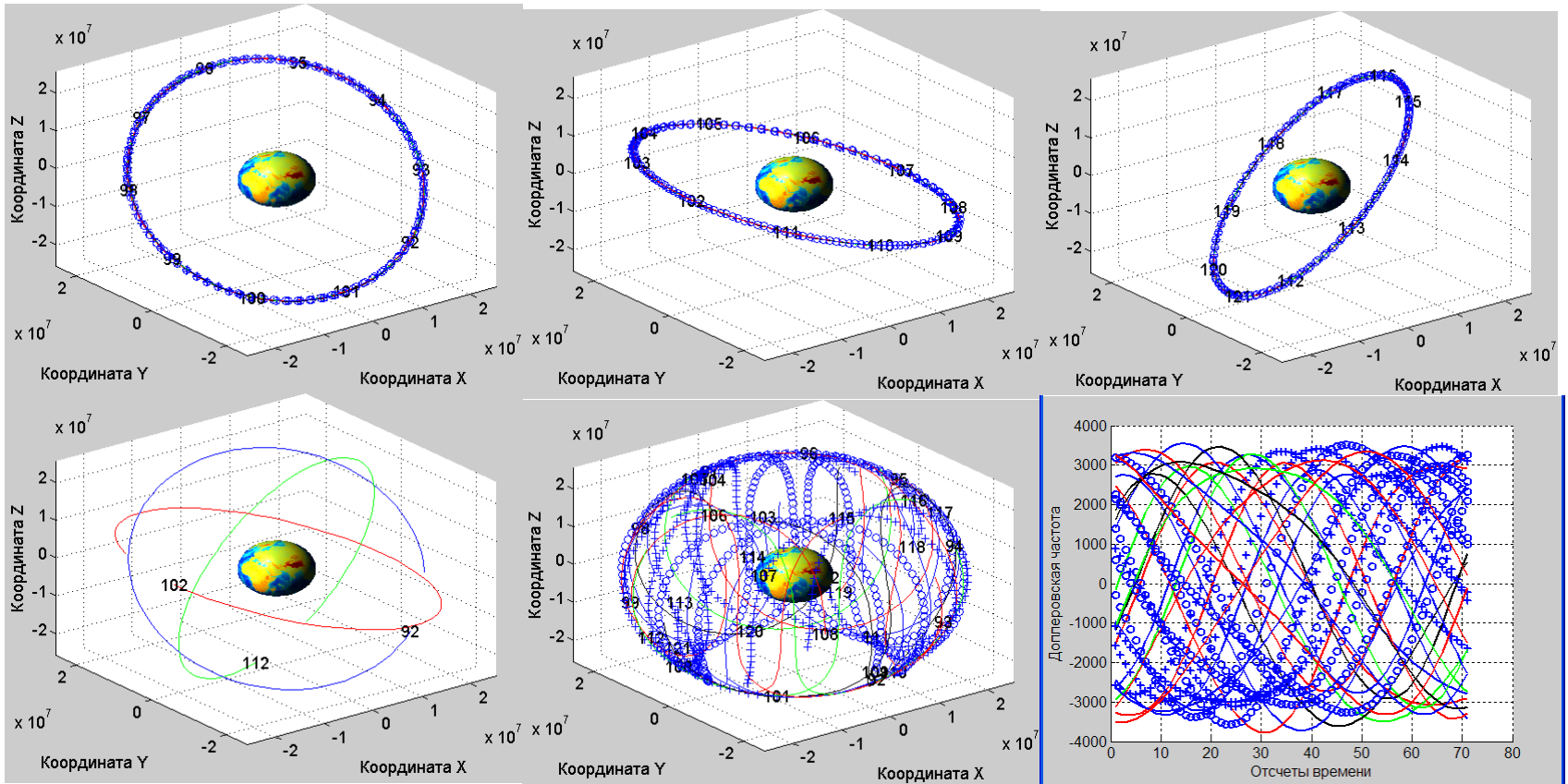


13.12.2016

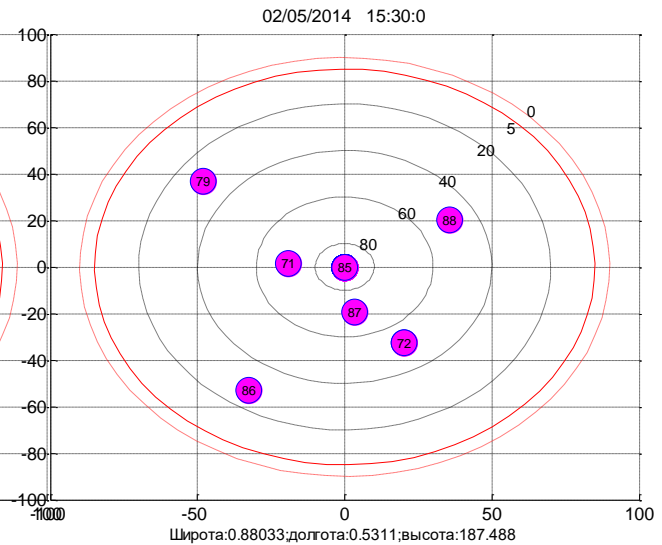
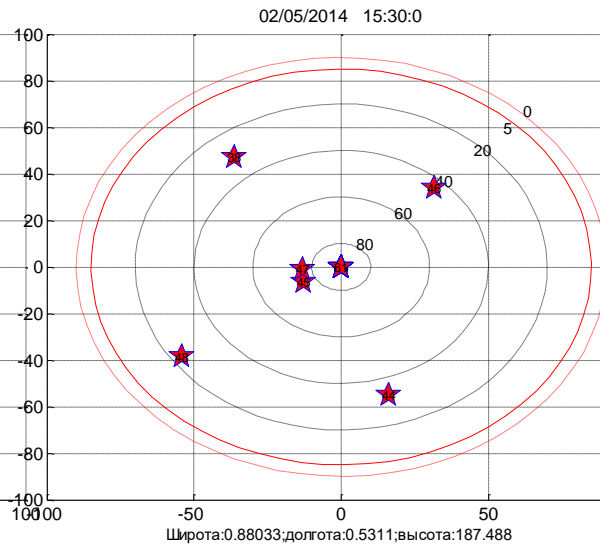
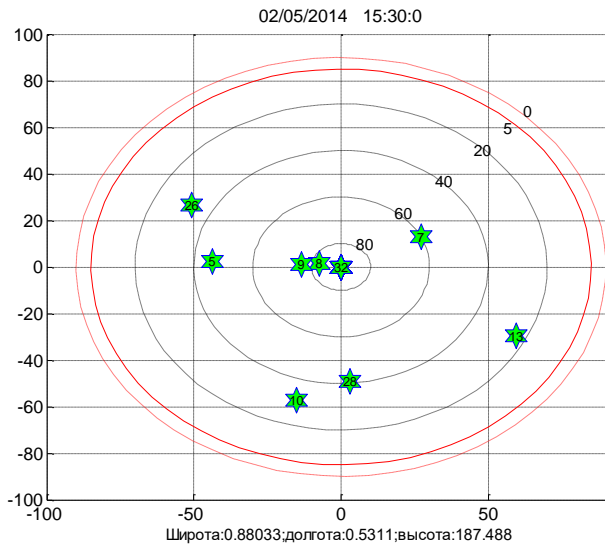
