

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри, д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ В.Ю. Ларін

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»**  
**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**  
**«СИСТЕМИ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ»**

**Тема: «Методи аналізу даних для оцінки якості навігаційних визначень»**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **Е.В. Тараненко**

**Керівник: к.т.н., доцент** \_\_\_\_\_ **О.С. Погурельський**

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ **Т.Ф. Шмельова**

**Київ - 2021**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**  
**National Aviation University**  
**Faculty of Air Navigation, Electronics and Telecommunications**  
**Air Navigation Systems Department**

**PERMISSION FOR DEFENCE**

Head of the Department

Doctor of Sciences (Engineering)

\_\_\_\_\_ V. Yu. Larin

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021

**MASTER'S THESIS**  
**ON THE EDUCATIONAL PROFESSIONAL PROGRAM**  
**“SYSTEMS OF AIR NAVIGATION SERVICE”**  
**(EXPLANATORY NOTE)**

**Theme: «Methods of data analyzing for estimation accuracy  
of navigation measurements»**

**Performed by:** \_\_\_\_\_ **E. Taranenko**

**Supervisor:** \_\_\_\_\_ **O. Pogurelsky**

**Standard inspector:** \_\_\_\_\_ **T. Shmelova**

**Kyiv - 2021**

## НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра аеронавігаційних систем  
Освітня ступінь «Магістр»  
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»  
Освітньо-професійна програма «Системи аеронавігаційного обслуговування»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_В.Ю. Ларін

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2021 р.

### ЗАВДАННЯ

**на виконання дипломної роботи**

**Тараненко Ельдара Валерійовича**

1. Тема дипломної роботи: «Методи аналізу даних для оцінки якості навігаційних визначень» затверджена наказом ректора № 2339/ст від 22.10.2021.

2. Термін виконання роботи: 25.10.2021 - 27.12.2021.

3. Вихідні дані до дипломної роботи: керівництва користувачів до обладнання лабораторії супутникової навігації кафедри аеронавігаційних систем, комплекси програмного забезпечення для обробки даних ГНСС розробки лабораторії супутникових навігаційних систем, інтерфейсні контрольні документи ГНСС.

4. Зміст пояснювальної записки: Пояснювальна записка містить чотири розділи, оформлені за встановленими вимогами. В першому розділі роботи виконується огляд проблематики навігаційних визначень та обробки даних різними методами. В другому розділі формулюється технічне завдання на дипломну роботу, визначаються очікувані наукові результати від її виконання. В третьому розділі розглядаються питання статистичної обробки даних,

розробляється алгоритм запису експериментальних даних за допомогою приймального обладнання, створюється методика налаштування приймача на запис необхідних повідомлень, розробляється алгоритм застосування спеціальних програмних інструментів для обробки масивів експериментальних даних. В четвертому розділі наводяться результати обробки експериментальних даних для дослідження точності навігаційних систем в різних режимах роботи. Результати аналізуються.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунки у відповідних розділах пояснювальної записки, блок-схеми, графіки, таблиці, графічні результати моделювань та візуалізацій Слайди презентації до захисту дипломної роботи.

6. Календарний план-графік роботи.

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	2	3	4
1	Попередній аналіз проблеми, підготовка та написання 1 розділу «Основи навігаційних визначень та обробки експериментальних даних»	25.10.21 – 31.10.21	
2	Формулювання цілей та завдань дослідження, написання 2 розділу «Технічне завдання »	1.11.21 – 4.11.21	
3	Апробація алгоритмів одержання вхідних даних та їх обробки, написання 3 розділу «Статистична обробка експериментальних даних навігаційних визначень»	5.11.21 – 20.11.21	

1	2	3	4
4	Проведення комплексу експериментальних досліджень, написання 4 розділу «Результати обробки експериментальних даних точності навігаційних систем»	21.11.21 – 11.12.21	
5	Підготовка доповіді та презентаційних матеріалів, захист дипломної роботи	12.12.21 – 27.12.21	

Дата видачі завдання 25.10. 2021 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Погурельський Олексій Сергійович

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Тараненко Ельдар Валерійович

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Методи аналізу даних для оцінки якості навігаційних визначень» містить 90 сторінок, 75 рисунків, 4 таблиці, 36 використаних джерела, 1 додаток.

*Об'єкт дослідження* – Глобальна навігаційна супутникова система.

*Предмет дослідження* – комп'ютерні моделі в середовищі MatLab на основі вхідних даних, одержаних експериментальним шляхом.

*Мета роботи* – узагальнення даних про методи оцінки даних, які використовуються для оцінки якості навігаційних визначень.

*Методи дослідження* – математичне та комп'ютерне моделювання, статистичне оцінювання.

Дипломна робота присвячена питанням застосування методів статистичної обробки даних до результатів оцінки координат, які можуть бути одержані за допомогою приймального обладнання.

Описуються алгоритми одержання масивів експериментальних даних та порядок застосування програмних інструментів для проведення статистичної обробки.

Наводяться одержані результати обробки у вигляді основних статистичних оцінок та графічних результатів статистичної обробки.

**СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА, СТАТИСТИЧНІ ОЦІНКИ, ТОЧНІСТЬ, ПОМИЛКИ, МОДЕЛЮВАННЯ.**

**ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....</b>	<b>10</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>11</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ ТА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ .....</b>	<b>13</b>
1.1 Навігаційні визначення .....	13
1.2 Обробка даних .....	18
1.3 Методи аналізу та обробки даних .....	19
1.3.1 Кластерний аналіз.....	19
1.3.2 Факторний аналіз.....	21
1.3.3 Нейронні мережі .....	21
1.3.4 Регресійний аналіз .....	23
1.3.5 Дискримінантний аналіз.....	24
1.3.6 Кореляційний аналіз .....	24
1.3.7 Статистичні методи .....	24
Висновки до розділу 1.....	26
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Найменування дипломної роботи.....	27
2.2 Підстава для проведення дипломної роботи.....	27
2.3 Мета і призначення роботи .....	27
2.4 Вихідні дані для проведення роботи .....	27
2.5 Очікувані наукові результати і порядок їхньої реалізації.....	28
2.6 Вимоги до виконання роботи .....	29
2.7 Етапи та строки виконання роботи .....	29
<b>РОЗДІЛ 3 СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>33</b>
3.1 Генеральна і вибіркова сукупність навігаційних оцінок.....	33



3.2 Статистичний закон розподілу навігаційних оцінок .....	35
3.3 Емпірична функція розподілу.....	36
3.4 Алгоритм запису експериментальних даних за допомогою обладнання лабораторії супутникових систем навігації .....	38
3.5 Методика налаштування приймача і запису навігаційних даних при роботі з даними Galileo .....	42
3.6 Алгоритм застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних.....	44
Висновки до розділу 3.....	49
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТОЧНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>51</b>
4.1 Повідомлення BESTPOS .....	51
4.2 Програмне забезпечення декодування та обробки повідомлень BESTPOS.....	53
4.3 Результати експериментальних досліджень точності системи Galileo .....	56
4.4 Результати експериментальних досліджень точності систем GPS та ГЛОНАСС при одно- та мультисистемному режимі обробки .....	66
Висновки до розділу 4.....	85
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>86</b>
<b>Перелік посилань .....</b>	<b>90</b>
<b>ДОДАТОК А .....</b>	<b>93</b>

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГНСС	Глобальна навігаційна супутникова система
ГЛОНАСС	Глобальна Навігаційна Супутникова Система розробки Російської Федерації
GPS	Global Positioning System
НС	Навігаційний супутник
ПК	Персональний комп'ютер
ПЗ	Програмне забезпечення
США	Сполучені Штати Америки
ШСЗ	Штучний супутник Землі

## ВСТУП

Основною функцією навігаційних систем є забезпечення користувачів інформацією про їх координати розташування в певній системі відліку або системі координат. Під впливом різних факторів визначення координат користувача в реальних умовах відбувається з помилками, що впливає на таку характеристику навігаційної системи як точність.

З іншої сторони дані навігаційних систем застосовуються в найрізноманітніших сферах і галузях включно з транспортною, де їх дані пов'язані з безпекою перевезень вантажів і здоров'ям людей, а отже вимагають до себе особливої уваги.

Для оцінювання точності визначення координат за даними супутникових навігаційних систем можна провести дослідження яке полягатиме в порівнянні оцінок масивів оцінок координат антени, одержаних за результатами виконаних вимірювань з відомою точкою розташування антени – тобто точними координатами. Такий експеримент дозволяє одержати вибірки абсолютних помилок визначення координат за даними системи яка досліджується. Ця вибірка може бути візуалізована у вигляді зміни помилки в часі, а може бути оброблена для одержання так званих статистичних оцінок точності.

В запланованому дисертаційному дослідженні передбачається комплексний розгляд теоретичних засад застосування елементів математичної статистики до даних навігаційних визначень, одержаних експериментальним шляхом. Для одержання експериментальних даних застосовуватиметься обладнання лабораторії супутникових навігаційних систем кафедри аеронавігаційних систем, для якого необхідно розробити відповідний алгоритм налаштування і запису необхідних навігаційних повідомлень.

Статистичну обробку одержаних вибірок доцільно виконати із використанням спеціальних програмних інструментів, які мають бути описані у відповідних розділах роботи.

Результати статистичної обробки масивів даних із зафіксованими помилками визначення координат можуть бути використанні для одержання інформації про точнісні характеристики різних систем, задіяні при одержанні вхідних даних. Точнісні характеристики різних систем дозволять виконати порівняння між собою тріьох діючих супутникових навігаційних систем (наразі це – GPS, ГЛОНАСС та Galileo), а також різних режимів роботи приймального обладнання (наприклад при одно- та мультисистемній обробці даних).

## РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ ТА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

В першому розділі роботи виконується огляд загальних питань, пов'язаних з видами навігації і основами навігаційних визначень. Формулюються визначення даних, розглядаються типи і методи їх обробки та аналізу.

### 1.1 Навігаційні визначення

Всі визначення в навігації спрямовані на те, щоб керувати транспортним засобом і своєчасно та безпечно скорегувати його рух до цілі, на всіх його стадіях з розрахунками для маневрування.

Способи вибору шляху транспортного об'єкта за властивими йому методами пересування в просторі, напрямком, визначенням місця його розташування, розрахунок його маршрутизації, вибір оптимального шляху проходження об'єкта в просторі - використовуються у водному, наземно-повітряному й повітряному середовищах та космічному просторі.

Отже, навігаційними визначеннями вважаються: координати, вимір напрямку та відстані, шляхи вибору та відображення курсу на карті, вирахування шляху об'єкта, дані про його положення в просторі відносно його меж, небесних, наземних та підводних його орієнтирів, а також оцінка похибки навігаційних приладів.

На даний момент, саме визначення навігації має, дещо, ширше застосування (враховуючи кількість сфер її застосування) і є просто процесом керування деякого об'єкту, який має властиві йому методи пересування в просторі. Розглянемо дві точні, наявні складові навігаційних визначень:

- теоретичне обґрунтування й практичне застосування методів керування об'єктом
- маршрутизація (її вид - маршрутизація в інформаційних мережах), вибір оптимального шляху проходження об'єкта в просторі.

Деякі з видів навігації мають такі ж самі визначення, але обмежені в їх кількості або обумовлені конкретними специфічними змінними.

Повертаючись до основного напрямку мого освітнього рівня, теми диплому та самої спеціалізації, в своїй роботі, я виділив, лише, такі види навігації:

*Повітряна навігація* - прикладна наука про точне, безпечному водінні в повітрі літальних апаратів; на ранніх етапах розвитку іменувалася «Аеронавігація» (дисципліна, яка вчить, як можна визначити напрямок польоту аероплана або дирижабля, не користуючись картою);

*Аеронавігація* - керування рухом повітряного літального апарата

*Космічна навігація* - управління рухом космічного літального апарата; включає в себе підвид - Астроінерціальна навігація - метод навігації космічного літального апарату, що комбінує засоби інерціальної системи навігації та астрономічної навігації

*Астрономічна навігація* - метод визначення координат суден і літальних апаратів, заснований на використанні радіовипромінювання або світлового випромінювання небесних світил

*Інерційна навігація* - метод визначення параметрів руху й координат об'єкта, що не потребує зовнішніх орієнтирів або сигналів

*Інформаційна навігація* – організація ефективного пошуку науково-технічних знань та відомостей в океані, сформованому друкованими, електронними та іншими видами інформаційних джерел.

*Морська навігація* - основний розділ судноводіння, який присвячений методам скеровування судів з порту відправки до порту прибуття за сформованим маршрутом з урахуванням вимог безпечного судноводіння.

*Радіонавігація* – сукупність методів забезпечення користувачів інформацією про їх відносне або абсолютне місце розташування і орієнтацію в просторі із використанням радіотехнічних засобів.

9. Супутникова навігація - практичне застосування засобів GPS / ГЛОНАСС для визначення місцезнаходження та напрямку руху

Незалежно від сфери застосування всі навігаційні системи мають відповідати основним вимогам:

- A. Цілісність
- B. Безперервність роботи
- C. Точність визначення швидкості пересування об'єкта, часу і координат місцезнаходження
- D. Організаційна, просторова й тимчасова доступність.

В результаті виконання операцій з розрахунку координат користувача для будь-яких типів застосувань відбувається накопичення даних, які в свою чергу можуть бути оброблені із застосуванням різних методів з метою одержання їх кількісних та якісних характеристик. Встановимо основні визначення.

Згідно [1] *даними* прийнято називати представлення фактів у формалізованому вигляді, який придатний для передачі та обробки в рамках певного інформаційного процесу. Протилежними до даних виступають змінні величини, які не мають фіксованих значень, як це притаманно даним, які вже є зареєстрованими. Дані можуть розглядатися як записані спостереження (наприклад, дальності до навігаційних супутників), які не використовуються, а поки що лише зберігаються.

Якщо дані орієнтовані на їх розуміння людиною при їх сприйнятті або після певних перетворень, то вони містять в собі інформацію. Втім можлива ситуація, коли дані не містять інформацію, яка принаймні на поточний момент часу доступна людині. Людина не здатна знаходити інформацію в усіх доступних даних. Наприклад, кодування інформації робить її недоступною для усіх, хто не має ключа до її декодування. Шифротекст містить інформацію, проте вона є недоступною.

Уявлення про дані можуть різнитися в залежності від предметної області. З точки зору програмістів даними виступають частини програми, сукупність значень певних комірок пам'яті, перетворення яких здійснює програмний код. З точки зору компілятора, процесора, операційної системи це сукупність комірок пам'яті, які володіють певними властивостями (як то можливість зчитування або запису). Контроль за доступом до даних в сучасних ПК здійснюється апаратно. У відповідності з принципом фон Неймана одна й та сама область пам'яті може виступати як в якості даних, так і в якості коду що виконується.

Дані, які можуть бути одержані за допомогою навігаційних приймачів можуть бути записані в *бінарному форматі*. Такі дані можуть бути оброблені лише спеціалізованим ПЗ, в якому врахована їх структура, всі інші програми передають їх без змін. Інший варіант – це *текстові дані*, наприклад альманах системи в форматі Yuma, який в такому вигляді доступний до прочитання людиною. Текстові дані в загальному випадку сприймаються передавальними системами як текст, записаний певною мовою. Для них може здійснюватися перекодування (з коду початкового формату в код кінцевого). Це виконується при конвертації текстових альманахів з одного формату в інший. При цьому частково або повністю можуть замінятися символи перенесення строки, максимальна довжина строки, змінюватись кількість пробілів.

Передача текстових даних, як бінарних, призводить до необхідності змінювати кодування в прикладному ПЗ, в той час як передача бінарних даних як текстових може призвести до їх незворотного пошкодження.

Історично виникла необхідність збору даних про кількість жителів країн, їх розподіл по статі, роду занять, наявності або відсутності певного майна. Такі та подібні до них дані називають статистичними і під ними зазвичай розуміють сукупність кількісних характеристик соціально-економічних явищ та процесів, одержані в результаті статистичних спостережень, їх обробки або відповідних розрахунків. З часом виникла потреба аналізу статистичних даних, їх прогнозування, обробки, оцінки достовірності, які основані на аналізі



висновків, тощо. Таким чином в математиці сформувалась нова область – *математична статистика*, яка вивчає загальні закономірності статистичних даних та взаємозв'язки між ними. Сфера застосувань математичної статистики розповсюдилась на інші науки, в першу чергу експериментальні. Так з'явилась економічна статистика, медична статистика, біологічна статистика, статистична фізика, тощо.

З появою ПК, які здатні виконувати велику кількість розрахункових операцій в одиницю часу можливість застосування математичної статистики в різних сферах діяльності людини невпинно зростає.

В теперішній час під терміном «статистичні дані» розуміють всі зібрані відомості, які в подальшому підлягають статистичній обробці. В різних літературних джерелах їх ще називають: змінні, варіанти, величини, тощо. Всі статистичні дані можна поділити на:

- *якісні*, до яких не застосовуються вимірювання і які інформують лише на рівні є/немає, більше/менше, сильно/слабо;
- *і кількісні*, які можна виміряти і представити у числовому і вигляді;
- *точні*, величина або якість яких не викликають сумніву;
- *наближені*, величина, або якість яких викликають сумнів.

В [2] наведено наступний поділ даних на типи:

- числові дані;
- інтервальні дані;
- рангові дані;
- номінальні дані.

Зазначається, що всі дані, які підпадають під один з цих типів, можуть бути проаналізовані за допомогою формальних методів. А будь-який набір даних може бути адекватно представлений комбінацією перерахованих вище типів.

## 1.2 Обробка даних

Інформаційні технології передбачають обробку даних за допомогою різних методів. Типові цілі обробки даних:

- збір усієї доступної інформації, представленої в даних різної природи;
- відокремити суттєву інформацію, представлену даними, від несуттєвої для розгляду в даний момент;
- надати суттєву інформацію у вигляді, найбільш зручному для сприйняття людиною.

При цьому обробка даних включає наступні операції:

- введення (збір) даних – накопичення даних з метою забезпечення довгострокової повноти для прийняття рішень. При цьому введення даних в різні інформаційні системи поділяється на автоматичне введення даних і ручне;
- формалізація даних – приведення даних, що поступають з різних джерел, до однакової форми, з метою підвищення їх доступності;
- фільтрація даних – це відсіювання «зайвих» даних, в яких немає необхідності для підвищення достовірності та адекватності;
- сортування даних – це впорядкування даних за заданою ознакою з метою зручності використання;
- архівація – це організація зберігання даних в зручній та загальнодоступній формі, в тому числі:
  - довгострокове зберігання даних;
  - надійність зберігання даних;
  - облік та інвентаризація даних;
- захист даних – включає дії, спрямовані на недопущення втрати, несанкціонованого відтворення та модифікації даних, контролю доступу до даних;
- транспортування даних – прийом та передача даних між учасниками інформаційного процесу;

- перетворення даних – це переведення даних з однієї форми в іншу або з однієї структури до іншої;
- представлення даних:
  - текстове представлення даних;
  - табличне представлення даних;
  - графічне представлення даних;
  - візуальне представлення даних;
  - формати представлення даних в різних інформаційних системах.