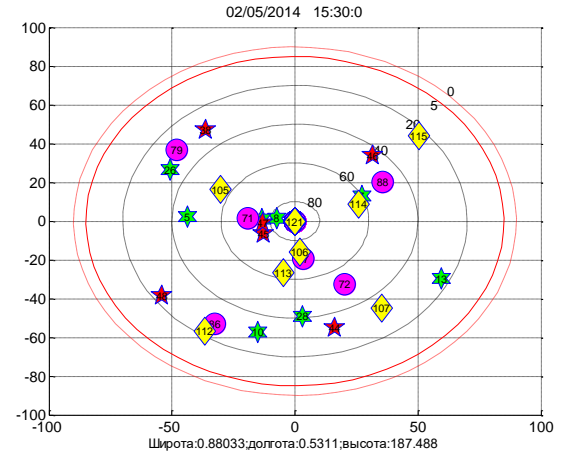
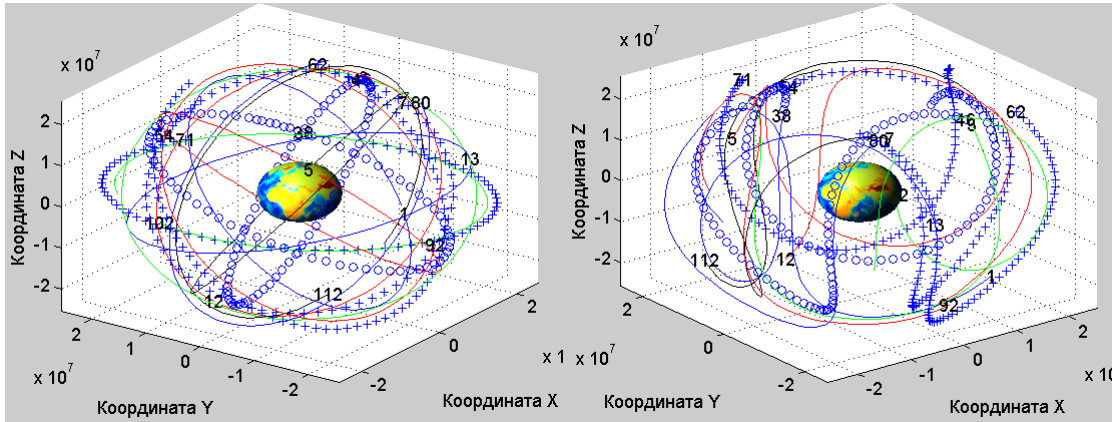
ОРБИТЫ GALILEO



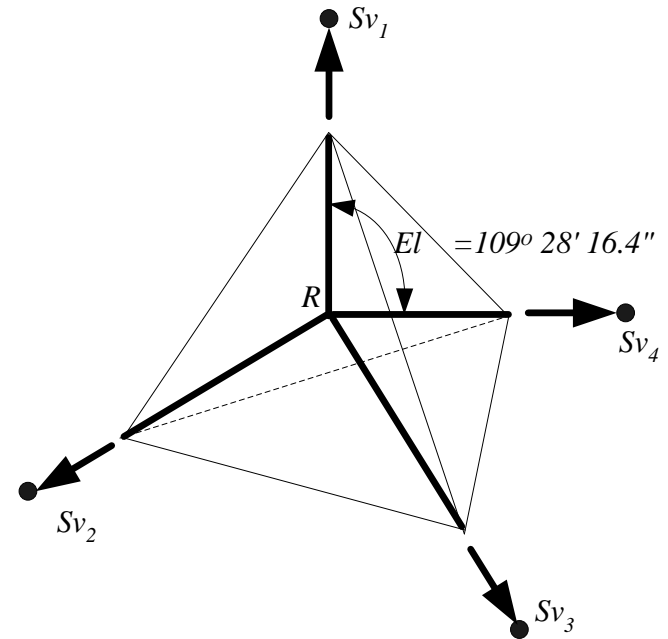
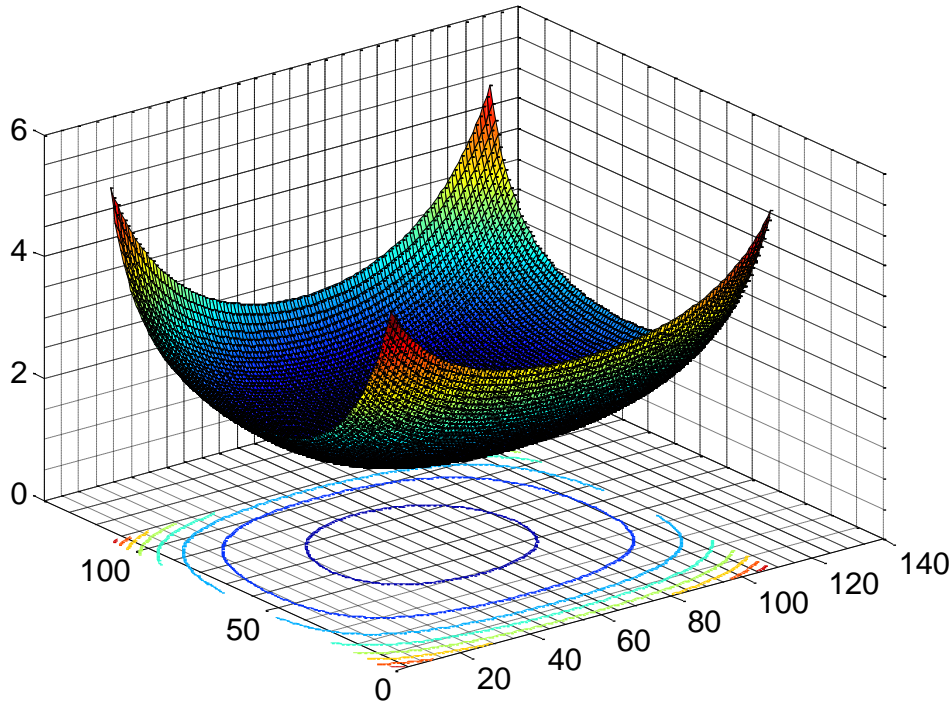
ОРБИТА COMPASS



ОРБИТЫ НЕСКОЛЬКИХ СОЗВЕЗДИЙ

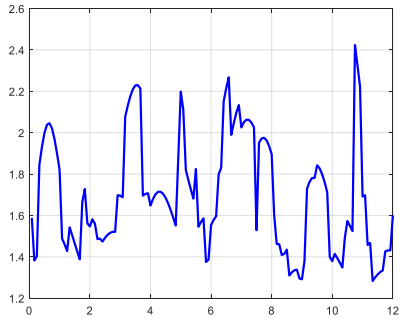


ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР

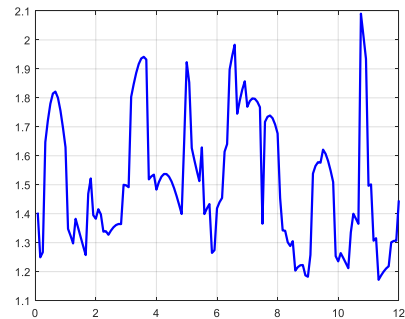


КЛАССИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ 4 СПУТНИКОВ В ВЕРШИНЕ ПИРАМИДЫ.
МИНИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ GDOP В ПРАВИЛЬНОЙ ПИРАМИДЕ

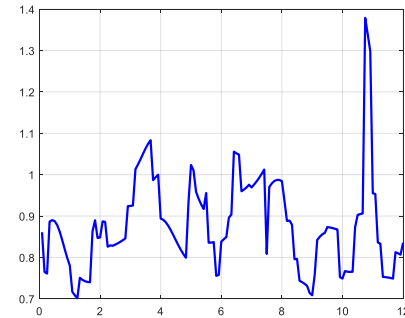
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР



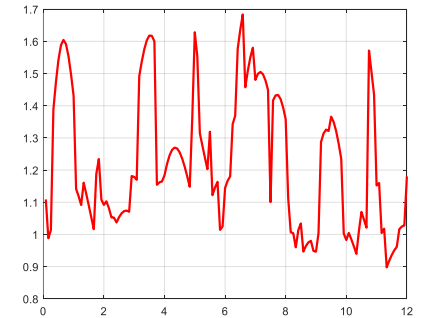
GPS: GDOP



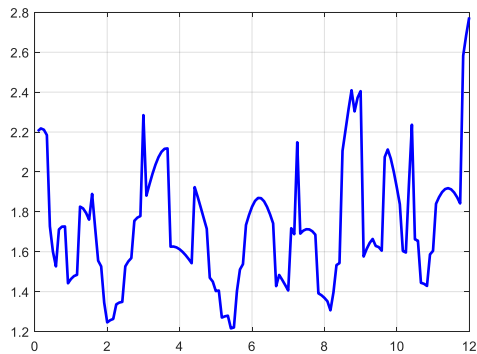
PDOP



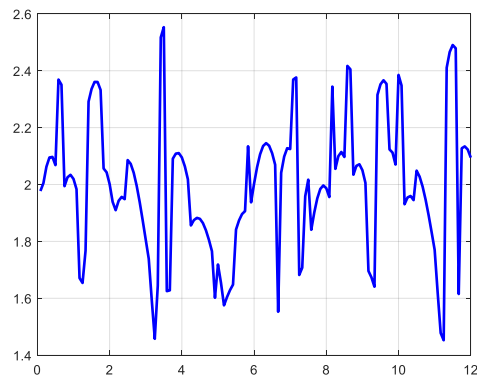
HDOP



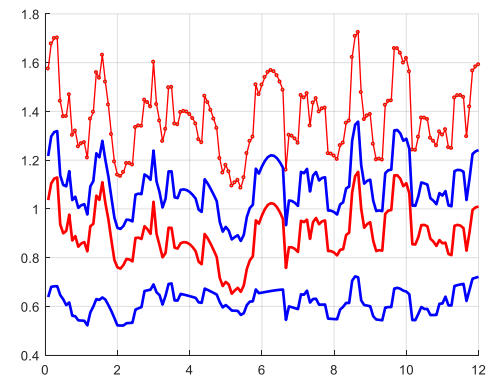
VDOP



GPS: GDOP

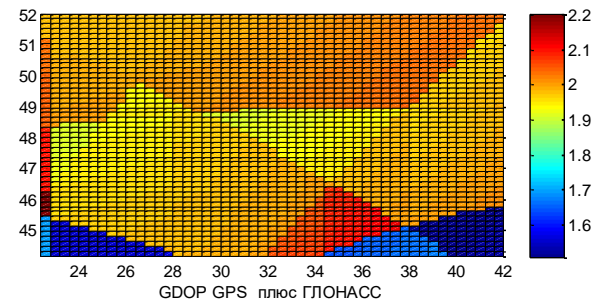
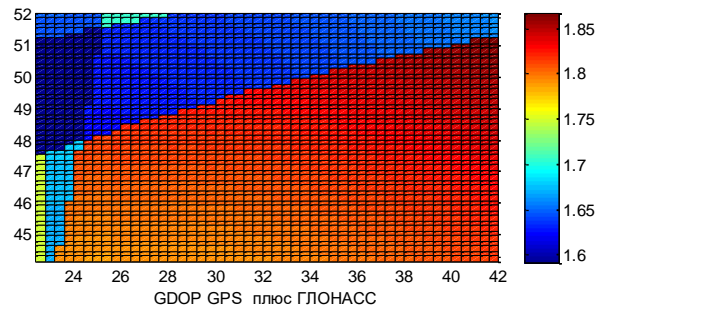
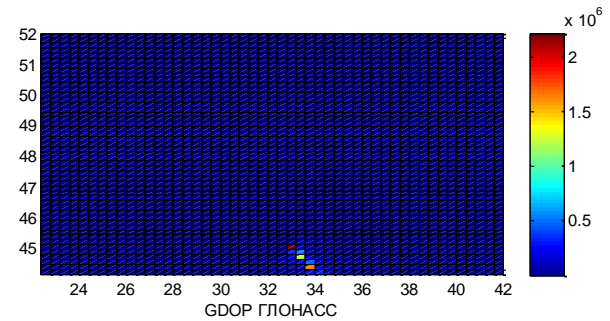
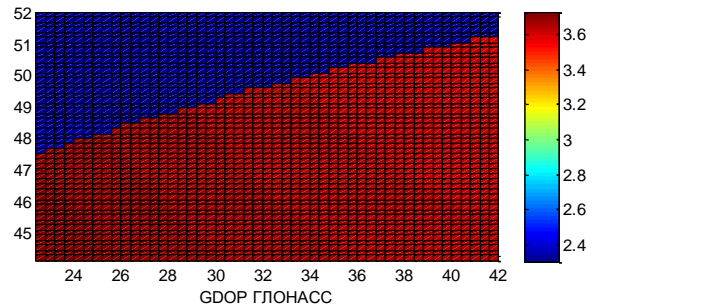
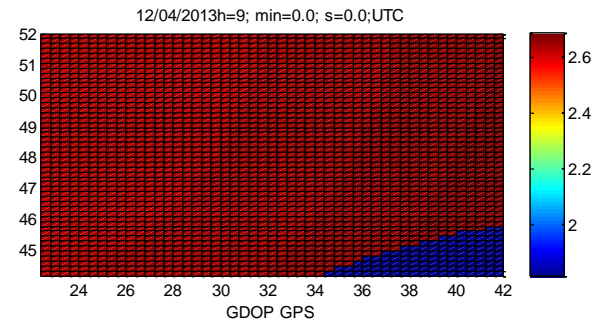
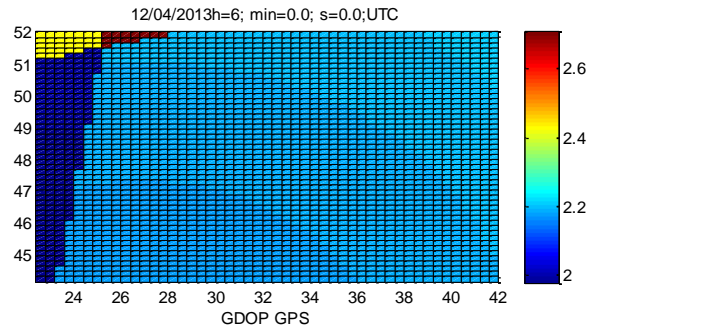


ГЛОНАСС: GDOP



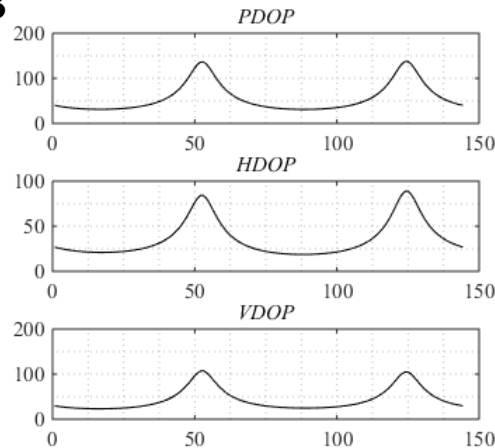
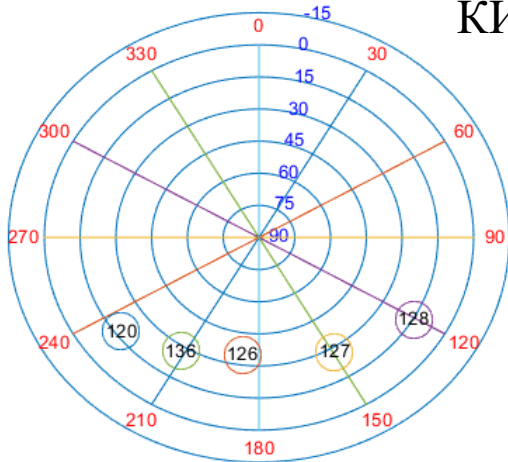
GPS+ГЛОНАСС
GDOP, PDOP, HDOP, VDOP

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР ПОВЕРХНОСТИ

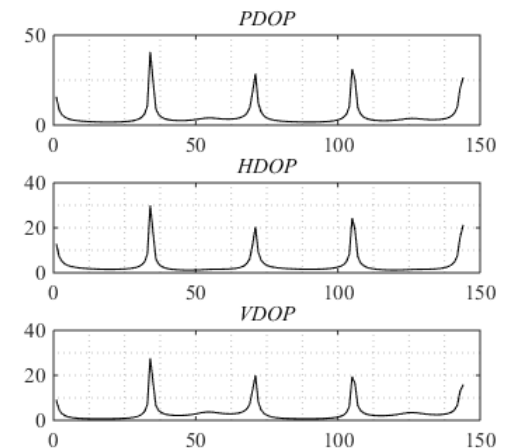
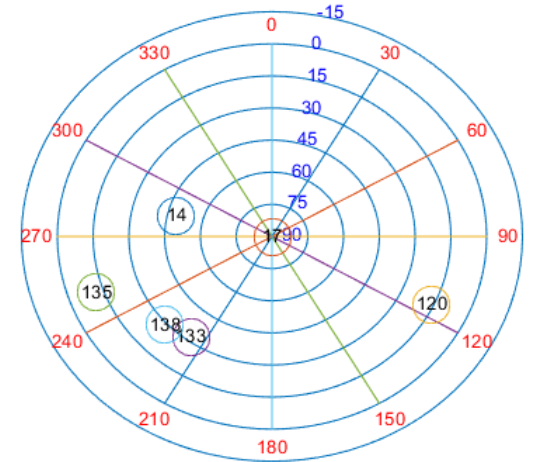
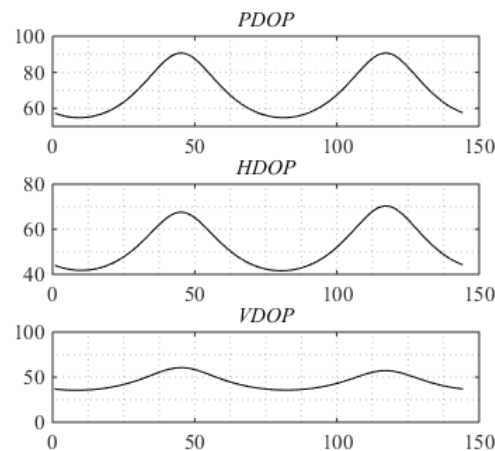
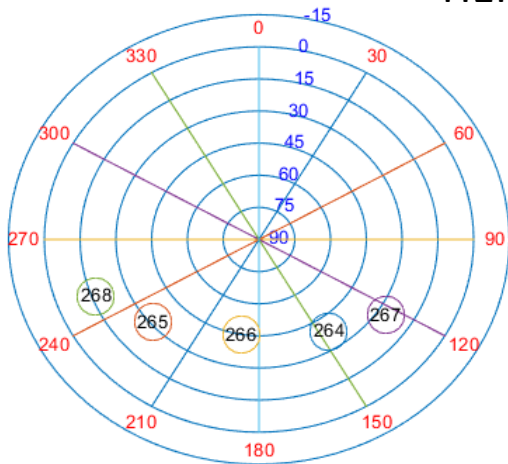


ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ

КИЕВ

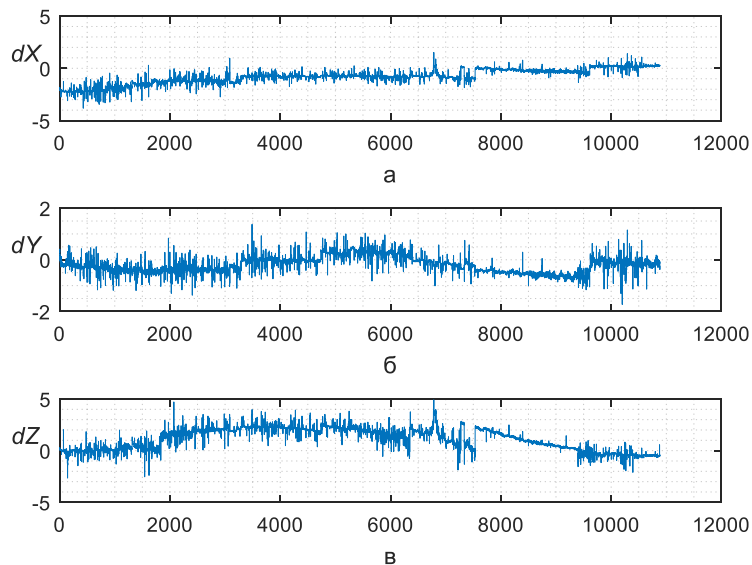


ПЕКИН

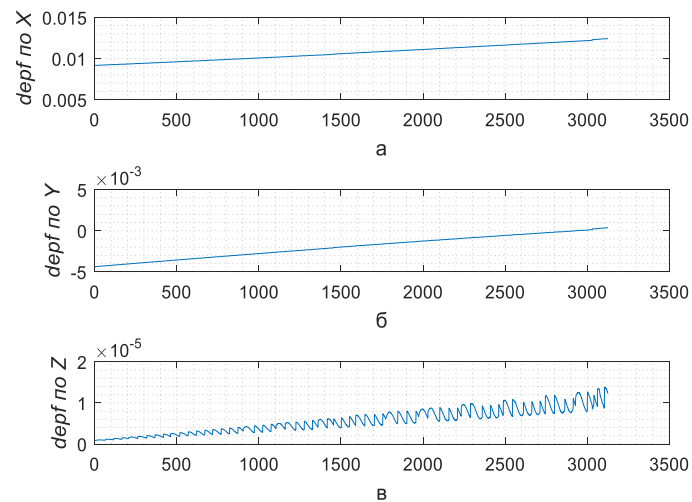


БОСТОН: 4 GEO, 2 GPS

Решение навигационной задачи по сигналам GPS (пакет № 2)

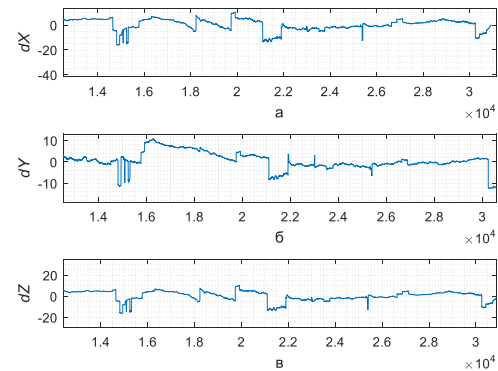
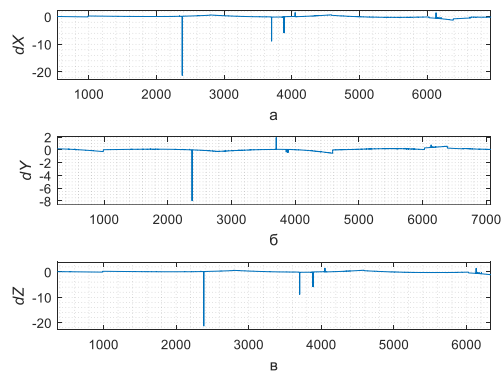
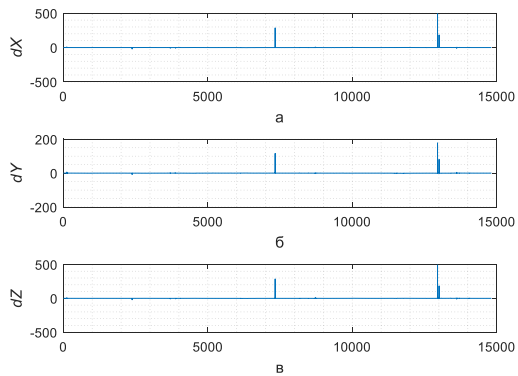


Разность между расчетными и экспериментальными данными позиции потребителя

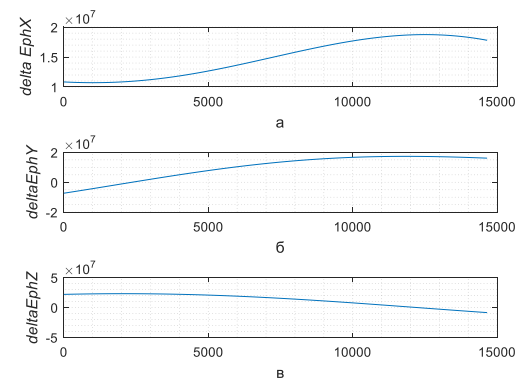
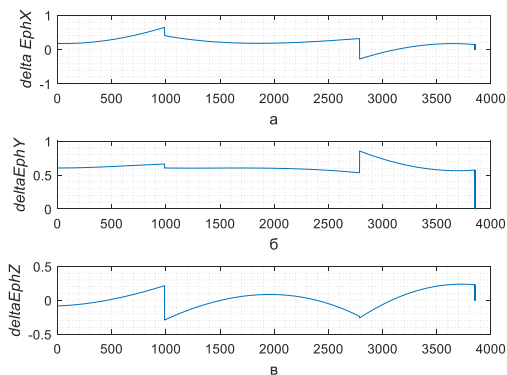
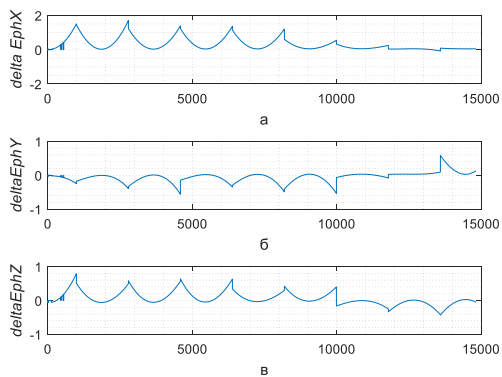