### **1.3 Методи аналізу та обробки даних**

#### ***1.3.1 Кластерний аналіз***

Термін «кластерний аналіз» (вперше введений Трюон в 1939 р.) в дійсності включає в себе набір різних алгоритмів класифікації. Загальне питання, яке підлягає вирішенню при використанні цього методу в різних областях в тому, як саме розбити дані на групи з близькими значеннями параметрів.

Наприклад, при сегментації ринку можна кластеризувати користувачів по двох параметрах – ціні та якості. На основі обраних параметрів будується діаграма, яка має може мати вигляд, як на рис. 1.1, з якої можуть бути виокремлені певні групи користувачів.

Одержана інформація використовується для визначення за рахунок яких закономірностей певні дані відносяться до тої чи іншої групи (кластера). Але найчастіше в реальних випадках кластери не є настільки очевидними, тому частіше зустрічаються випадки, коли всі результуючі параметри змішані разом, як це має місце на рис. 1.2

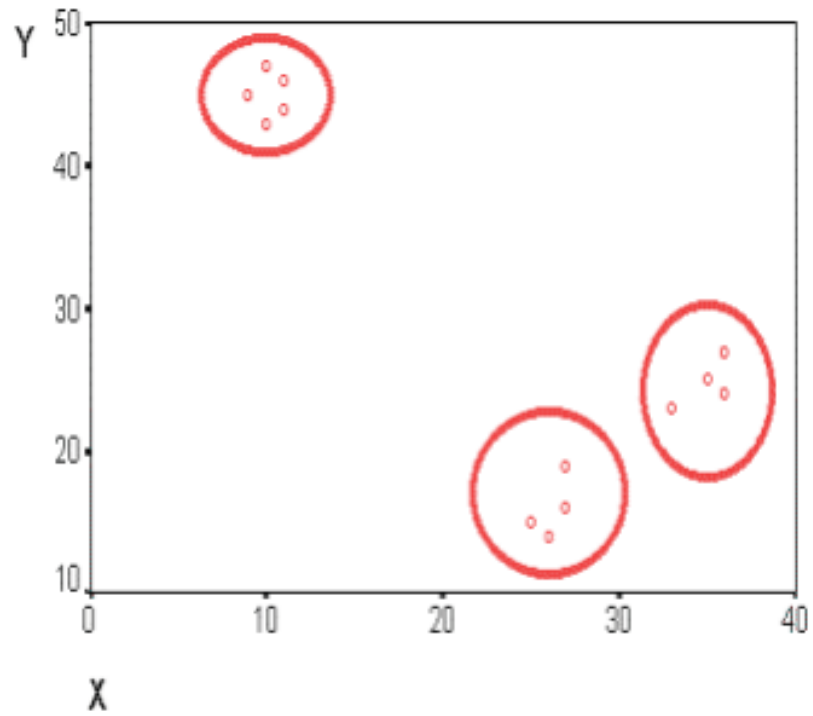


Рисунок. 1.1 – Приклад діаграма, побудованої по результатам кластерного аналізу.

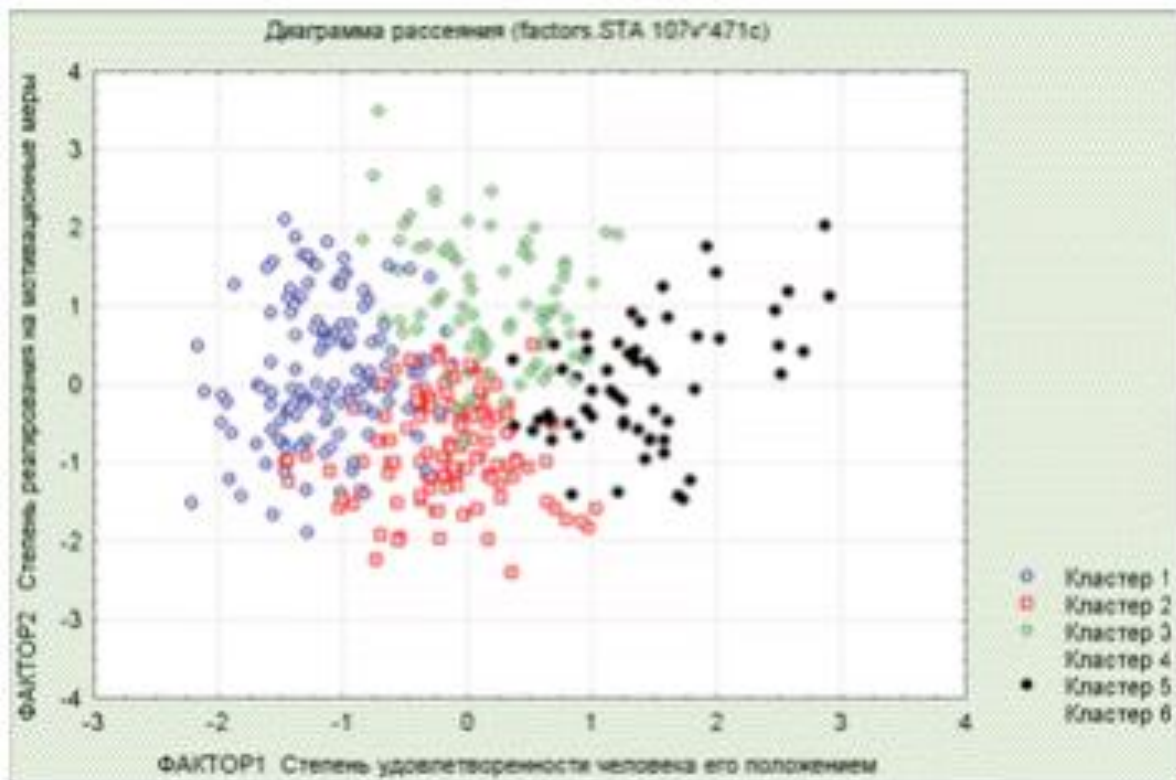


Рисунок 1.2 – Діаграма розсіяння

Особливо часто такий результат зустрічається, коли кількість параметрів, які аналізуються не два, а кілька десятків (оскільки кластерний аналіз не обмежує кількість параметрів, які аналізуються, тому можна розглядати всю задачу аналізу комплексно). В такому випадку виокремити кластери дозволяє застосування алгоритмів кластерного аналізу.

Для проведення кластерного аналізу, окрім збору даних, необхідно визначити дві речі: на яку кількість кластерів необхідно розділити дані і яким чином визначити міру подібності в даних. Існує багато різних мір подібності, найбільш вживаними з яких є біля десяти.

### ***1.3.2 Факторний аналіз.***

У випадку великої кількості параметрів (більше 100) доречним є згрупувати параметри та аналізувати вже не кожен параметр окремо, а групи параметрів як єдиний комплексний параметр (фактор).

В основі факторного аналізу лежить ідея про те, що за складними взаємозв'язками явно заданих ознак стоїть відносно більш проста структура, яка відображає найбільш суттєві риси досліджуваного явища, а зовнішні ознаки є функціями прихованих загальних факторів, які визначають цю структуру.

Специфікою методу є те, що при об'єднанні параметрів у фактори кожен фактор акумулює в собі загальні закономірності в усіх параметрах, відкидаючи особливості кожного параметра окремо.

### ***1.3.3 Нейронні мережі***

Початок нейронним мережам як інструменту аналізу даних було закладено на початку 40-х років в роботі []. В ній пропонувалась модель штучного нейрона.

Припускалось, що моделюючи нейронну структуру мозку, можливо наблизитись до штучного інтелекту. До того часу, вже було відомо, що мозок

людини складається з особливих біологічних клітин – нейронів, і здавалося, що побудова мереж з нейронів дозволить розв'язувати складні задачі, подібно тому як це робить щоденно мозок людини.

З тих пір цікавість до нейронних мереж періодично то зростала, то спадала, що обумовлювалось новими розробками в цій області, і зараз нейронні мережі є одним з достатньо популярних інструментів аналізу даних.

Нейронні мережі можуть знаходити застосування практично в будь-якій області діяльності, що робить їх надзвичайно привабливими для дослідників.

Перелік задач для нейронних мереж можна класифікувати наступним чином:

#### *Класифікація образів.*

До відомих застосувань відносяться розпізнання літер, номерних знаків авто, мовлення, класифікація сигналів електрокардіограми, класифікація клітин крові, забезпечення функціонування біометричних сканерів, тощо.

#### *Кластеризація / категоризація.*

Кластеризація застосовується для здобуття знань, архівування даних та дослідження властивостей даних.

#### *Апроксимація функцій.*

Типовим прикладом є придушення завад під час прийому сигналів різної природи незалежно від інформації, яка передається.

#### *Передбачення / прогноз.*

В якості прикладу можна навести прогнозування метеоумов, погоди, або впливу інших чинників.

#### *Асоціативна пам'ять.*

Асоціативна пам'ять доступна по зазначенню заданого змісту. Зміст пам'яті може бути викликаний навіть по частковому входу або викривленому

змісту. Асоціативна пам'ять може знайти застосування при створенні мультимедійних інформаційних баз даних.

#### *Управління.*

Прикладом є оптимальне управління двигуном, управління кермом на судах, літаках.

### **1.3.4 Регресійний аналіз**

Основною метою регресійного аналізу є визначення наявності і характеру зв'язку між змінними (в найбільш простому випадку будується залежність  $y(x)$  виходячи з приблизної форми кривої).

Приклад побудованої кривої такого аналізу наведено на рис. 1.3

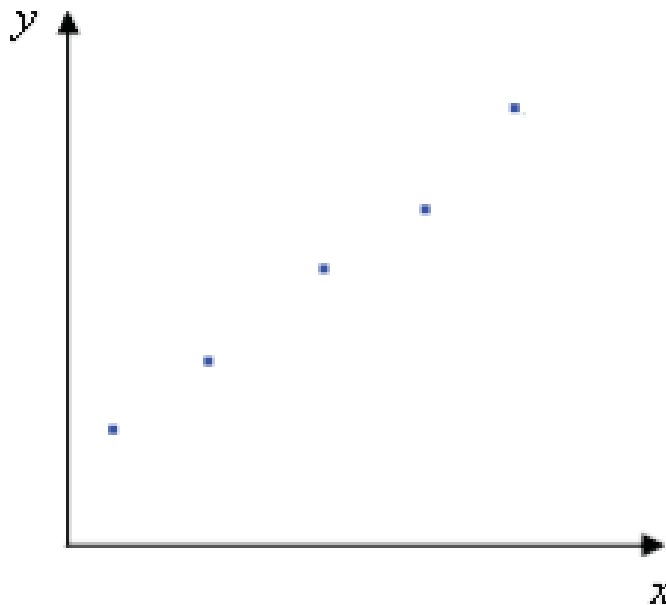


Рисунок 1.3 – Приклад графік залежності на основі регресійного аналізу

Дивлячись на характер кривої на рис. 1.3 очевидним є висновок, що це пряма, однак точні її параметри дозволяє встановити саме регресійний аналіз. Регресійний аналіз широко використовується в офісному пакеті Excel, який надає можливість досліджувати не лише лінійні але й інші, більш складні залежності.

### ***1.3.5 Дискримінантний аналіз***

Дискримінантний аналіз - це інструмент статистики, який використовується для прийняття рішень про те, які зміни розділяють набори отриманих даних. Дискримінантний аналіз дозволяє виявити, чи дійсно групи відрізняються між собою, і якщо так, то яким чином (які змінні вносять найбільший вклад в наявні відмінності).

### ***1.3.6 Кореляційний аналіз***

Кореляційний аналіз дозволяє судити про те, наскільки схоже ведуть себе різні змінні. В самому загальному вигляді прийняття гіпотези про наявність кореляції означає, що зміна значення змінної А відбудеться одночасно з пропорційною зміною Б; якщо обидві змінні зростають, то кореляція позитивна, якщо одна зі змінних зростає, а інша зменшується, то кореляція від'ємна.

При дослідженні кореляцій намагаються встановити, чи існує який-небудь зв'язок між показниками в одній виборці і якщо він виявляється, то чи характеризується цей зв'язок позитивною кореляцією, чи можливо описується від'ємною кореляцією.

### ***1.3.5 Статистичні методи***

Статистичні методи – це методи аналізу статистичних даних. Виділяють методи прикладної статистики, які можуть застосовуватись в усіх сферах наукових досліджень та інші статистичні методи, застосування яких обмежене тією чи іншою галуззю. Маються на увазі такі методи, як статистичне регулювання технологічних процесів, надійність і випробовування, планування експериментів.

Існують дві основних групи статистичних методів: методи статистичного спостереження і методи обробки і аналізу статистичних даних. Перші застосовуються для аналізу і прогнозу соціальних та економічних явищ і мають форму перепису, спостереження за звітністю, опитування. Другі передбачають



розрахунок середніх значень та оцінок розподілу, застосування графічного методу, тощо. Статистичний метод обробки і аналізу даних, одержаних експериментальним шляхом буде застосований в експериментальній частині дипломної роботи

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

В першому розділі на основі інформації з різних науково-технічних джерел зроблено огляд видів навігаційних систем, які можуть бути джерелами даних про просторові координати користувача та його орієнтацію.

Ця інформація представляє собою дані. У виконаному огляді розглянуто різні існуючі типи даних і відповідних методів, які можуть бути застосовані до їх обробки для одержання додаткової інформації про характеристики системи яка досліджується.

До масивів числових даних доцільно застосовувати статистичні методи обробки, що пропонується більш детально розглянути і застосувати в наступних розділах роботи.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

#### 2.1. Найменування дипломної роботи

Методи аналізу даних для оцінки якості навігаційних визначень.

#### 2.2. Підстава для проведення дипломної роботи

- Наказ ректора про затвердження тем та керівників дипломних робіт № 2339/ст від 22.10.2021.

#### 2.3. Мета і призначення роботи

##### 2.3.1. Мета роботи

Метою роботи є узагальнення даних про методи оцінки даних, які використовуються для оцінки якості навігаційних визначень.

##### 2.3.2. Призначення роботи

Робота призначена для аналітичного огляду основ обробки даних навігаційних визначень з метою одержання точнісних характеристик роботи різних супутникових систем та їх комбінацій і режимів обробки даних.

#### 2.4. Вихідні дані для проведення роботи

Дипломна робота за поставленим завданням виконується вперше з використанням наявного науково-технічного наробку лабораторії супутникових навігаційних систем кафедри аеронавігаційних систем в області розробки та дослідження комп'ютерних моделей. Використовується досвід наукового колективу лабораторії, опублікований в наступних роботах:

1. V. Kharchenko, V. Konin, O. Pogurelsky, and E. Stativa. Experimental estimation of GNSS performances at the National Aviation University. E3S Web Conf., 164 (2020) 03052 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016403052.0>.

2. Kharchenko V., Konin V., Pogurelskiy O. Hardware and Software Complex for Laboratory of Satellite Technologies //Logistics and Transport. – 2020. – Т. 45.

3. V.Konin, O.Pogurelskiy, A.Turovska Simulation and Estimation Parameters of Low Orbit Satellite Navigation System Proceedings 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 2021 p. 160-163

4. V.Konin, O.Pogurelskiy, I.Pryhodko, T.Maliutenko Methods for Research and Study GNSS in Remote Mode Proceedings 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 2021 p. 195-198

## **2.5. Очікувані наукові результати і порядок їхньої реалізації**

### **2.5.1. Очікувані наукові результати**

Внаслідок виконання роботи очікуються наступні наукові результати:

- огляд теоретичних засад обробки даних навігаційних визначень, одержаних експериментальним шляхом;
- алгоритм запису експериментальних даних за допомогою обладнання лабораторії супутникових систем навігації;
- алгоритм застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних;
- результати обробки даних для оцінки точності різних супутникових навігаційних систем.

### **2.5.2. Порядок реалізації наукових результатів**

Отримані наукові результати можуть бути використані:

- в подальшій науково-технічній та освітній діяльності лабораторії супутникових навігаційних систем кафедри аеронавігаційних систем;
- при постановці нових лабораторних робіт в дисциплінах «Аерокосмічні інформаційні технології», «Глобальні навігаційні супутникові системи».

## 2.6. Вимоги до виконання роботи

Дипломна робота виконується у відповідності до методичних рекомендацій до виконання магістерських дипломних робіт для студентів напряму підготовки 6.070102 «Аеронавігація» та ДСТУ 3973-2000 «СРПШВ. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення».

Пояснювальна записка оформлюється у відповідності до вимог ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки».

## 2.7 Етапи роботи і терміни їх виконання

Таблиця 2.1.

Етапи роботи	Зміст етапу	Терміни		Форма звітності (№ розділу роботи)
		Початок	Закінчення	
1	2	3	4	5
1. Вибір напряму дослідження та аналіз актуальності проблеми	Аналіз проблематики виконання навігаційних визначень	25.10.21	27.10.21	Підрозділ 1.1
	Аналіз проблематики обробки даних	28.10.21	29.10.21	Підрозділ 1.2
	Огляд існуючих методів аналізу та обробки даних	30.10.21	31.10.21	Підрозділ 1.3
	Формулювання висновків до першого розділу	1.11.21	2.11.21	Висновки до розділу1

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
2.Формулювання технічного завдання на виконання дипломної роботи	Визначення мети і вхідних даних для виконання роботи, очікуваних наукових результатів і порядку їх реалізації, ознайомлення з вимогами до виконання роботи, визначення етапів та строків їх виконання	3.11.21	12.11.21	Технічне завдання на виконання дипломної роботи
3. Розробка алгоритмічного забезпечення статистичної обробки експериментальних даних навігаційних визначень	Генеральна і вибіркова сукупність навігаційних оцінок  Статистичний закон розподілу навігаційних оцінок  Емпірична функція розподілу  Створення алгоритму запису експериментальних даних приймальним обладнанням	16.11.21  19.11.21  23.11.20  26.11.21	18.11.21  22.11.21  25.11.21  27.11.21	Підрозділ 3.1  Підрозділ 3.2  Підрозділ 3.3  Підрозділ 3.4

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
	<p>Розробка методики налаштування приймача і запису даних Galileo</p> <p>Розробка алгоритму застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних</p> <p>Формулювання висновків до третього розділу</p>	<p>28.11.21</p> <p>1.12.21</p> <p>4.12.21</p>	<p>30.11.21</p> <p>3.12.21</p> <p>5.12.21</p>	<p>Підрозділ 3.5</p> <p>Підрозділ 3.6</p> <p>Висновки до розділу 3.</p>
<p>4. Одержання результатів обробки експериментальних даних точності навігаційних систем</p>	<p>Опис структури повідомлення BESTPOS</p> <p>Апробація створеного програмного забезпечення декодування та обробки повідомлень BESTPOS</p> <p>Запис даних та експериментальне дослідження точності системи Galileo</p>	<p>6.12.21</p> <p>8.12.21</p> <p>10.12.21</p>	<p>7.12.21</p> <p>9.12.21</p> <p>11.12.21</p>	<p>Підрозділ 4.1</p> <p>Підрозділ 4.2</p> <p>Підрозділ 4.3</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
	Запис даних та експериментальне дослідження точності систем GPS та ГЛОНАСС при одно- та мультисистемному режимі обробки	12.12.21	13.12.21	Підрозділ 4.4
	Формулювання висновків по четвертому розділу	13.12.21	14.12.21	Висновки до розділу 4
	Формулювання загальних висновків	15.12.21	15.12.21	Загальні висновки



## **РОЗДІЛ 3. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ**

В розділі виконується опис і обґрунтування методу статистичної обробки, який буде застосований до даних навігаційних визначень в експериментальному розділі роботи.