Разность между расчетными и экспериментальными данными эфемерид спутника № 7

Решение навигационной задачи по сигналам ГЛОНАСС (пакет № 3)

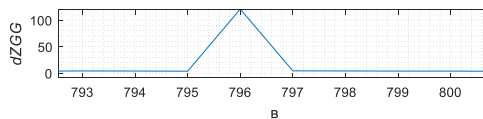
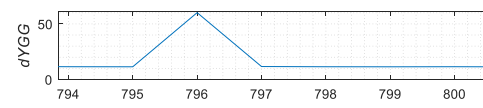
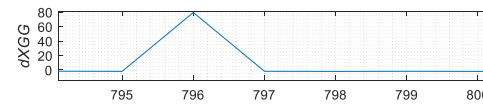
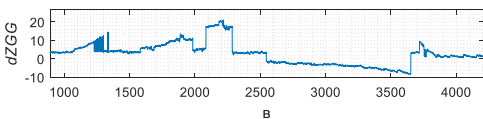
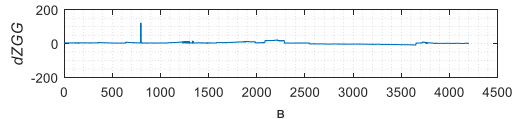
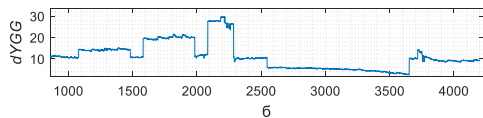
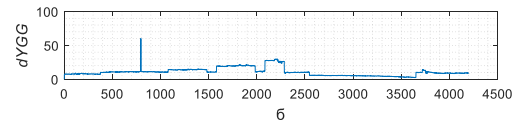
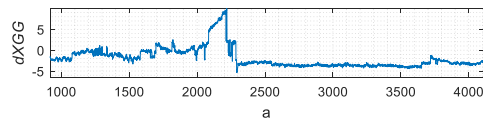
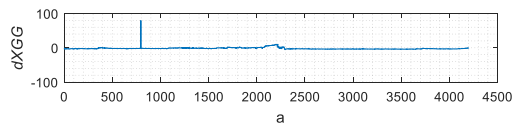


Разность между расчетными и экспериментальными данными позиции потребителя

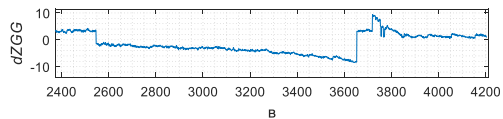
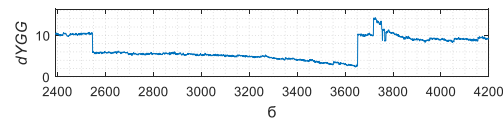
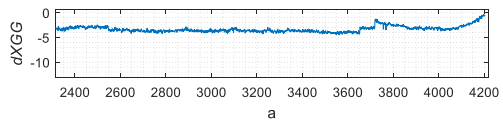


Разность между расчетными и экспериментальными данными эфемерид: слева – спутник № 60, в центре – спутник № 58, справа – спутник № 39

Решение навигационной задачи по сигналам двух систем (пакет № 4)

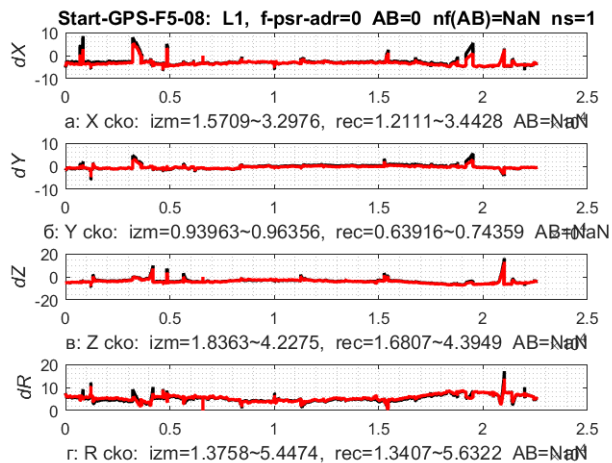


Разность между расчетными и экспериментальными данными позиции потребителя, справа в области скачка

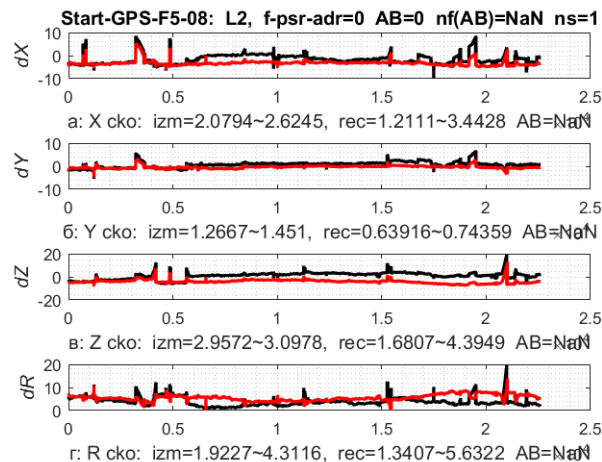


Разность между расчетными и экспериментальными данными в области скачка (рисунок слева) и на временном интервале 2400 4200

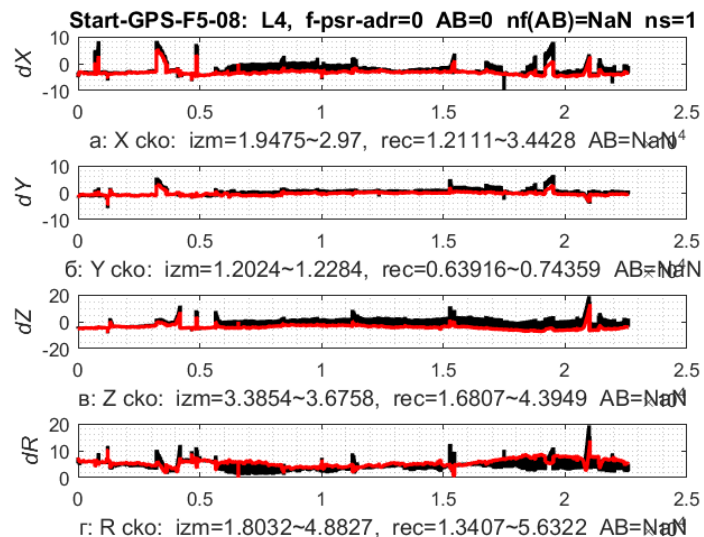
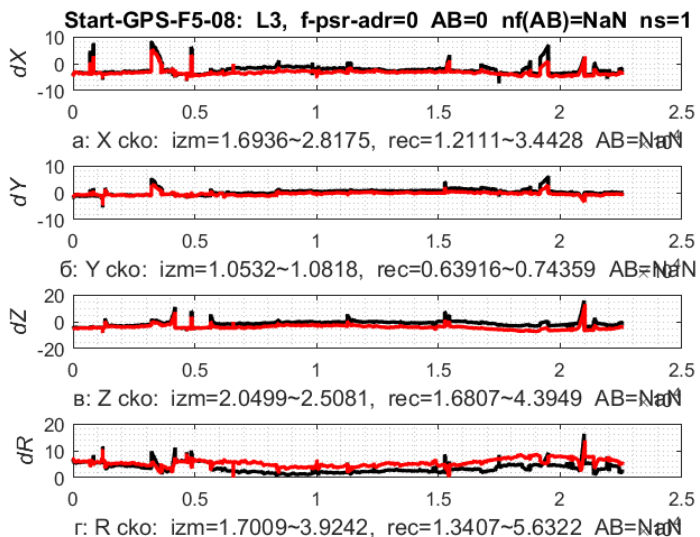
Решение навигационной задачи в двухчастотном режиме (пакет № 5)



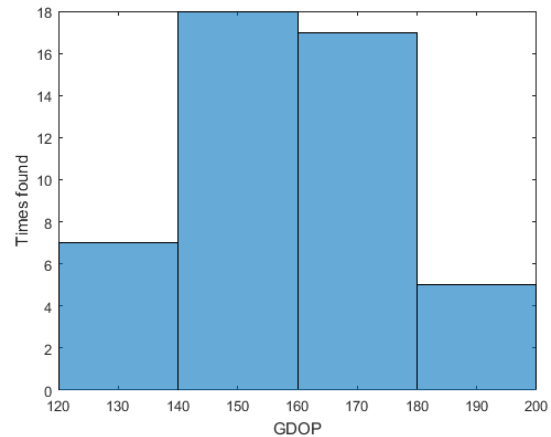
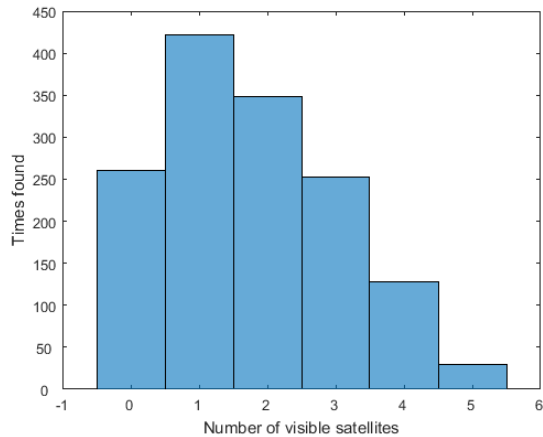
L1



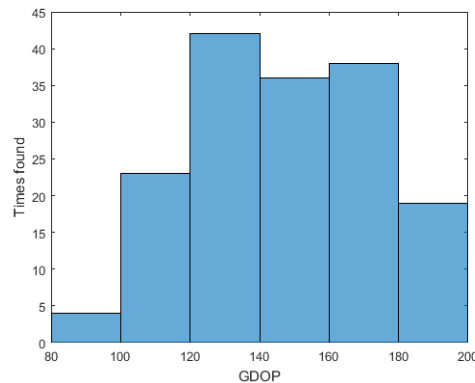
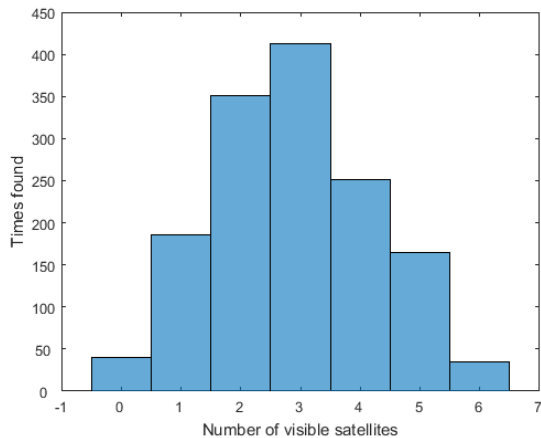
L2



Оценка, точности и доступности ГНСС на геостационарной орбите (программный пакет № 1)

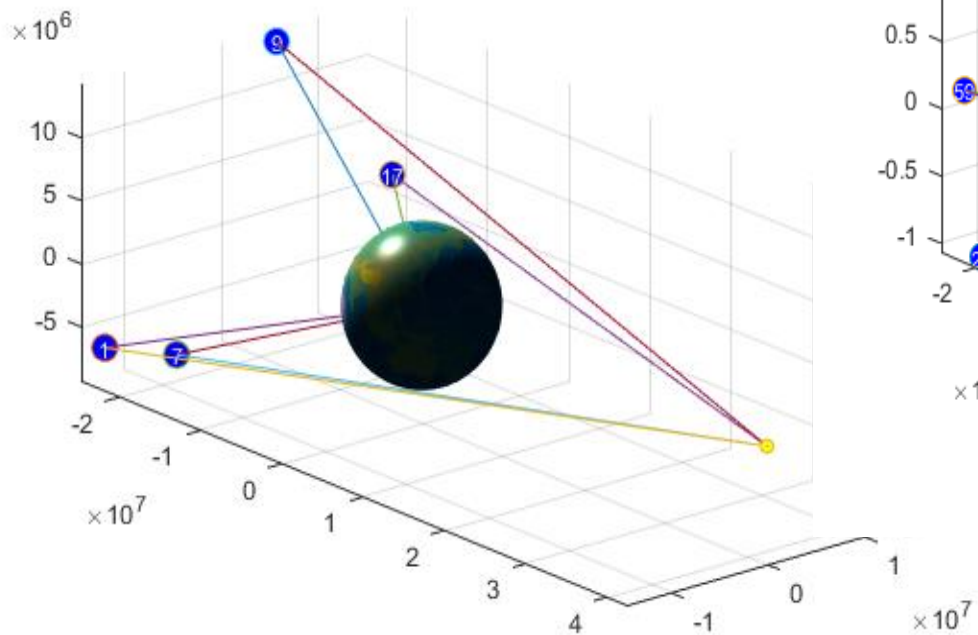


GPS, только основной лепесток, 4 спутника появляются редко (157 из 1440). GDOP меньше 200 в 47 случаях