### **3.1 Генеральна і вибіркова сукупність навігаційних оцінок**

Статистична обробка даних використовує елементи теорії ймовірності яка передбачає, що ймовірності настання окремих подій відомі. Вважаються відомими закони розподілу випадкових величин або їх числові характеристики. При виконанні навігаційних визначень за даними супутникових систем, або з використанням інших джерел навігаційної інформації накопичуваними даними, які можуть бути оброблені є помилки визначення координат. В загальному випадку ймовірності випадіння помилок та закони їх розподілу і параметри цих законів невідомі. Для їх визначення (оцінки) необхідно виконати експериментальне дослідження із застосуванням обладнання, встановленого в лабораторії супутникових навігаційних систем кафедри аеронавігаційних систем. Даний експеримент буде описано в наступному розділі роботи. На поточному етапі розглянемо теоретичні засади його проведення.

При обробці експериментальних даних статистичними методами основні поняття теорії ймовірностей виступають як деякі моделі реальних закономірностей.

Основою статистичних методів є експериментально одержані дані, наприклад, записи повідомлень з приймача, які містять оцінки його координат впродовж інтервалу запису.

Нехай для дослідження закономірностей випадкової величини помилки визначення координат розташування антени записано вимірювань, в результаті яких одержано ряд оцінок (спостережень)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Необхідно обробити одержаний ряд статистично.

Для цього на початку необхідно побудувати математичну модель ряду спостережень, тобто зазначити які величини випадкові, які не випадкові, які залежні, які не залежні, тощо.

Ставиться задача оцінити функцію розподілу  $F(x)$  досліджуваної випадкової величини (ВВ) (статистичної вибірки), тобто побудувати уточнену ймовірнісну модель ряду спостережень  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , яка б відображала на собі основні статистичні особливості цього ряду.

Найбільш точні відомості про випадкову величину  $X$  можна одержати, виконавши якнайбільшу кількість її вимірювань. Проте у випадку роботи з навігаційним обладнанням при виконанні експериментальної частини є обмеження в часі доступу до обладнання. Тому інтервали запису будуть обмежені – двома, трьома годинами. За цей інтервал часу в небі відбудеться зміна частини навігаційних супутників на нові, що дозволить одержати статистичні оцінки по точності роботи навігаційної системи без прив'язки до геометричного фактору і конкретних номерів супутників.

Генеральною сукупністю називається сукупність усіх можливих спостережень (оцінок), які могли би бути зроблені при даному реальному комплексі умов запису даних.

А вибірковою сукупністю або просто вибіркою об'єму  $n$  називається сукупність  $n$  оцінок, відібраних або записаних з досліджуваної генеральної сукупності.

Метод, який полягає в тому, що на основі характеристик і властивостей вибірки  $x_1, x_2, \dots, x_n$  робляться висновки про числові характеристики та закони розподілу випадкової величини  $X$  називається вибірковим методом.

Для того аби відомості про закони розподілу випадкової величини були об'єктивні, необхідно аби вибірка була доволі значною за об'ємом, тобто за тривалістю і кількістю одержаних навігаційних оцінок.

### 3.2 Статистичний закон розподілу навігаційних оцінок

Припустимо, що навігаційні оцінки, які одержуються є неперервною випадковою величиною, закон розподілу якої невідомий. Для оцінки закону розподілу навігаційних оцінок і його числових характеристик необхідно виконати ряд незалежних вимірювань  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Статистичний матеріал може бути представлений у вигляді таблиці, яка складається зі строк, в першій нехай будуть послідовні номери вимірювань, а в другій – самі результати виконаних вимірювань. Так таблиця представлятиме собою статистичний ряд.

Для того, аби правильно оцінити закон розподілу навігаційних оцінок, можна виконати групування даних. Краще це розглянути якщо замість навігаційних оцінок обробляються абсолютні помилки визначення кожної з координат. Отримані значення помилок розташовуються в порядку зростання і після цього підраховуються частоти  $m_i$  або  $m_i/n$  появи однакових значень випадкової величини помилки. В результаті будуть одержані згруповані статистичні ряди (табл. 3.1 та 3.2):

Таблиця 3.1

$x_i$	$x_1$	$x_2$	....	$x_k$
$m_i$	$m_1$	$m_2$	....	$m_k$

$$\text{Контроль: } \sum_{i=1}^k m_i = n .$$

Таблиця 3.2

$x_i$	$x_1$	$x_2$	.....	$x_n$
$m_i/n$	$m_1/n$	$m_2/n$	.....	$m_k/n$

$$\text{Контроль: } \sum_{i=1}^k m_i/n = 1 .$$

У тому випадку коли досліджується неперервна випадкова величина, як це відбувається з помилками визначення координат, групування полягає розбитті інтервалу спостереження значень помилки на  $k$  часткових інтервалів рівної довжини та підрахунку частоти попадань значень, які фіксувались в ці часткові інтервали. Кількість інтервалі обирається довільно, зазвичай не менше 5 і не більше 15.

В результаті складається інтервальний статистичний ряд наступного вигляду (табл. 3.3):

Таблиця 3.3

СВХ	$[x_0; x_1 [$	$[x_1; x_2 [$	....	$[x_{k-1}; x_k]$
$m_i/n$	$m_1/n$	$m_2/n$	....	$m_k/n$

$$\text{Контроль: } \sum_{i=1}^k m_i/n = 1.$$

Перелік оцінок помилки визначення координат (або інтервалів записаних даних) і частостей випадіннь  $m_i/n$  які їм відповідають називають статичним законом розподілу помилки (випадкової величини).

Статичні закони дозволяють візуально виконати оцінку закону розподілу величини, яка досліджується. В рамках цієї дипломної роботи – це навігаційна помилка визначення координат.

### 3.3 Емпірична функція розподілу

Емпіричною функцією розподілу випадкової величини  $X$  називають функцію  $F^*(x)$ , яка визначає для кожного значення  $x$  частість події ( $X < x$ ):

$$F^*(x) = n_x/n; \quad (3.1)$$

Де  $n_x$  – число  $x_i$ , менших  $x$ ;

$n$  – об'єм вибірки.

З теореми Бернуллі випливає, що при достатньо великому об'ємі вибірки функції  $F^*(x)$  та  $F(x) = P(X < x)$  мало відрізняються одна від одної.

Емпірична функція розподілу володіє всіма властивостями інтегральної функції розподілу:

- 1) Значення емпіричної функції  $F^*(x)$  належать відрізку  $[0,1]$ ;
- 2)  $F^*(x)$  – неспадна функція;
- 3) Якщо  $x_1$  - найменше, а  $x_n$  – найбільше із зафіксованих значень, то  $F^*(x) = 0$  при  $x < x_1$  та  $F^*(x) = 1$  при  $x > x_n$

Основне значення емпіричної функції розподілу полягає в тому, що вона використовується в якості оцінки функції розподілу  $F(x) = P(X < x)$ .

Приклад емпіричної функції розподілу наведено на рис. 3.1

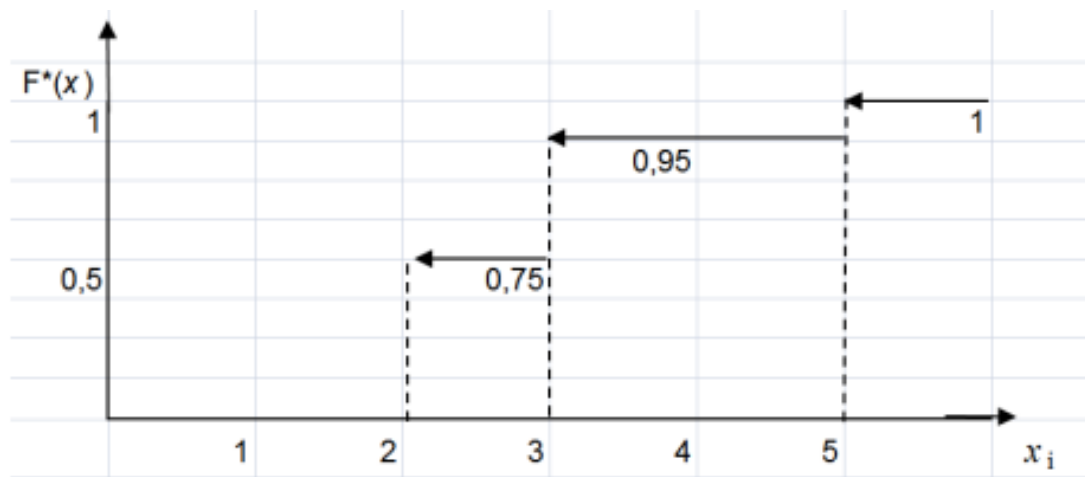


Рисунок 3.1 – Приклад емпіричної функції розподілу

Також розглянемо принцип побудови гістограми за прикладом, наведеним на рис. 3.2.

Для побудови гістограми на осі абсцис відкладаються часткові інтервали зафіксованих значень випадкової величини (в рамках запланованого дослідження – помилки визначення координат), на кожному з яких будуємо прямокутник, площа якого дорівнює частоті часткового інтервалу. Висота елементарного прямокутника частотей дорівнює  $t_i/nh$ , де  $h$  - довжина інтервалу.

Якщо в гістограмі частотей поєднати середини верхніх сторін прямокутників, то отримана замкнена ломана утворює полігон розподілу частотей.

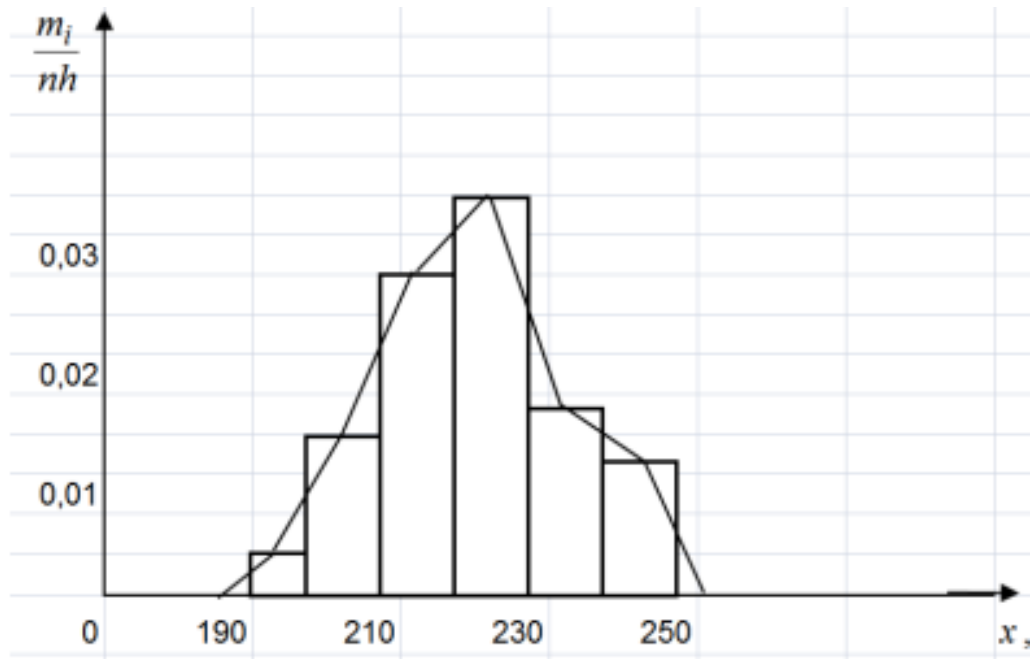


Рисунок 3.2 – Гістограма

### 3.4 Алгоритм запису експериментальних даних за допомогою обладнанням лабораторії супутникових систем

Важливою частиною запланованого в рамках дипломної роботи комплексу досліджень є одержання масивів експериментальних оцінок. Для цього необхідно використовувати спеціальне приймальне обладнання, яке має можливість запису навігаційних повідомлень, які поступають безпосередньо з супутників систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo, а також багатьох інших параметрів, які виробляються в процесі функціонування алгоритмів самої приймальної станції.

Всі ці дані можуть бути записані у вигляді спеціальних файлів у бінарному або текстовому форматах. Відмінності між цими двома форматами представлення даних були описані в розділі 1.

Одержання експериментальних даних для даної дипломної роботи стало можливим завдяки використанню робочого місця з доступом до інтерфейсу навігаційної станції, яке приведено на рис. 3.3.

Загальний вигляд робочої станції, яка використовувалась приведений на рис. 4.1

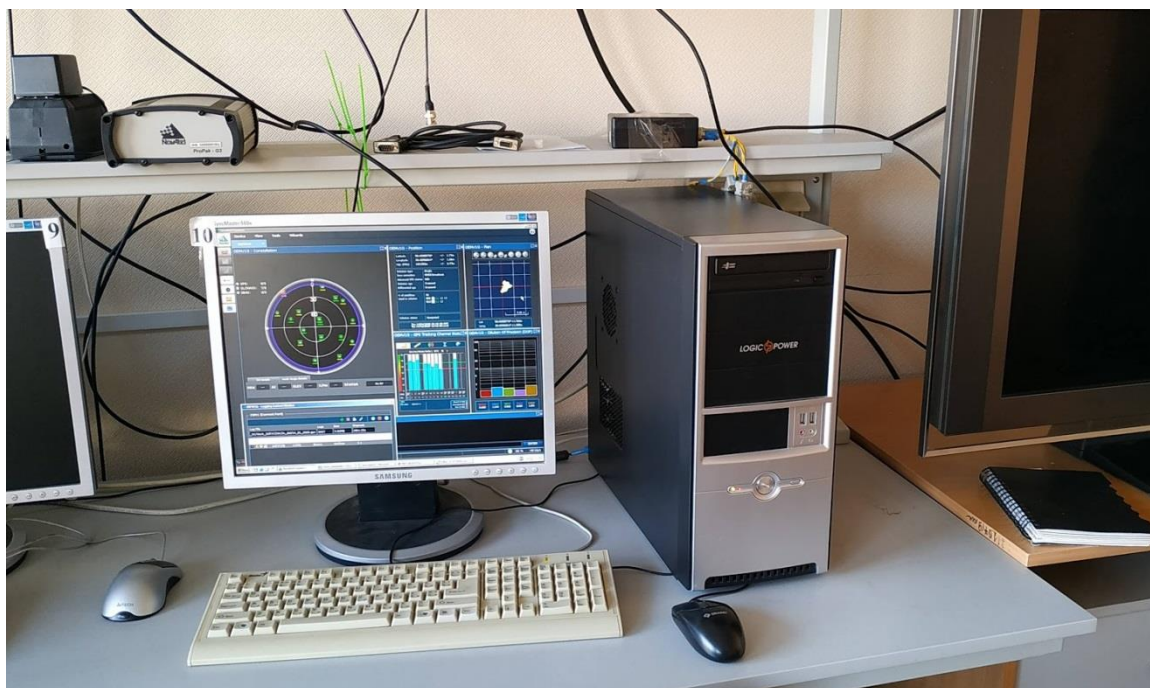


Рисунок 3.3 – Робоче місце для одержання масивів вхідних даних

Визначимо загальний алгоритм, за яким необхідно здійснювати запис вхідних даних за допомогою наявного приймального обладнання та інтерфейсу доступу до функцій запису.

Для налаштування параметрів запису в загальному випадку всього комплексу досліджень використовується програмний інтерфейс Novatel Connect, зображений на рис. 3.4.

За допомогою даного інтерфейсу здійснюється вибір типу навігаційного повідомлення, яке необхідно записати і яке містить розраховану позицію антени – в частині досліджень це буде повідомлення BESTPOS.

При цьому для одержання оцінки координат приймач може працювати в різних режимах, які є можливість налаштувати і регулювати. Так наприклад в дослідженні точності односистемної роботи необхідно включити такий режим, коли обробляються лише дані GPS або лише дані ГЛОНАСС.

Оскільки саме на цьому приймачі відсутня можливість запису даних Galileo, то вони будуть одержані з іншого приймача за схожим алгоритмом, описаним в наступному підрозділі.

Також можна налаштувати приймач на роботу одночасно двох систем і при цьому здійснювати запис того самого повідомлення BESTPOS – це будуть вхідні дані для статистичної оцінки роботи мультисистемного режиму функціонування.

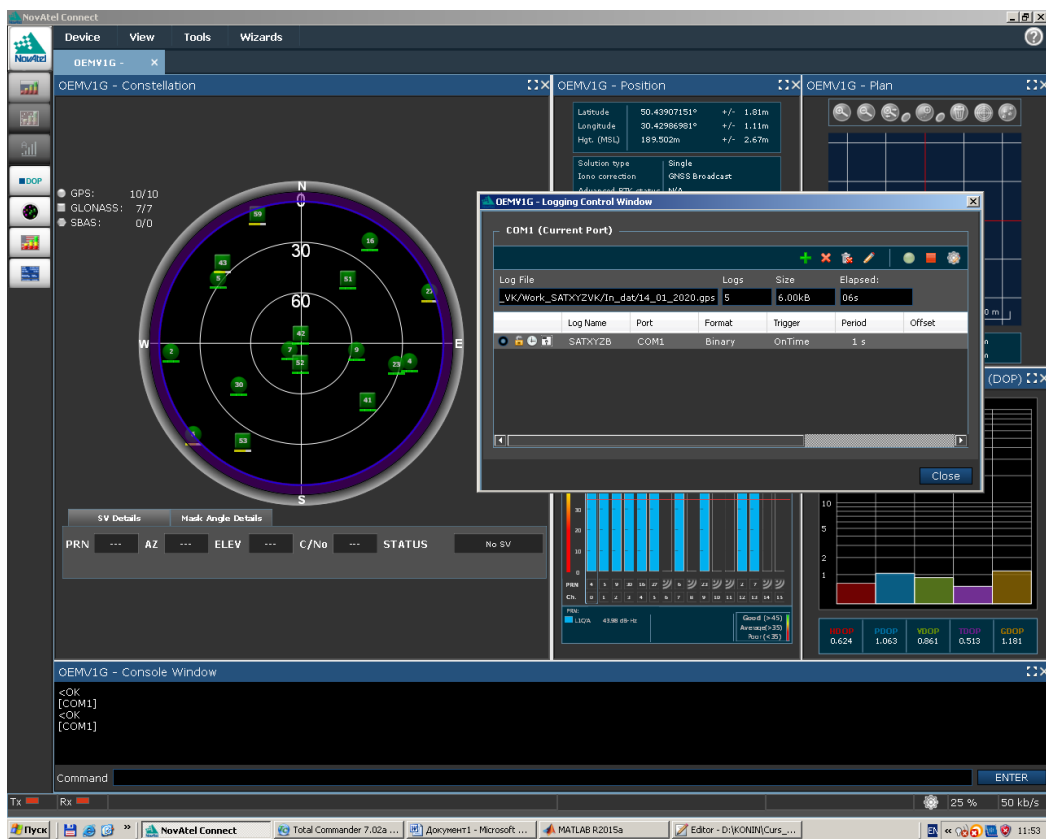


Рисунок 3.4 –Novatel Connect підготовлений до запису вхідних даних в мультисистемному режимі

В момент початку запису в зоні видимості перебували наступні супутники ГНСС: GPS з номерами: 2, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 15, 16, 23; системи ГЛОНАСС з номерами: 41, 42, 43, 51, 52, 53, 59.

Як було зазначено в цьому розділі для одержання достовірних результатів вибірки записаних вхідних даних мають бути досить значні за обсягом, що



вимагає здійснювати доволі тривалі записи. Це призводить до того, що комбінації супутників між початком запису і його завершенням сильно різняться і можуть взагалі не співпадати. Але це якраз дозволяє одержати більш достовірні оцінки роботи навігаційних систем.

На етапі запису не обхідно фіксувати моменти початку і завершення запису для розуміння масштабу змін, які відбулись з комбінацією супутників. Так на рис. 3.5 наведено інтерфейс приймача після двох годин запису.

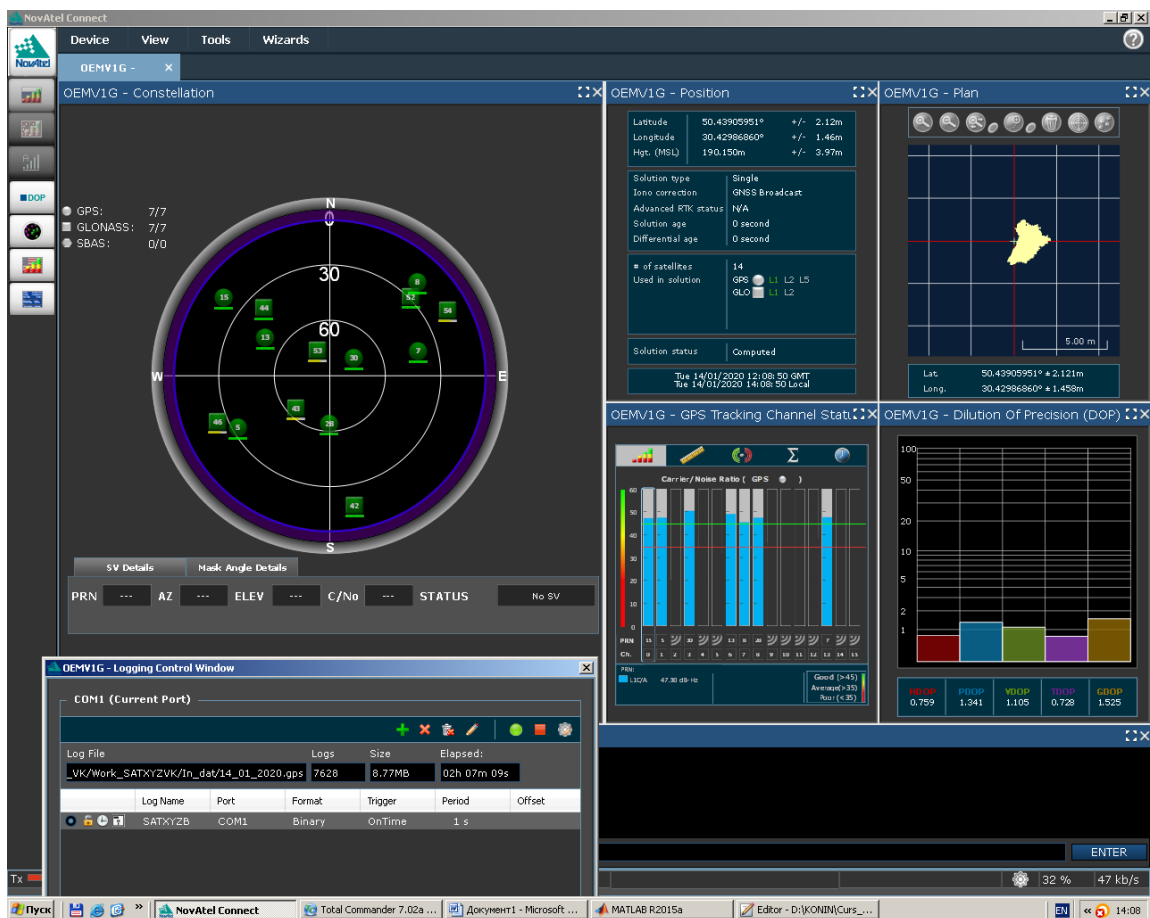


Рисунок 3.5 –Novatel Connect в момент завершення запису даних

В момент завершення запису в зоні видимості перебували наступні супутники ГНСС: системи GPS з номерами: 5, 7, 8, 13, 15, 28, 30 і системи ГЛОНСС з номерами: 42, 43, 44, 46, 52, 53, 54.

Загальна тривалість запису порядку 7000 секунд.

### 3.5 Методика налаштування приймача і запису навігаційних даних при роботі з даними Galileo

Доступне для виконання дипломних досліджень робоче місце в лабораторії супутникових навігаційних систем дозволяє записувати дані систем GPS та ГЛОНАС. Однак поряд знаходиться приймач з більш розширеними функціями, який може бути використаний для одержання даних Galileo. На рис. 3.6 це робоче місце крайнє з правої сторони.

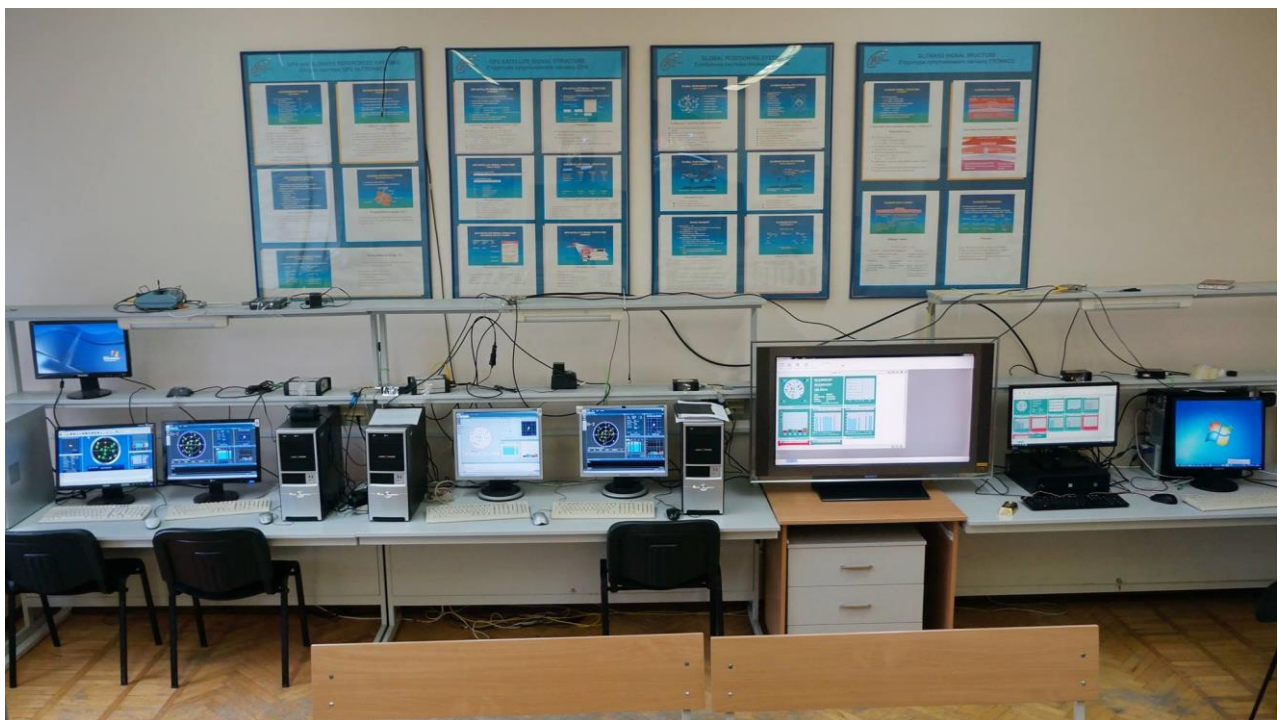


Рисунок 3.6 – Комплекс встановленого обладнання.

Для оцінки точності навігаційних визначень за даними системи Galileo для налаштувань і запису використовується інша версія інтерфейсу (частково він приведений на рис. 3.7 та 3.8).

Однак незважаючи на зовнішні відмінності важливим є те, що обидва комплекти приймального обладнання дозволяють записувати однакові типи повідомлень, що не вимагає зміни чи модифікації програм обробки записаних даних.

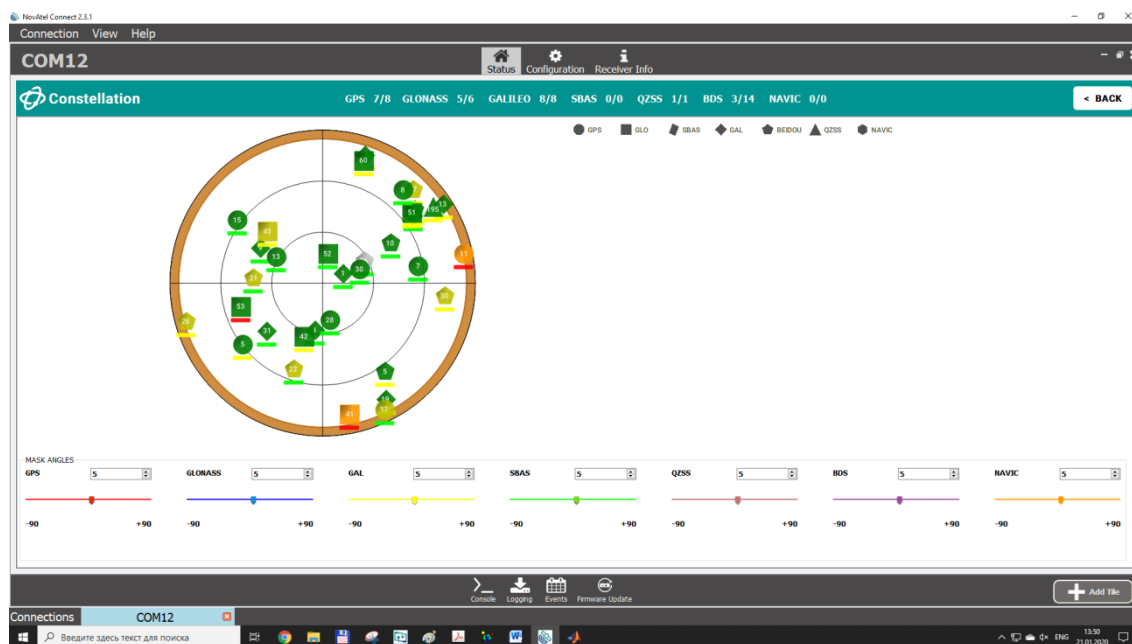


Рисунок 3.7 – Приймач працює з усіма доступними супутниками

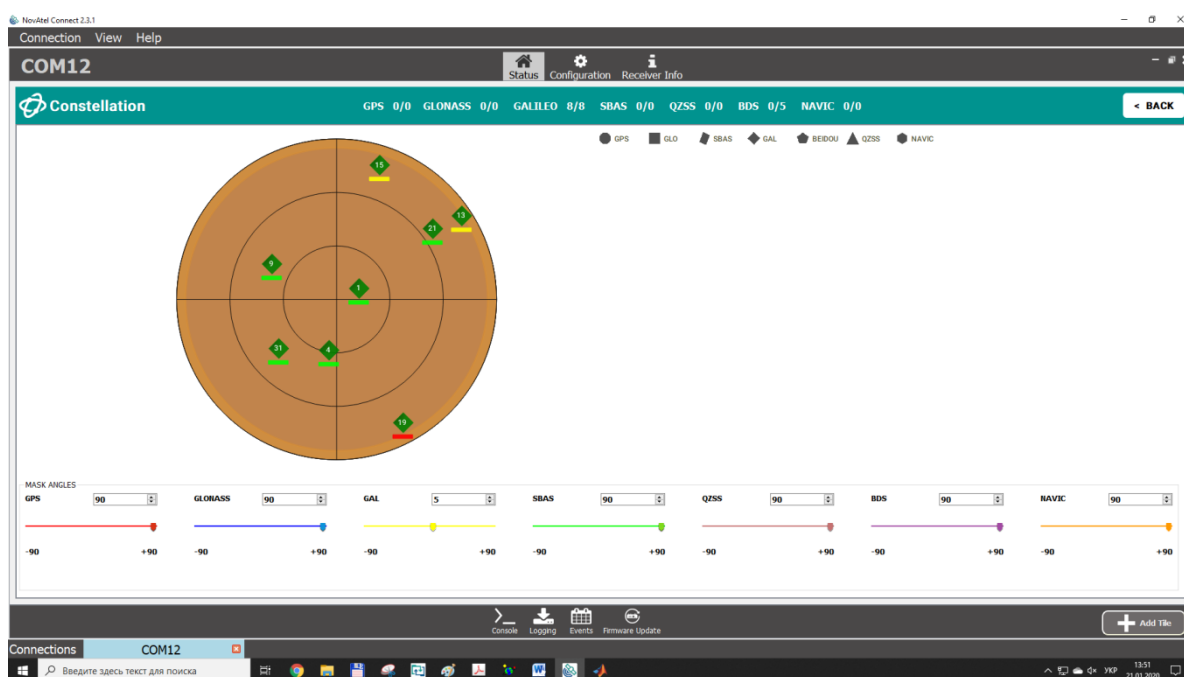


Рисунок 3.8 – Виключені дані від усіх систем крім Galileo

Для дослідження точності системи Galileo використаємо наступну методику. Приймач, налаштований на прийом даних лише від супутників системи цієї системи поставимо в режим запису координат, які ним розраховуються кожен секунду. Зробимо запис відповідного повідомлення впродовж кількох годин. Одержаний лог-файл відправимо на обробку

програмою, призначенням якої буде декодування записаних даних про координати. Це дозволить визначити абсолютну різницю між одержаними оцінками та відомими координатами антени, яка використовувалась приймачем під час прийому даних. Таким чином ми одержимо масив помилок визначення координат за даними від системи Galileo, який може бути візуалізовано у вигляді графіка зміни помилок в часі та додатково одержано статистичні оцінки цих процесів.

Алгоритм статистичної обробки даним записаних за вищеописаною методикою передбачає застосування спеціально створеного для цієї мети програмного інструмента. Розглянемо порядок його використання.

### **3.6 Алгоритм застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних**

На етапі виконання основного експериментального дослідження за допомогою приймального обладнання лабораторії супутникових систем кафедри аеронавігаційних систем заплановано одержання масивів оцінок точності роботи різних навігаційних систем і їх поєднань між собою.

Масиви даних представлятимуть собою файли з числовими значеннями. В частині експериментів це будуть різниці між оцінкою координати, одержаної приймачем і її дійсним відомим значенням. Такі файли будуть багатократно сформовані для досліджень точності роботи систем навігації GPS, ГЛОНАСС і Galileo. Плюс заплановані дослідження комбінацій цих систем і якості роботи кожної із систем у змінених умовах прийняття сигналів супутників.

Статистичну обробку накопичених масивів даних доцільно виконати із застосуванням спеціального програмного інструмента, створеного для таких функцій. Це програма в MatLab – Statistica. Лістинг цієї програми наведено в Додатку А.

Описані в попередніх підрозділах статистичні оцінки можуть бути одержані за допомогою програми Statistica шляхом застосування наступного алгоритму.

*Крок 1. Запис числових даних у файл.*

На першому етапі необхідно дотримуватись процедури збереження результатів навігаційних розрахунків у числовому форматі в файлі, який може бути переданий в обробку, відкритий і зчитаний. Формат такого файлу може бути як спеціальний, так і загальнодоступний для відкриття простим редактором, наприклад .txt.

*Крок 2. Розташування файлу даних у папці вхідних даних.*

Для обробки даних програмою Statistica створюється окрема папка, де будуть знаходитись файли, які необхідно обробити статистичним пакетом. Розташування створеної папки вхідних даних InDat приведено на рис. 3.9.

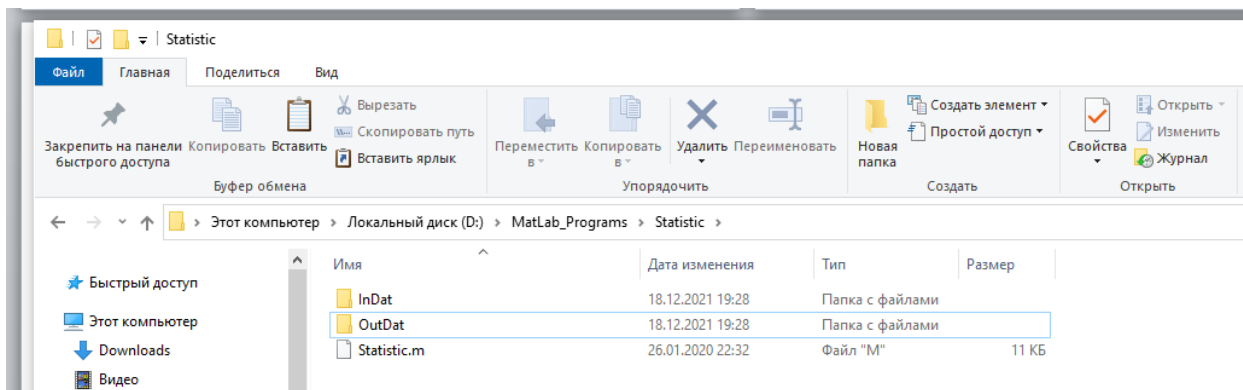


Рисунок 3.9 – Розташування папки вхідних даних для обробки

В цю папку мають переносити всі одержані масиви даних, які будуть статистично обробляться (рис. 3.10). В цій самій папці з програмою доцільно створити ще одну папку – OutDat для збереження результатів обробки, особливо якщо важливим є збереження в форматі картинок одержаних графічних результатів обробки.