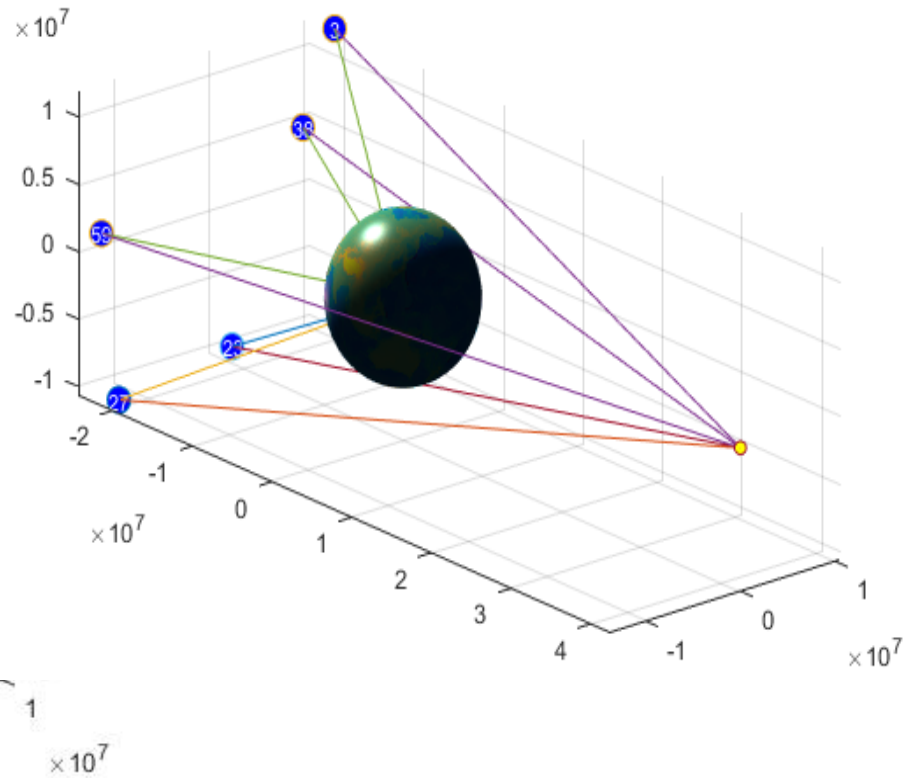


GPS + ПЛОНАСС, только основной лепесток, 4 спутника появляются (451 из 1440). GDOP меньше 200 в 162 случаях

Конфигурация геометрии GPS и GPS + ГЛОНАСС

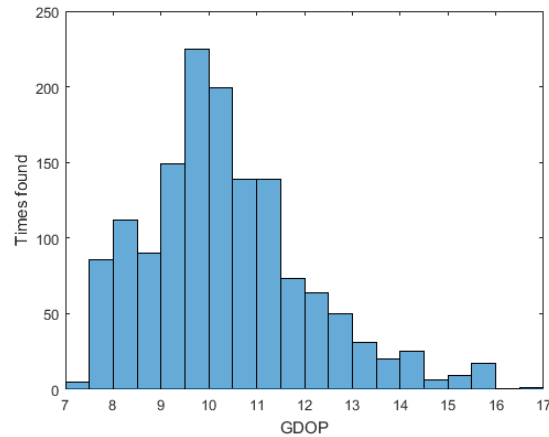
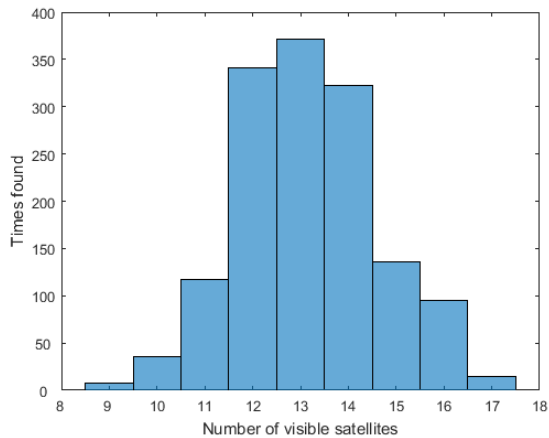


GPS

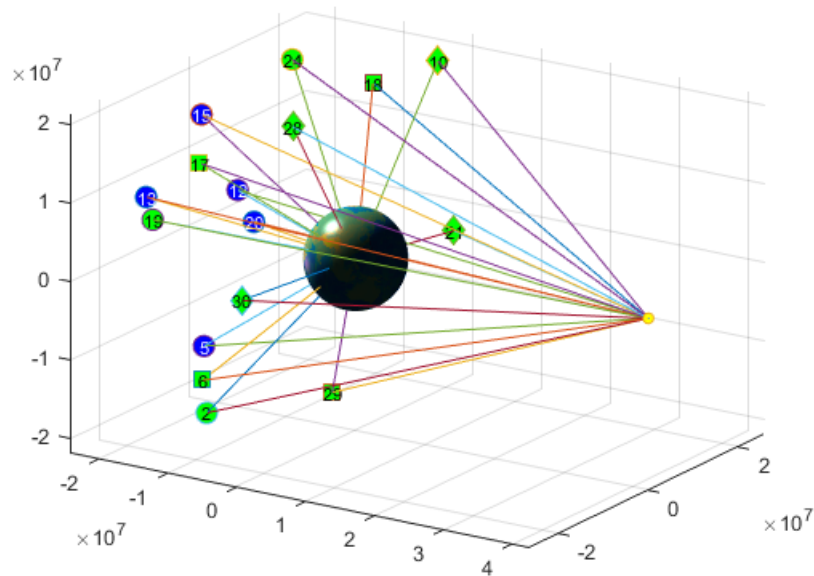


GPS + ГЛОНАСС

ОСНОВНОЙ И БОКОВЫЕ ЛЕПЕСТКИ GPS



GDOP лежит в
пределах
от 7.0244 до 16.9303





**Спасибо за
внимание!**