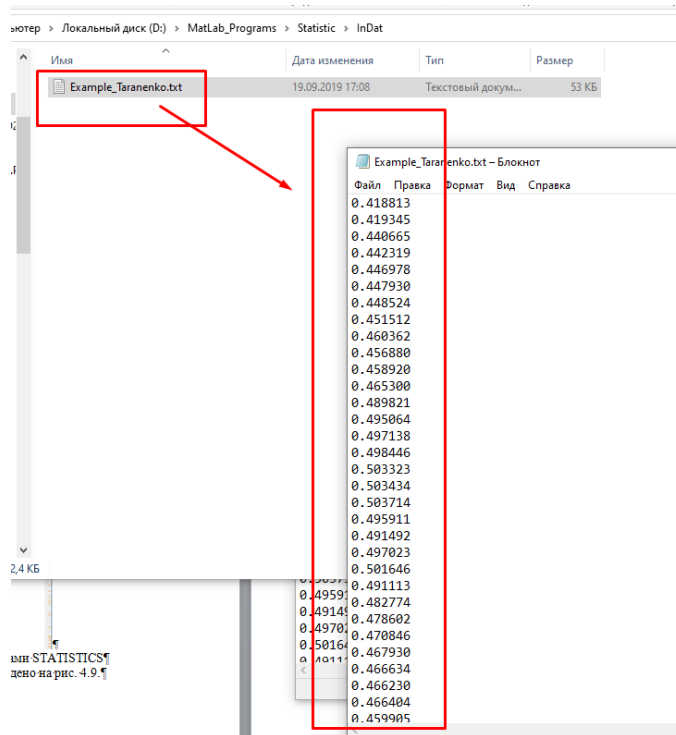


Рисунок 3.10 – Приклад даних, підготовлених для статистичної обробки  
Крок 3. Налаштування програми *Statistica* на обробку заданого файлу.

Це налаштування відбувається шляхом зазначення в окремому рядку програми адреси розташування і назви файлу з даними, які мають бути оброблені (рис. 3.11).

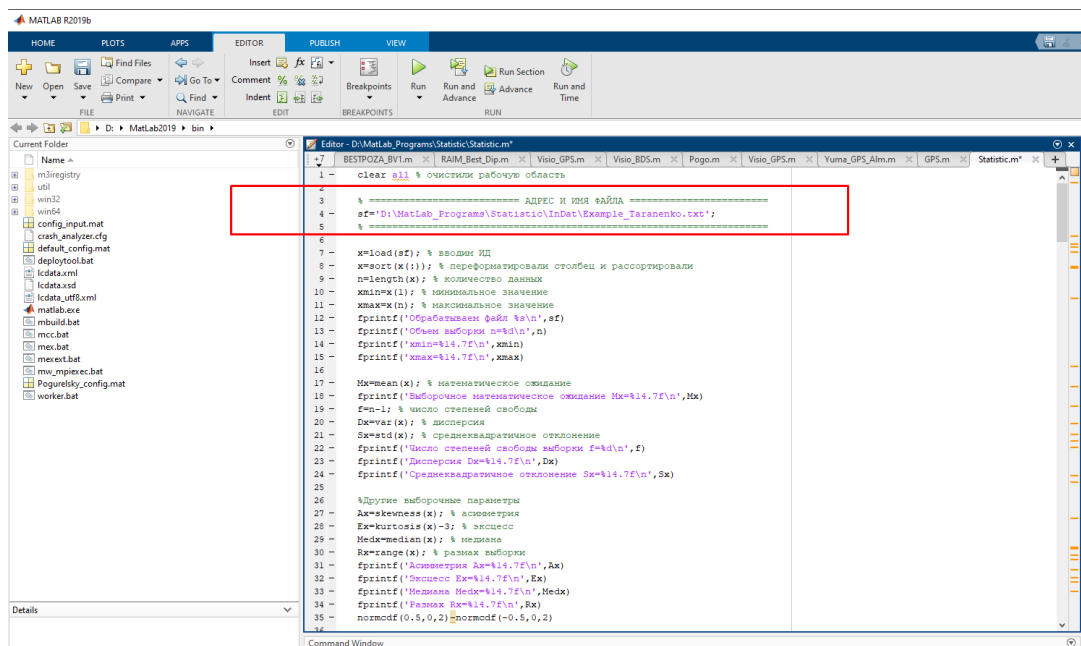


Рисунок 3.11 – Внесення ім'я файлу вхідних даних в код програми.

#### Крок 4. Запуск програми на виконання.

Після дотримання кроків 1-3 програма може бути запущена на виконання. Результати обробки будуть видані у наступних форматах. В основному вікні (рис. 3.12) у вигляді основних статистичних оцінок. А також у вигляді вікон з графічними результатами статистичної обробки (рис. 3.13 – 3.16)

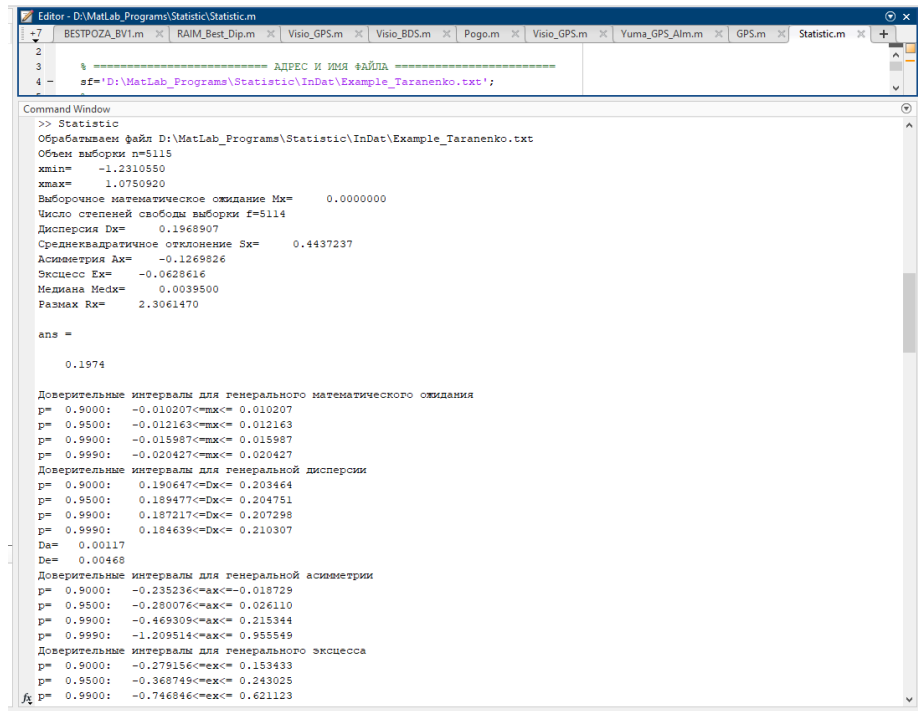


Рисунок 3.13 – Основні статистичні оцінки

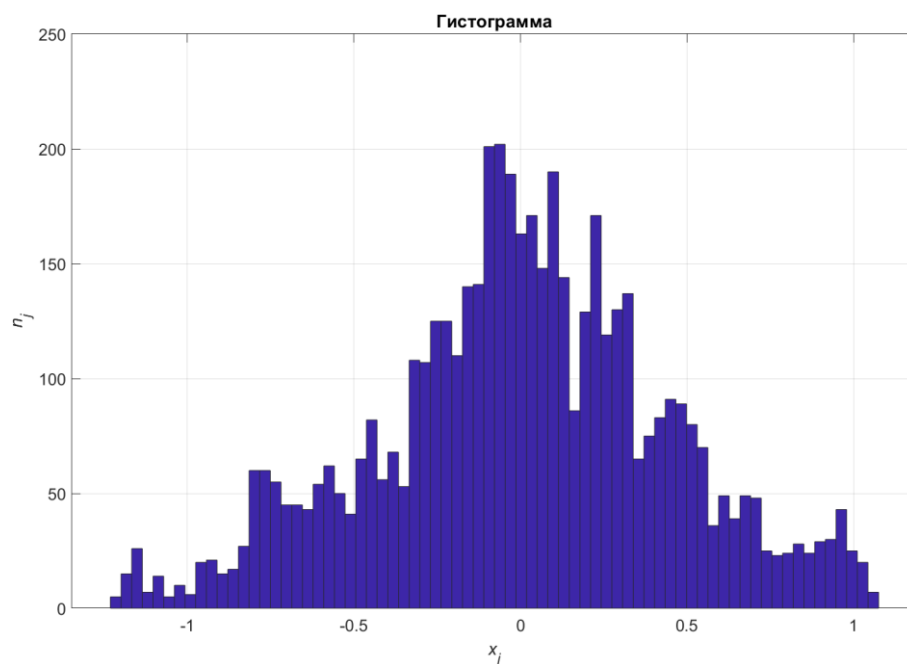


Рисунок 3.14 – Гістограма вхідних даних

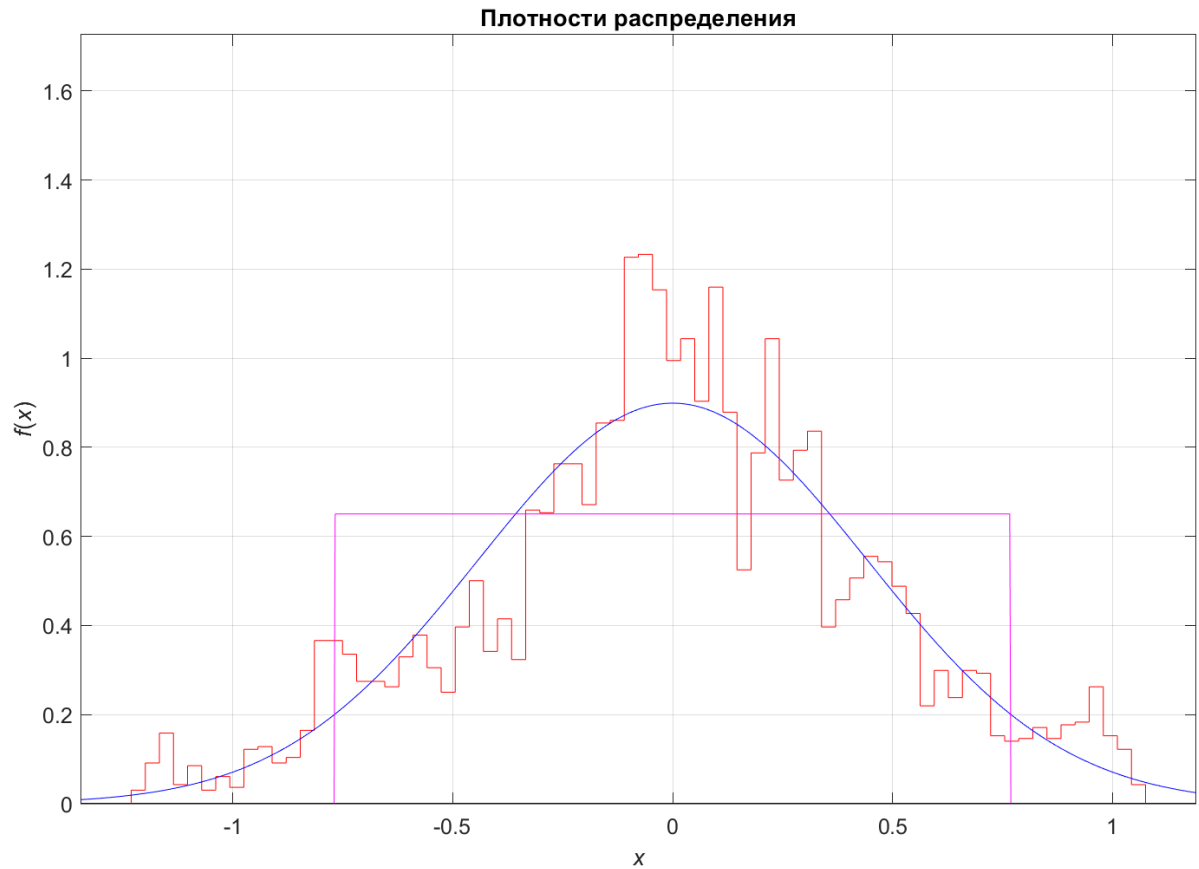


Рисунок 3.15 – Підбір закону розподілу даних в обробленому файлі

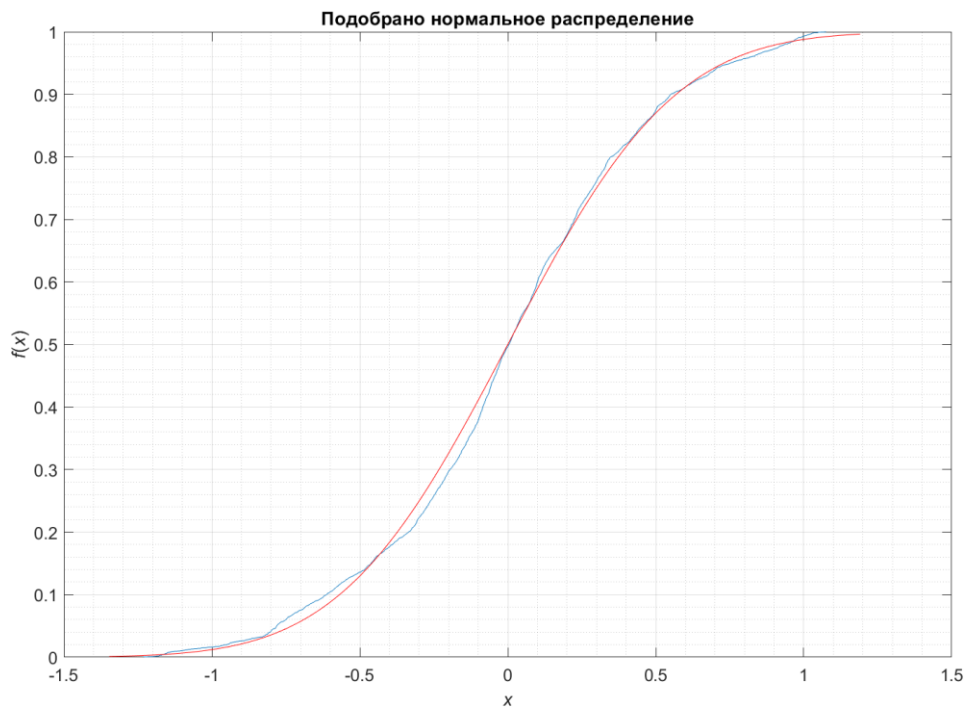


Рисунок 3.16 – Функція розподілу даних в обробленому файлі



### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В третьому розділі роботи послідовно були висвітлені теоретичні засади статистичної обробки даних навігаційних визначень, одержаних експериментальним шляхом.

Були проаналізовані можливості оцінки характеристик навігаційної системи на основі запису приймальним обладнань повідомлень, які містять результати розрахунку координат.

Ця інформація дозволяє сформувати масиви помилок визначення координат, яка представляє собою вибірккову сукупність, що на наступному етапі може бути статистично оброблена.

Розроблено алгоритм запису експериментальних даних за допомогою обладнанням лабораторії супутникових систем, який передбачає використання робочого місця з доступом до інтерфейсу навігаційної станції. Даний алгоритм дозволить одержати вхідні дані для оцінки точності роботи систем GPS та ГЛОНАСС в односистемному режимі, а також в режимі мультисистемної обробки по їх даним разом. На етапі аналізу одержаних результатів це дасть можливість порівняти два режими роботи навігаційного приймального обладнання між собою.

Розроблено методику налаштування приймача і запису навігаційних даних при роботі з даними Galileo, яка передбачає доступ до іншого комплекту приймального обладнання, оснащеного оновленим інтерфейсом. Тим не менше зберігається функція запису повідомлень з необхідними вхідними даними для обробки в тому самому форматі, як і при роботі з даними GPS і ГЛОНАСС. Це дозволить на етапі експериментальних досліджень використати ті ж самі програмні інструменти. Причому як для декодування записаних навігаційних повідомлень, так і для статистичної обробки експериментальних даних.

Розроблено алгоритм застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних. Обраний програмний інструмент призначений для проведення статистичної оцінки числових вхідних даних, які спеціальним чином мають бути записані у папку вхідних даних з подальшим налаштуванням програми на їх знаходження за вказаною адресою і ім'ям і обробку.

Одержані результати дають теоретичне і алгоритмічне обґрунтування для виконання запису і обробки експериментальних даних, що буде виконано в наступному розділі роботи.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТОЧНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розділ присвячено освітленню основних результатів, одержаних в результаті обробки записів навігаційних повідомлень з інформацією про розраховані координати антени. На основі цієї інформації формуються масиви даних – помилок визначення координат при роботі в кожному з наперед заданих режимів (одно- та багатосистемні). Сформовані масиви вхідних даних статистично обробляються програмним інструментом в середовищі MatLab для одержання інформації про точнісні характеристики роботи супутникових навігаційних систем в різних режимах.

### 4.1 Повідомлення BESTPOS


Експериментальні дані з оцінки координат антени приймача записуються за допомогою наступного повідомлення: Message ID 42 BESTPOS. Формат його даних наведено в табл. 4.1.

Як видно з даних табл. 4.1 повідомленні BESTPOS містяться дані про координати антени, які розраховані за інформацією від НС у вигляді довготи, широти та висоти. Також в цьому повідомленні міститься значення середньо квадратичної помилки у визначенні кожної з координат, кількість супутників, дані від яких було прийнято, а також перелік робочих частот. Приклад вмісту повідомлення BESTPOS наведено на рис. 4.1.

```
#BESTPOSA, COM1, 0, 90.5, FINESTEERING, 1949, 403742.000, 02000000, b1f6, 32768
; SOL COMPUTED, SINGLE, 51.11636937989, -114.03825348307, 1064.533, -
16.9000, WGS84, 1.3610, 1.0236, 2.4745, "", 0.000, 0.000, 19, 19, 19, 19, 00, 06, 00
, 33*6e08fa22
```

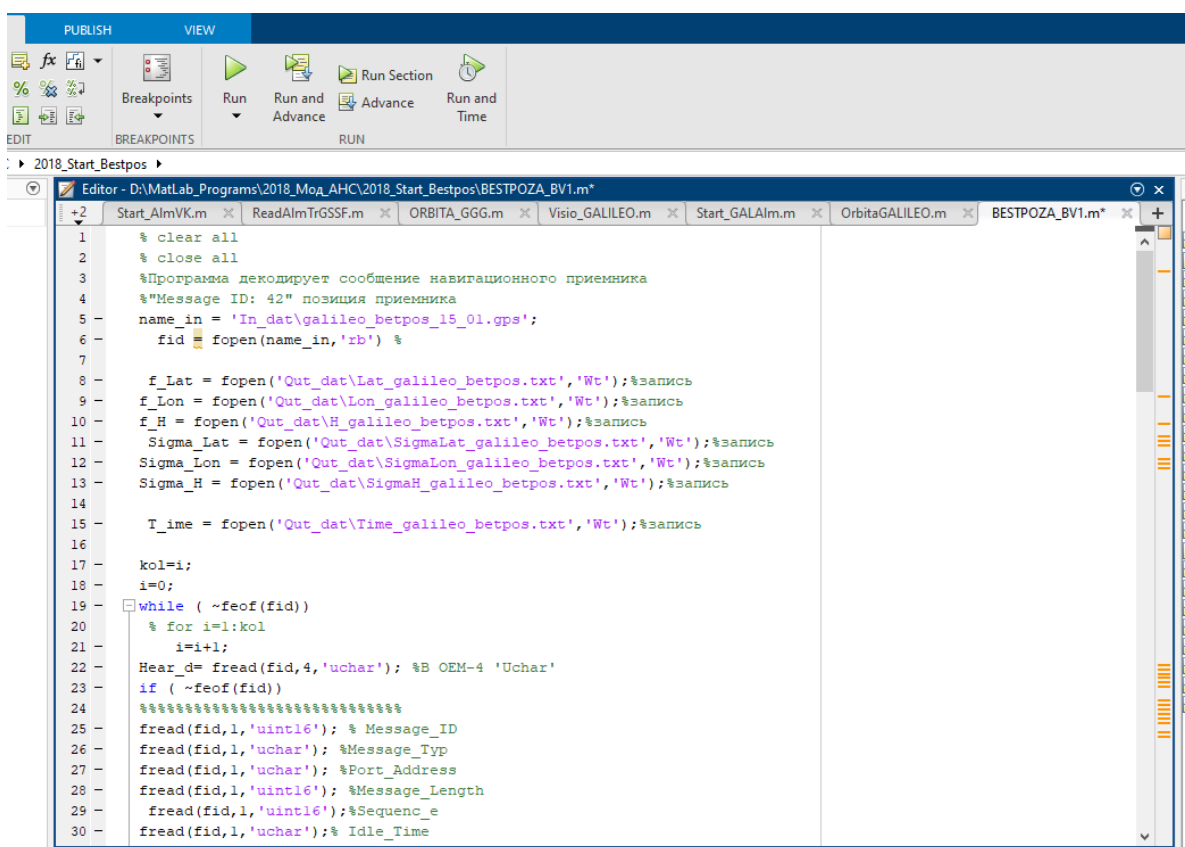
Рисунок 4.1 – Приклад повідомлення BESTPOS.

Таблиця 4.1 – Формат даних в структурі повідомлення BESTPOS

Field	Field type	Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	BESTPOS header	Log header. See <i>Messages</i> on page 31 for more information.		H	0
2	sol stat	Solution status, see <i>Table 73: Solution Status</i> on the next page	Enum	4	H
3	pos type	Position type, see <i>Table 74: Position or Velocity Type</i> on page 417	Enum	4	H+4
4	lat	Latitude (degrees)	Double	8	H+8
5	lon	Longitude (degrees)	Double	8	H+16
6	hgt	Height above mean sea level (metres)	Double	8	H+24
7	undulation	Undulation - the relationship between the geoid and the ellipsoid (m) of the chosen datum  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">  When using a datum other than WGS84, the undulation value also includes the vertical shift due to differences between the datum in use and WGS84. </div>	Float	4	H+32
8	datum id#	Datum ID number (see <i>Table 28: Datum Transformation Parameters</i> on page 119)	Enum	4	H+36
9	lat $\sigma$	Latitude standard deviation (m)	Float	4	H+40
10	lon $\sigma$	Longitude standard deviation (m)	Float	4	H+44
11	hgt $\sigma$	Height standard deviation (m)	Float	4	H+48
12	stn id	Base station ID	Char[4]	4	H+52
13	diff_age	Differential age in seconds	Float	4	H+56
14	sol_age	Solution age in seconds	Float	4	H+60
15	#SVs	Number of satellites tracked	Uchar	1	H+64
16	#solnSVs	Number of satellites used in solution	Uchar	1	H+65
17	#solnL1SVs	Number of satellites with L1/E1/B1 signals used in solution	Uchar	1	H+66
18	#solnMultiSVs	Number of satellites with multi-frequency signals used in solution	Uchar	1	H+67
19	Reserved		Hex	1	H+68
20	ext sol stat	Extended solution status (see <i>Table 77: Extended Solution Status</i> on page 420)	Hex	1	H+69
21	Galileo and BeiDou sig mask	Galileo and BeiDou signals used mask (see <i>Table 76: Galileo and BeiDou Signal-Used Mask</i> on page 420)	Hex	1	H+70
22	GPS and GLONASS sig mask	GPS and GLONASS signals used mask (see <i>Table 75: GPS and GLONASS Signal-Used Mask</i> on page 419)	Hex	1	H+71
23	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	4	H+72
24	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

## 4.2 Програмне забезпечення декодування та обробки повідомлень BESTPOS

Записані log-файли містять інформацію в бінарному форматі, тому подальший процес декодування проходить в програмі, створеній в середовищі MatLab. Для обробки запису з повідомленням BESTPOS використовується програма BESTPOS. Вигляд головного вікна програми з фрагментом коду наведено на рис. 4.2, а повний лістинг міститься в додатку В.



```

1 % clear all
2 % close all
3 %Програма декодує повідомлення навігаційного приймача
4 %"Message ID: 42" позиція приймача
5 name_in = 'In_dat\galileo_betpos_15_01.gps';
6 fid = fopen(name_in,'rb') %
7
8 f_Lat = fopen('Out_dat\Lat_galileo_betpos.txt','wt');%запис
9 f_Lon = fopen('Out_dat\Lon_galileo_betpos.txt','wt');%запис
10 f_H = fopen('Out_dat\H_galileo_betpos.txt','wt');%запис
11 Sigma_Lat = fopen('Out_dat\SigmaLat_galileo_betpos.txt','wt');%запис
12 Sigma_Lon = fopen('Out_dat\SigmaLon_galileo_betpos.txt','wt');%запис
13 Sigma_H = fopen('Out_dat\SigmaH_galileo_betpos.txt','wt');%запис
14
15 T_time = fopen('Out_dat\Time_galileo_betpos.txt','wt');%запис
16
17 kol=i;
18 i=0;
19 while (~feof(fid))
20 % for i=1:kol
21 i=i+1;
22 Hear_d= fread(fid,4,'uchar'); %B OEM-4 'Uchar'
23 if (~feof(fid))
24 %~~~~~
25 fread(fid,1,'uint16'); % Message_ID
26 fread(fid,1,'uchar'); %Message_Typ
27 fread(fid,1,'uchar'); %Port_Address
28 fread(fid,1,'uint16'); %Message_Length
29 fread(fid,1,'uint16');%Sequenc_e
30 fread(fid,1,'uchar');% Idle_Time

```

Рисунок 4.2 – Програмний інструмент BESTPOS

Для ініціалізації обробки на початковому етапі необхідно розмістити log-файл в папці вхідних даних In\_Dat, а в самій програмі у відповідному рядку вказати ім'я під яким його було збережено (рис. 4.5). Оскільки дані моменти є лише технічними налаштуваннями програмного забезпечення, то в рамках даного експериментального розділу не зупинятимемося на детальному освітленні цього і подібних питань.

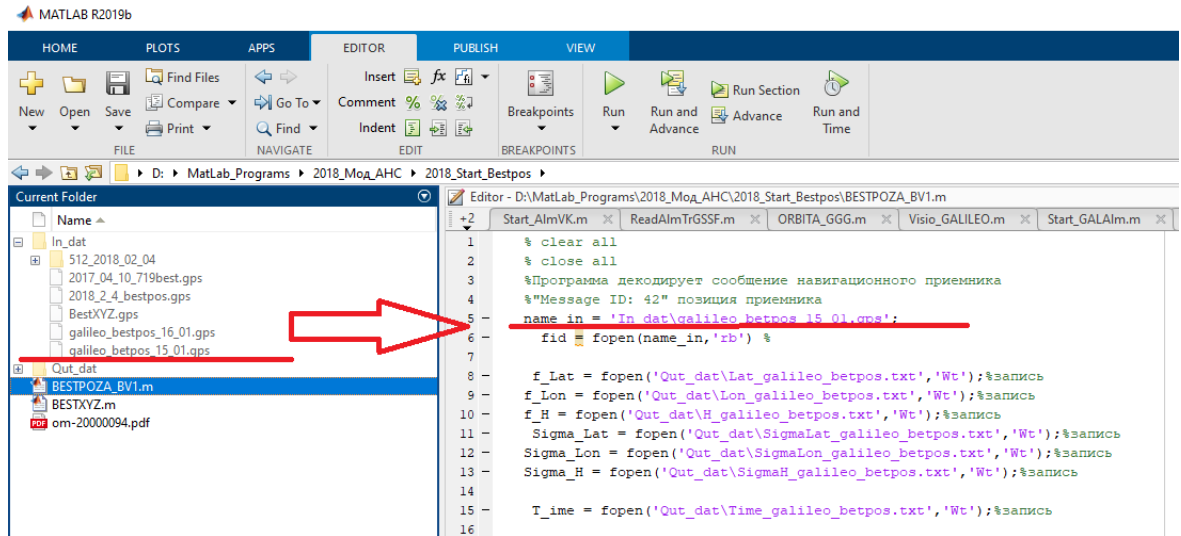


Рисунок 4.3 – Файл для обробки

В результаті роботи програми розраховуються помилки визначення координат широти, довготи та висоти. Рисунок 4.4 – 4.5 демонструють результат відпрацювання програми, в результаті якого по-перше видаються у значній кількості графічні результати дослідження, а по-друге формуються масиви оцінок помилок, які на наступному етапі будуть відправлені на статистичну обробку.

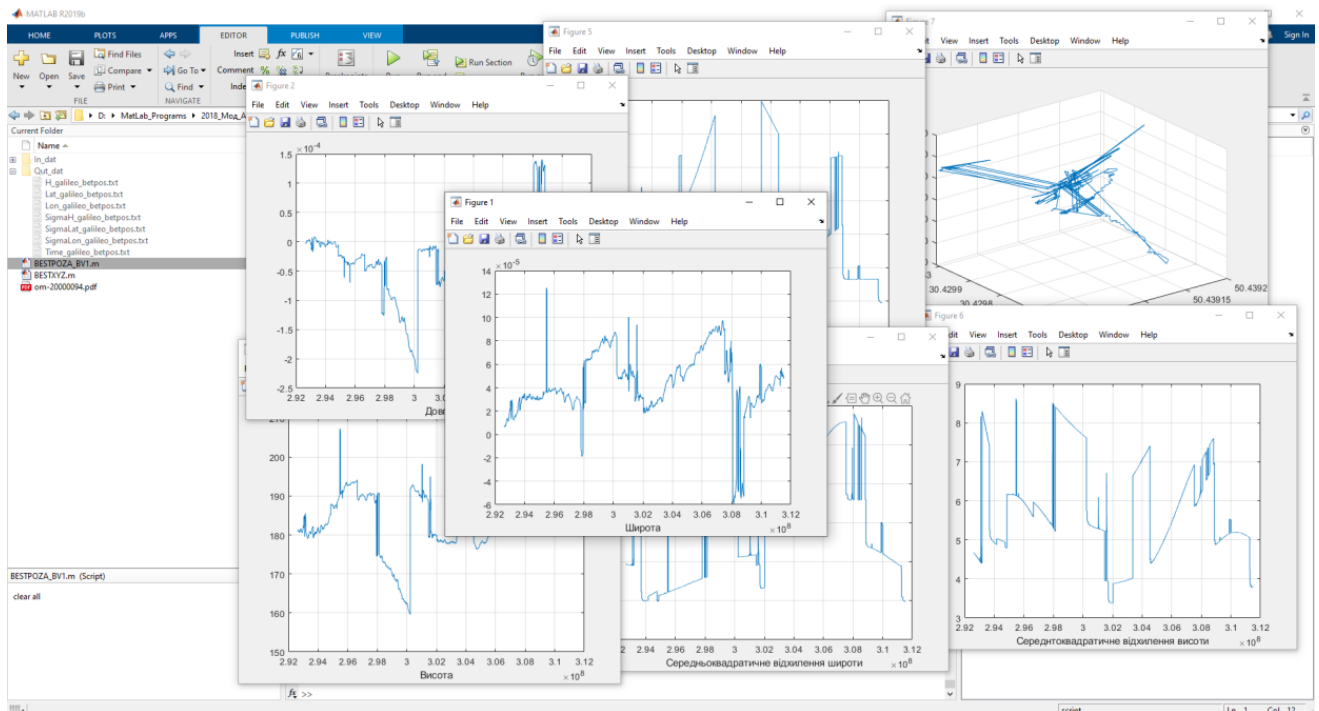


Рисунок 4.4 – Графічні результати роботи програми BESTPOS

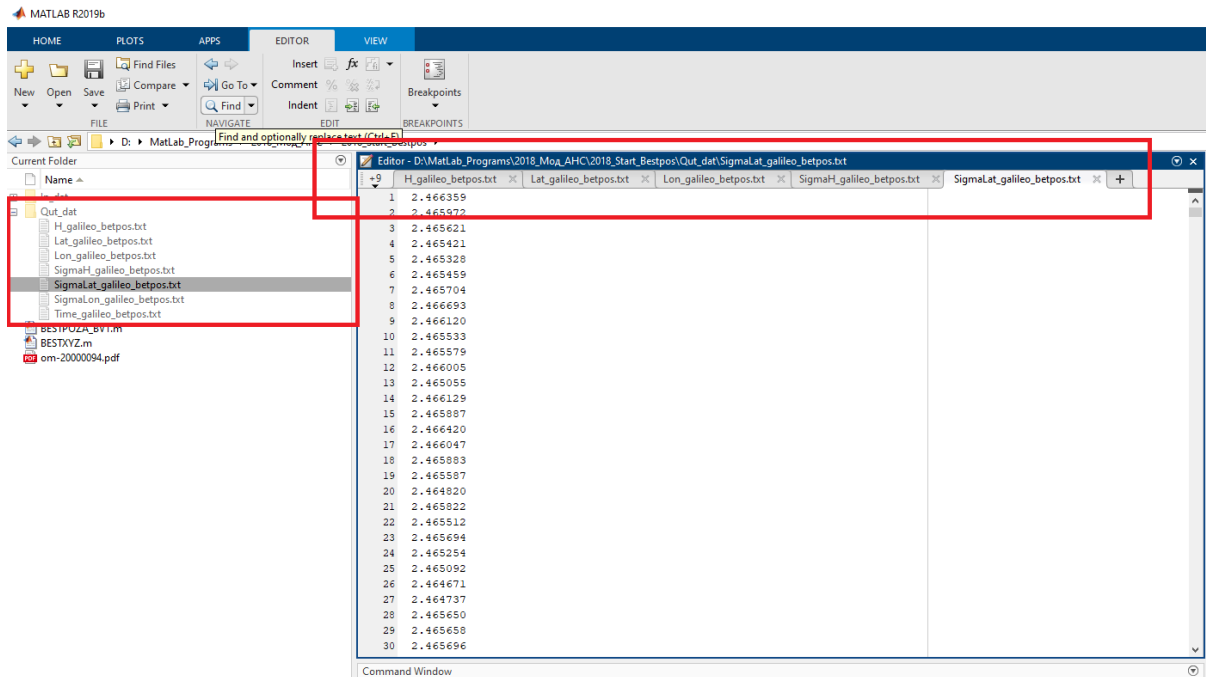


Рисунок 4.5 – Вихідні дані для подальшої статистичної обробки

Сформовані на цьому етапі вихідні дані по розрахунку помилок визначення координат є вхідними даними для програми статистичної обробки – Statistica, алгоритм застосування якої в рамках дипломного дослідження описаний в Розділі 3.

Таким чином для остаточного одержання статистичних характеристик ці файли переміщуються до папки програмного інструмента Statistica і обробляються за його допомогою.

Результати обробки наводяться на приведених в кожному підрозділі рисунках. Аналіз одержаних результатів і підсумовування всіх етапів виконаного дипломного дослідження відбувається у Висновках до розділу 4 і Загальних висновках відповідно.

### 4.3 Результати експериментальних досліджень точності системи Galileo

Експериментальний набір даних було одержано за методикою описаною в підрозділі 3.5. Вікно інтерфейсу приймача в момент початку запису вхідних даних наведено на рис. 4.6. В цей момент в зоні видимості приймача перебували 8 супутників Galileo, дані від яких використовувались для розрахунку координат. Геометричний фактор погіршення точності GDOP склав 2.28 (рис. 4.7).

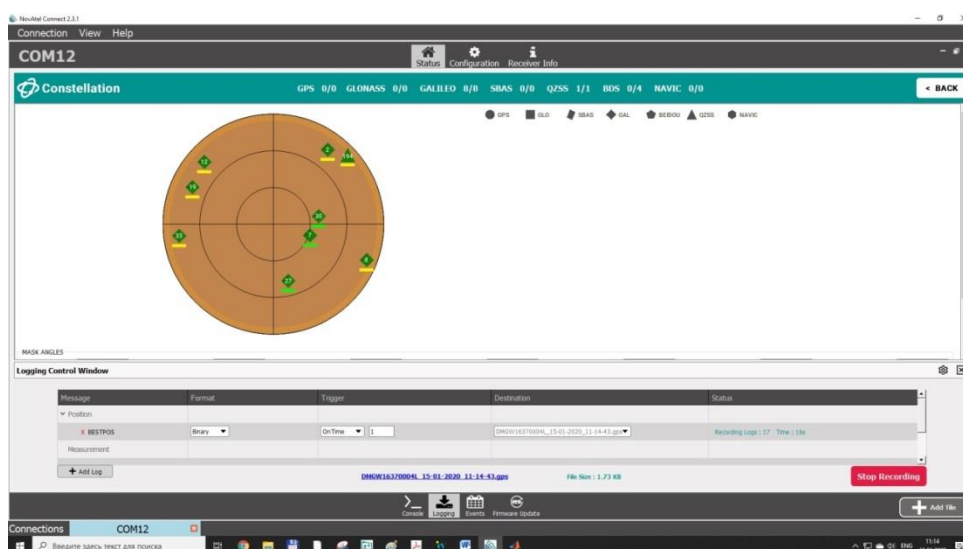


Рисунок 4.6 – Початку запису експериментальних даних

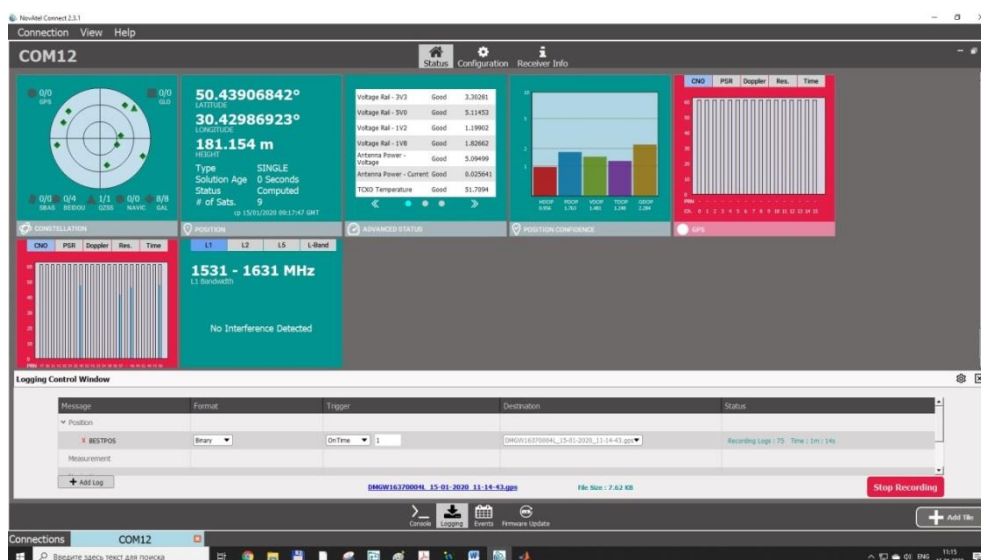


Рисунок 4.7 – Рівень GDOP



Графічні результати обробки записаного файлу приведені на рис. 4.8-4.14

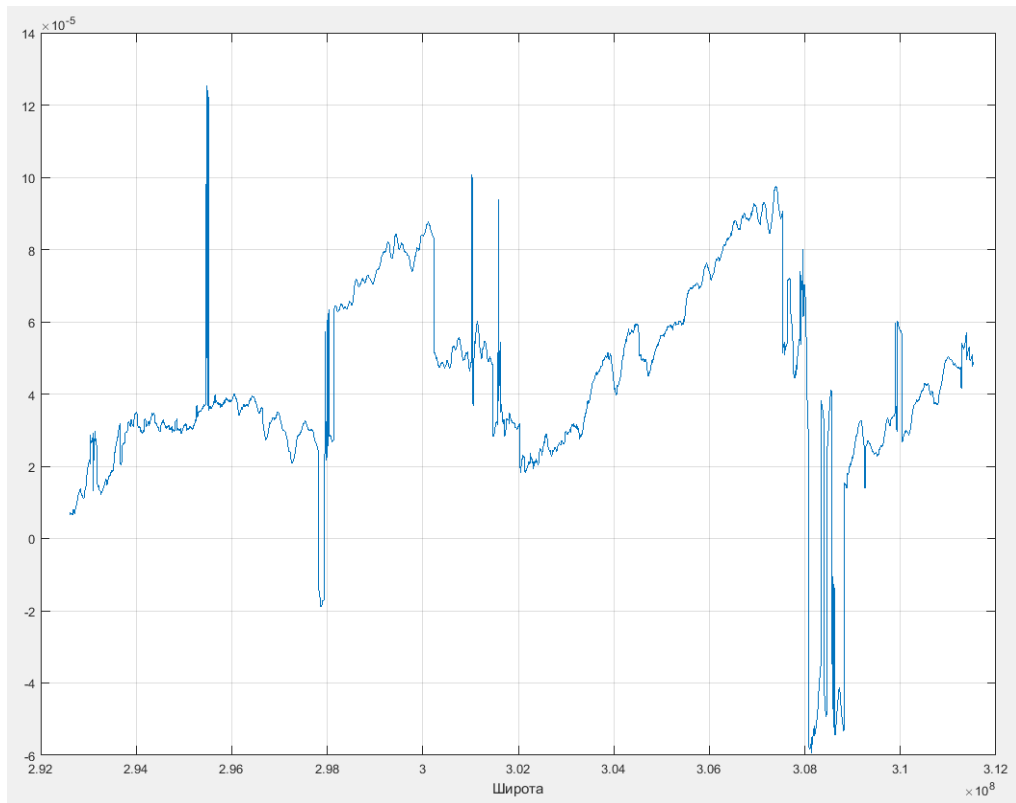


Рисунок 4.8 – Зміна в часі помилки визначення широти

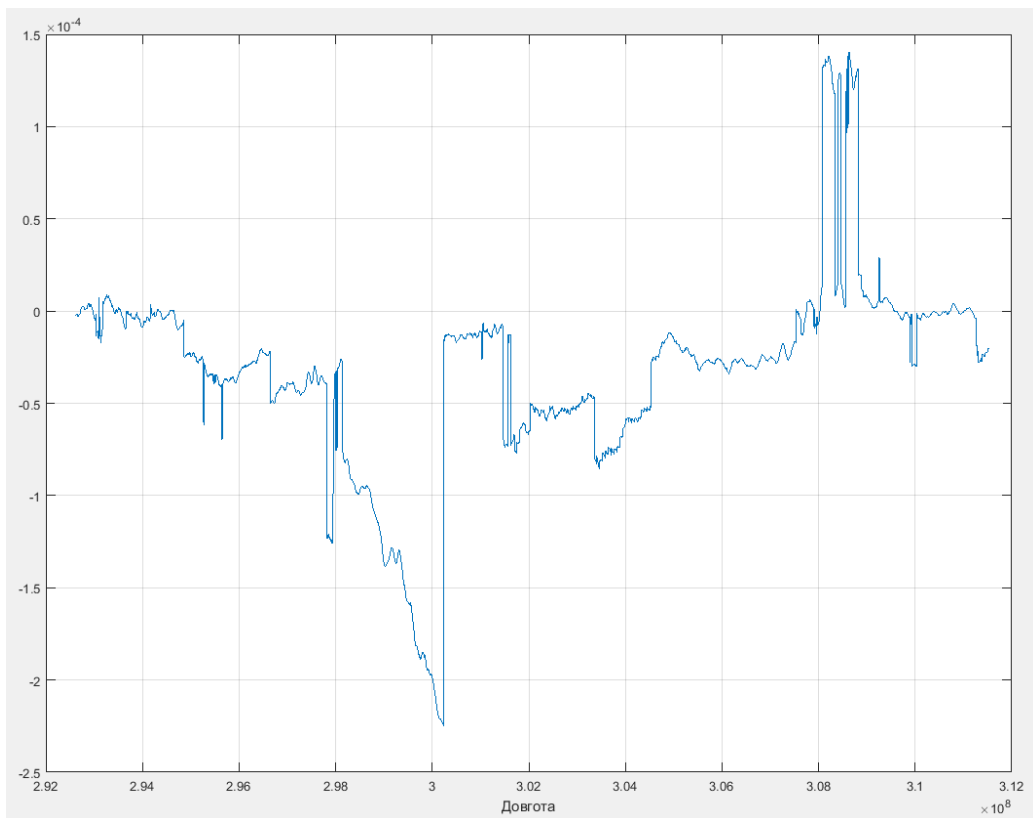


Рисунок 4.9 – Зміна в часі помилки визначення довготи

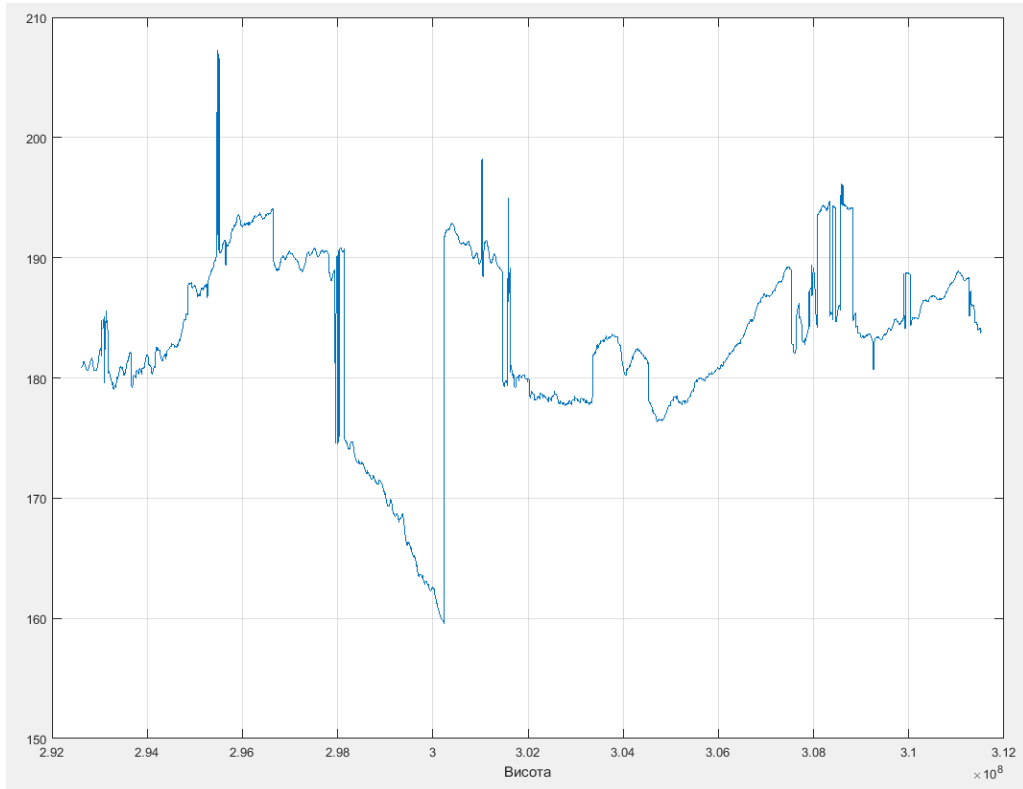


Рисунок 4.10 – Зміна в часі помилки визначення висоти

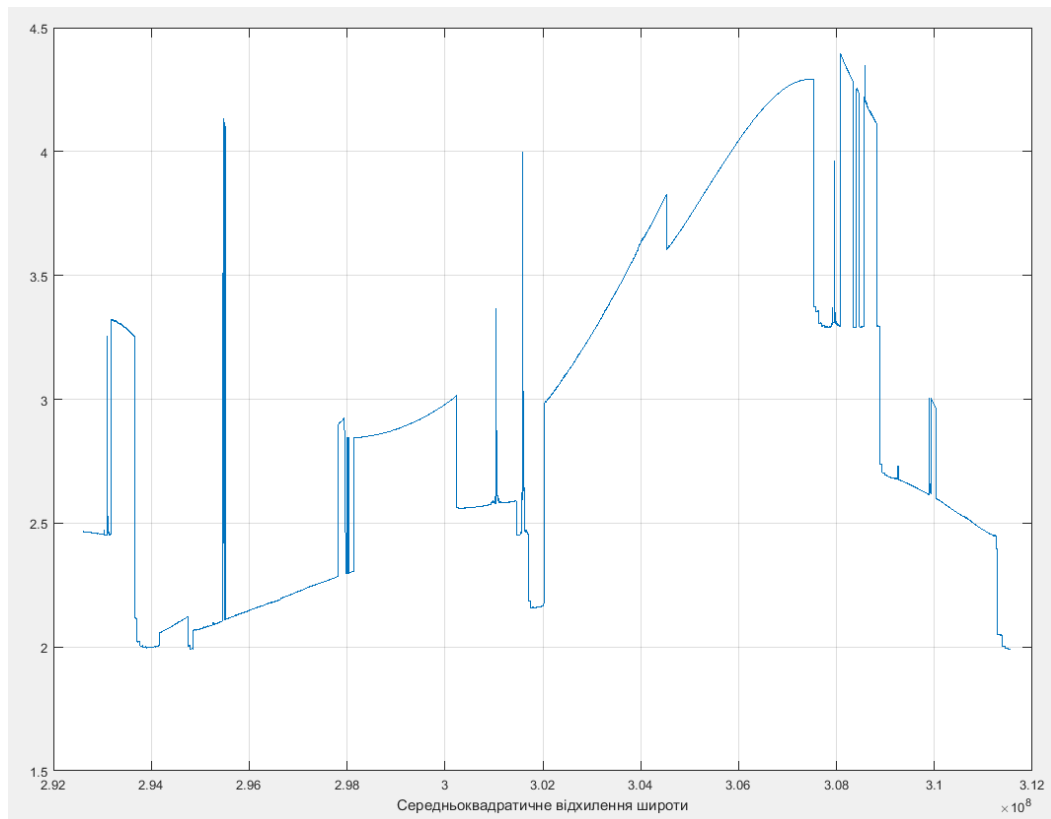


Рисунок 4.11 – Зміна в часі СКВ широти

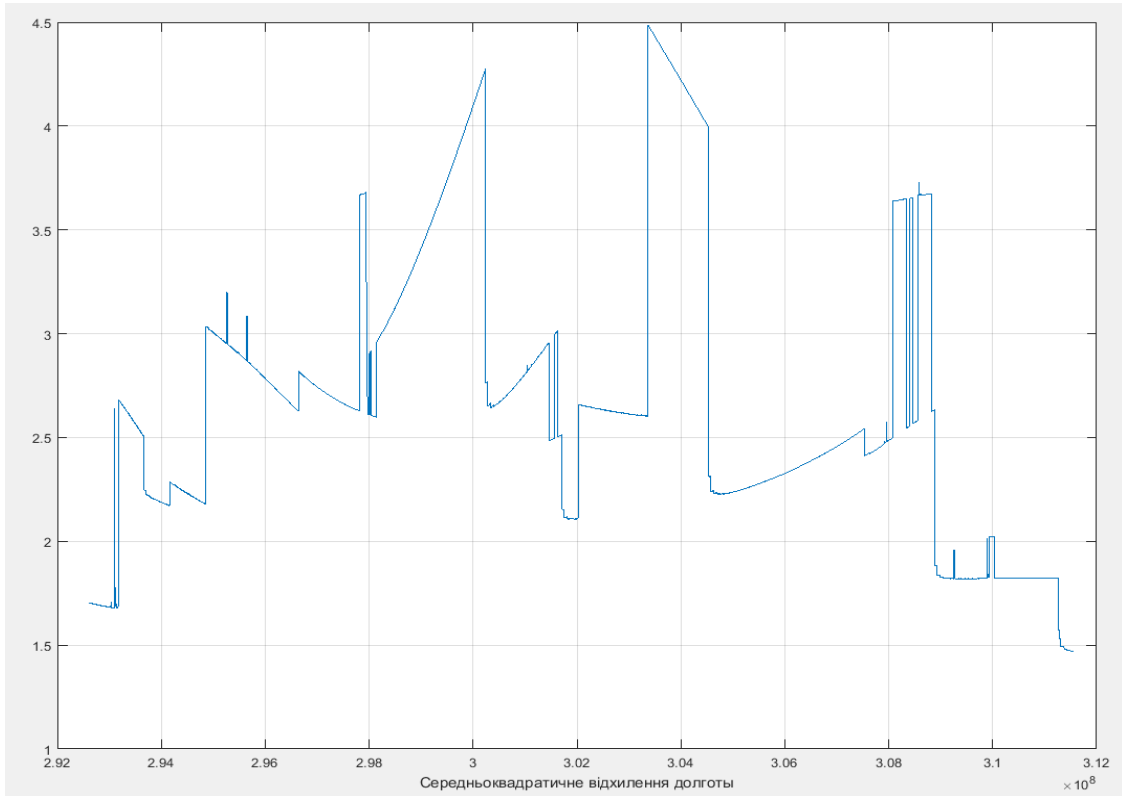


Рисунок 4.12 – Зміна в часі СКВ довготи

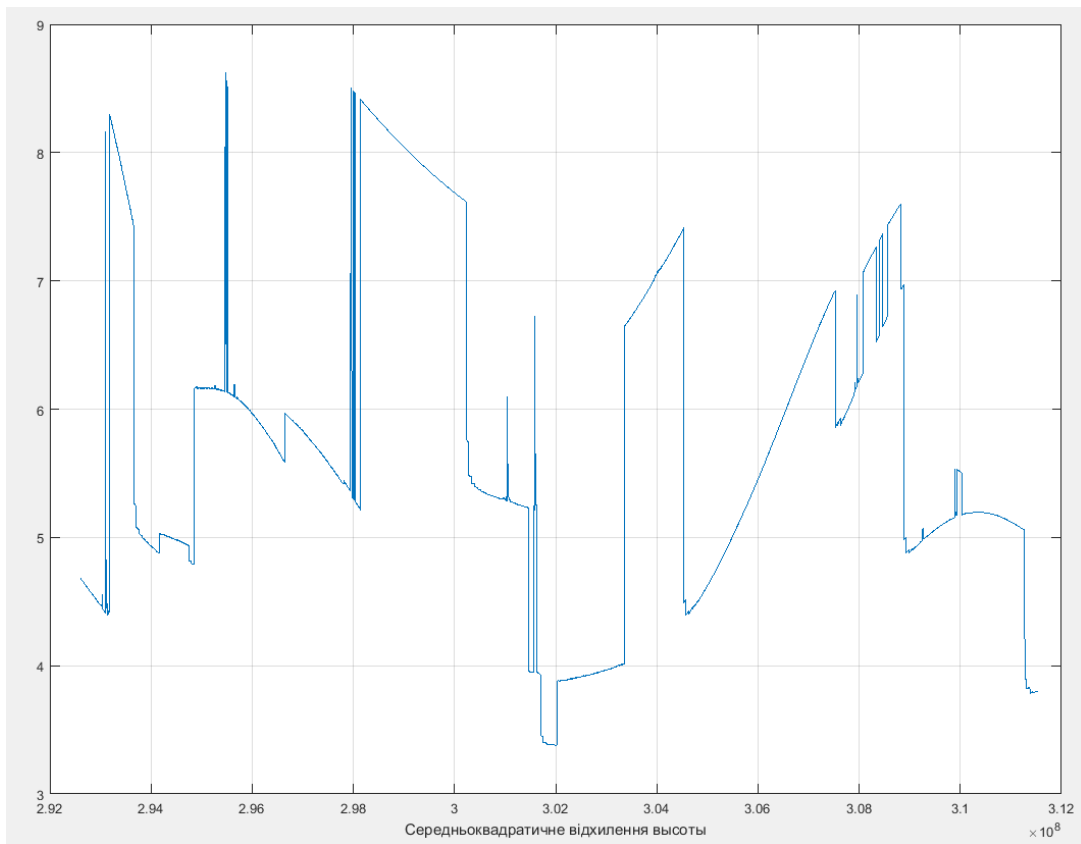


Рисунок 4.13 – Зміна в часі СКВ широти

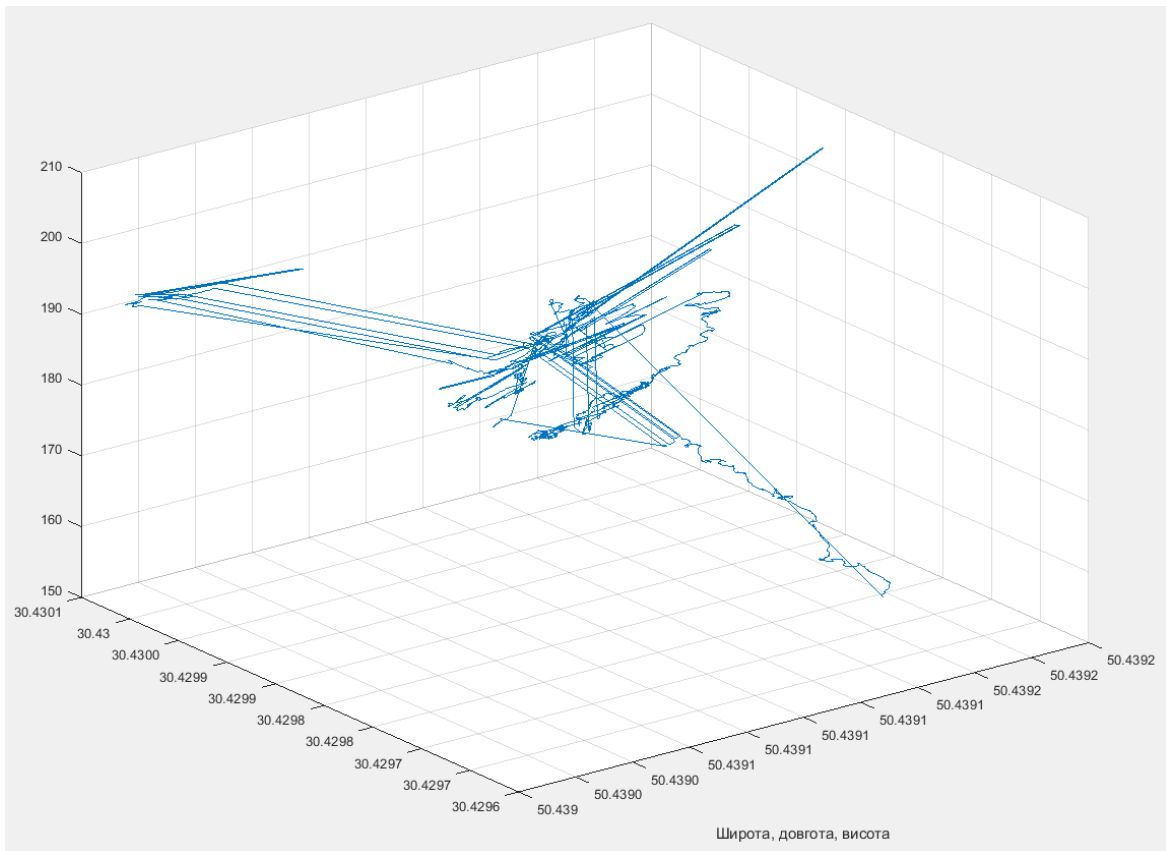


Рисунок 4.14 – Просторова помилка визначення координат

Для одержання статистичних оцінок файли вихідних даних, які містять масиви помилок при визначенні кожної з координат відправлені до обробки програмою Statistic. Одержані результати наступні.

*Помилки при визначенні довготи.*

```

Command Window
>> STATISTICS
Обрабатываем файл D:\MatLab_Programs\2018_Мод_АНС\2018_Start_Bestpos\Out_dat\Lon_galileo_betpos.txt
Объем выборки n=18929
xmin= 30.4296460
xmax= 30.4300120
Выборочное математическое ожидание Mx= 30.4298376
Число степеней свободы выборки f=18928
Дисперсия Dx= 0.0000000
Среднеквадратичное отклонение Sx= 0.0000538
Асимметрия Ax= -0.4759066
Экссесс Ex= 3.5293403
Медиана Medx= 30.4298450
Размах Rx= 0.0003660

```

Рисунок 4.15 – Основні статистичні оцінки для помилки визначення довготи

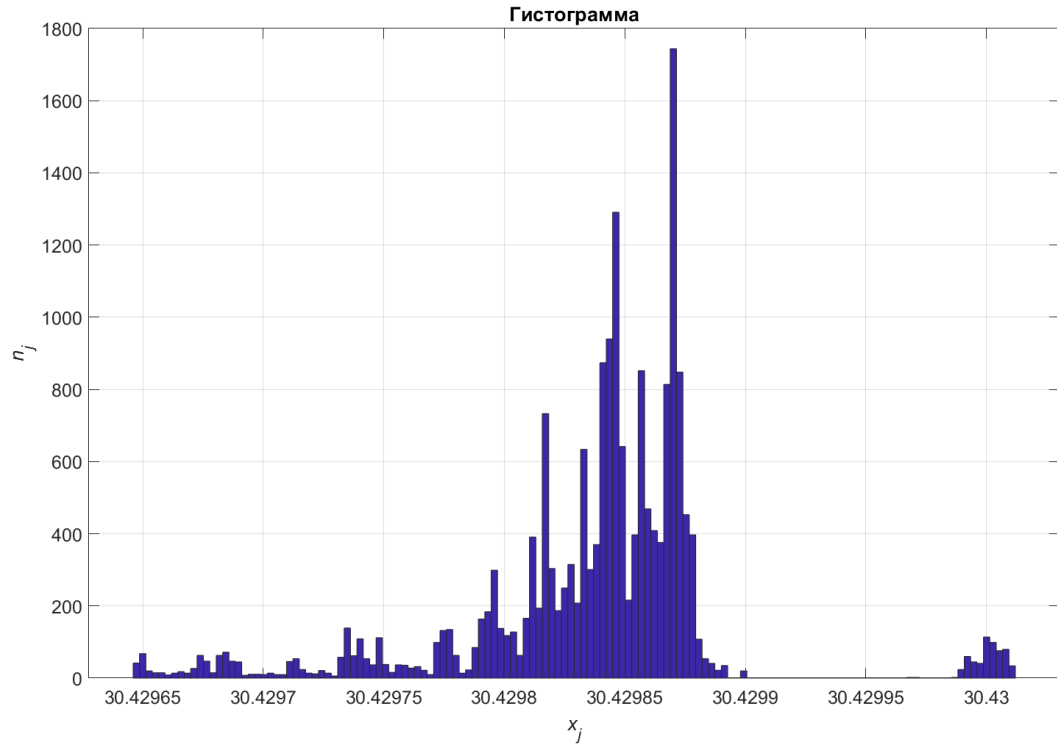


Рисунок 4.16 – Гистограма помилки визначення довготи

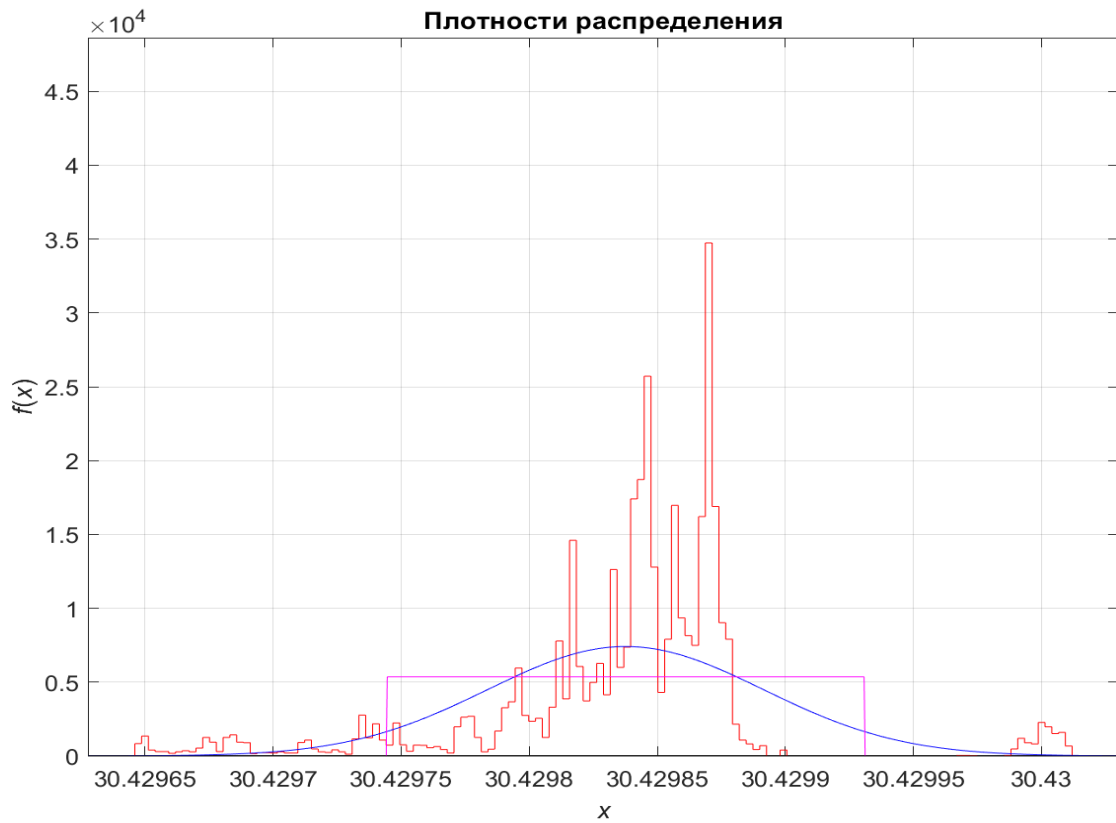


Рисунок 4.17 – Апроксимація нормальним законом помилки визначення  
ДОВГОТИ

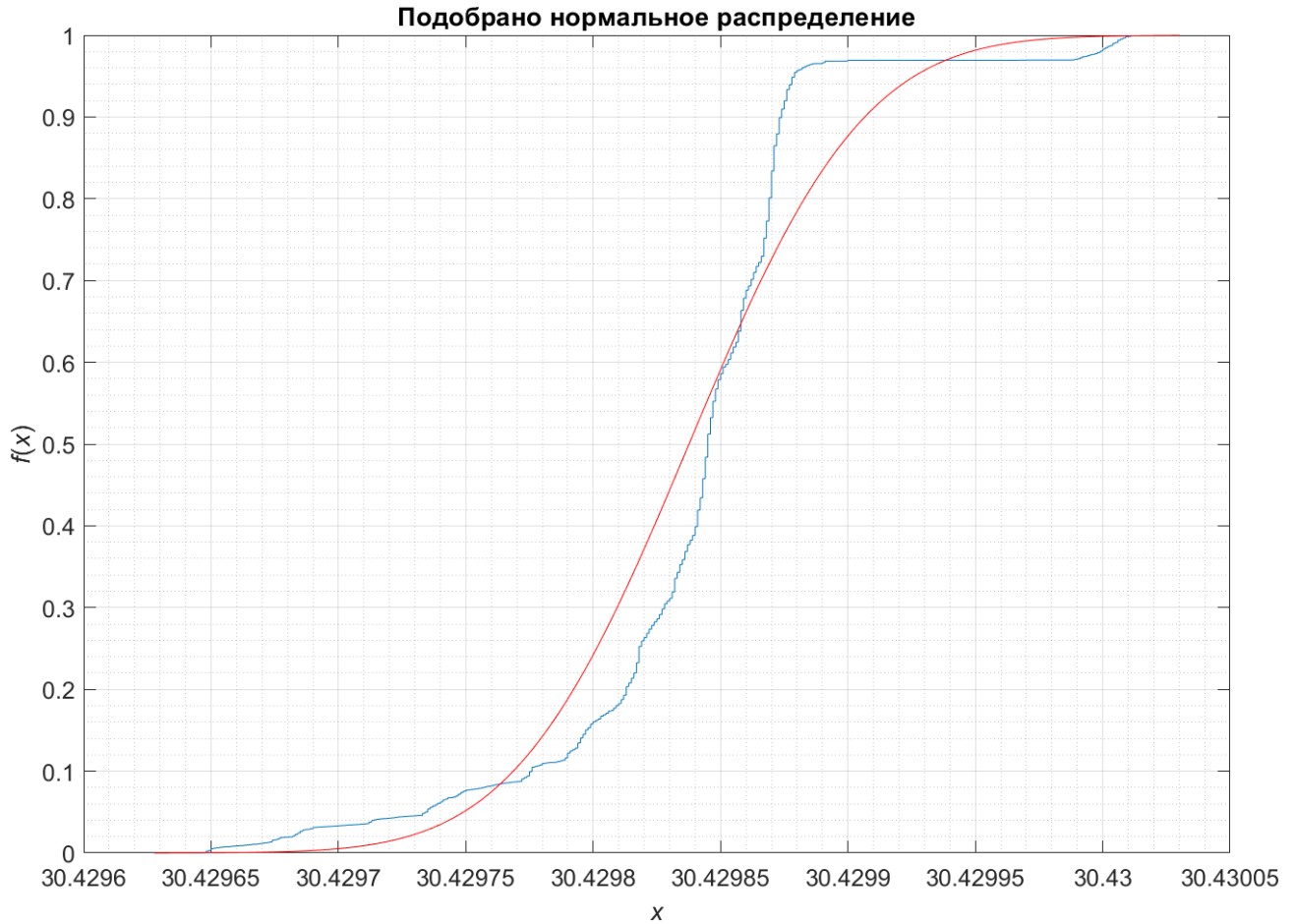


Рисунок 4.18 – Функція розподілу помилки визначення довготи

*Помилки при визначенні широти.*

```

Command Window
>> STATISTICS
Обрабатываем файл D:\MatLab_Programs\2018_Мод_АНС\2018_Start_Bestpos\Out_dat\Lat_galileo_betpos.txt
Объем выборки n=18929
xmin= 50.4390010
xmax= 50.4391860
Выборочное математическое ожидание Mx= 50.4391038
Число степеней свободы выборки f=18928
Дисперсия Dx= 0.0000000
Среднеквадратичное отклонение Sx= 0.0000273
Асимметрия Ax= -0.7452051
Экцесс Ex= 2.4023805
Медиана Medx= 50.4390990
Размах Rx= 0.0001850
  
```

Рисунок 4.19 – Основні статистичні оцінки для помилки визначення широти

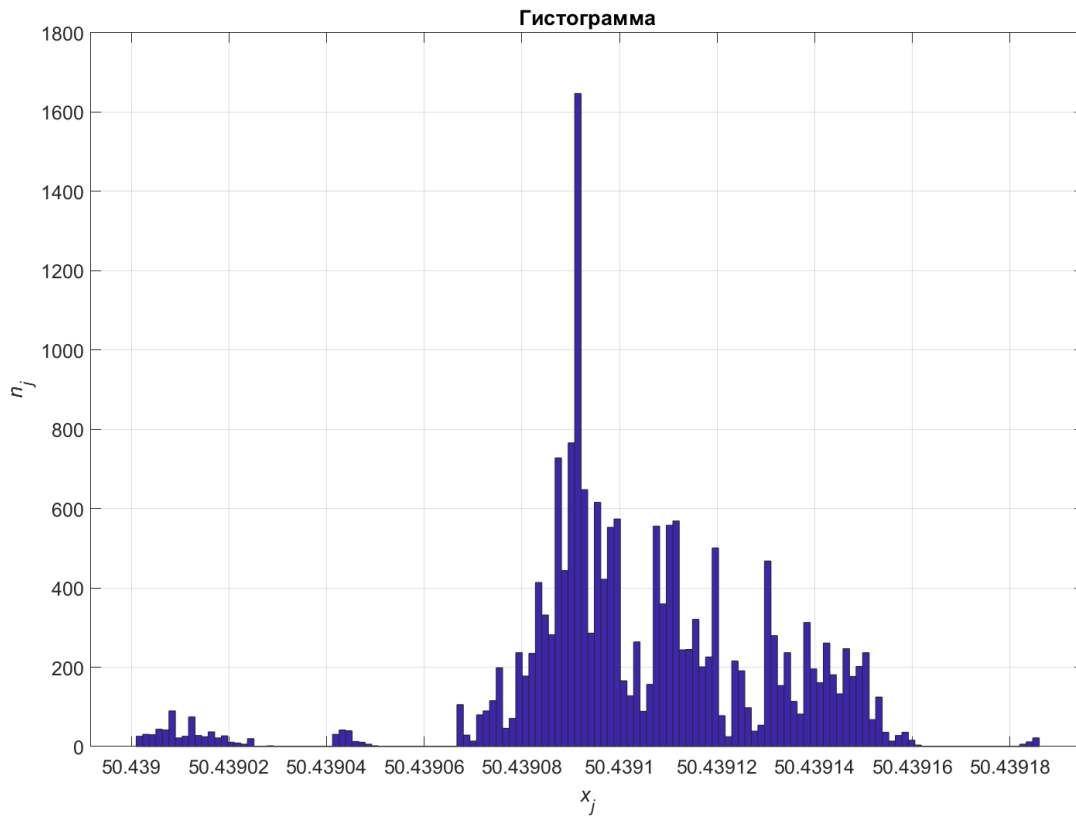


Рисунок 4.20 – Гістограма помилки визначення широти

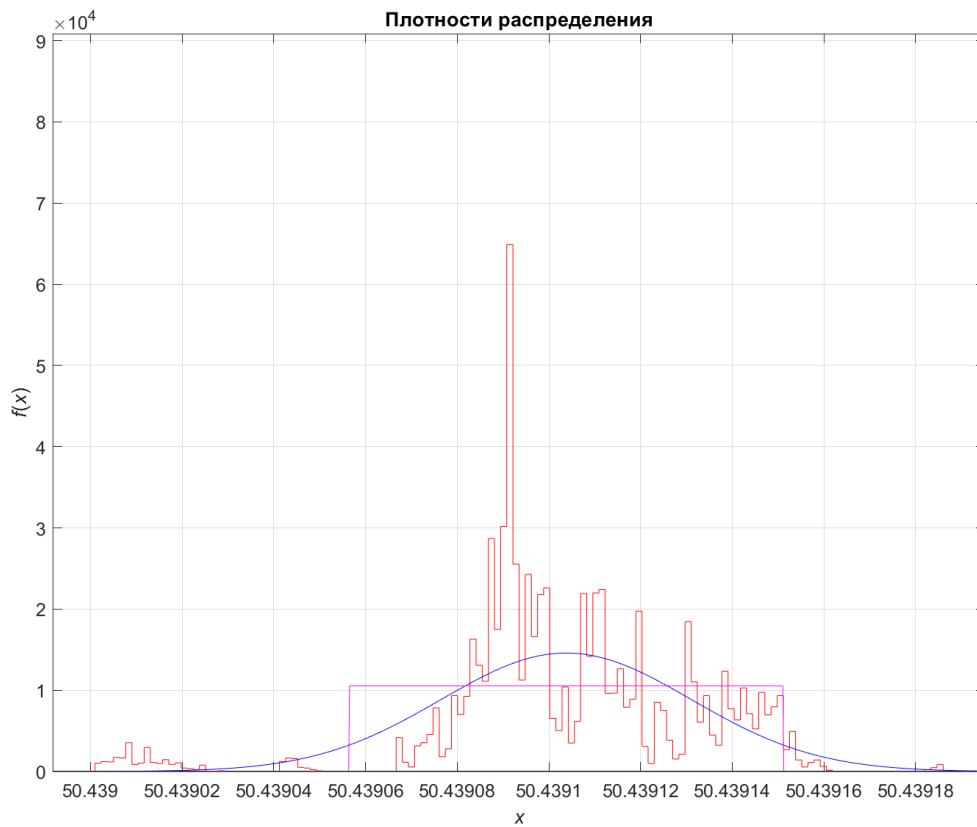


Рисунок 4.21 – Густина ймовірності помилки визначення довготи

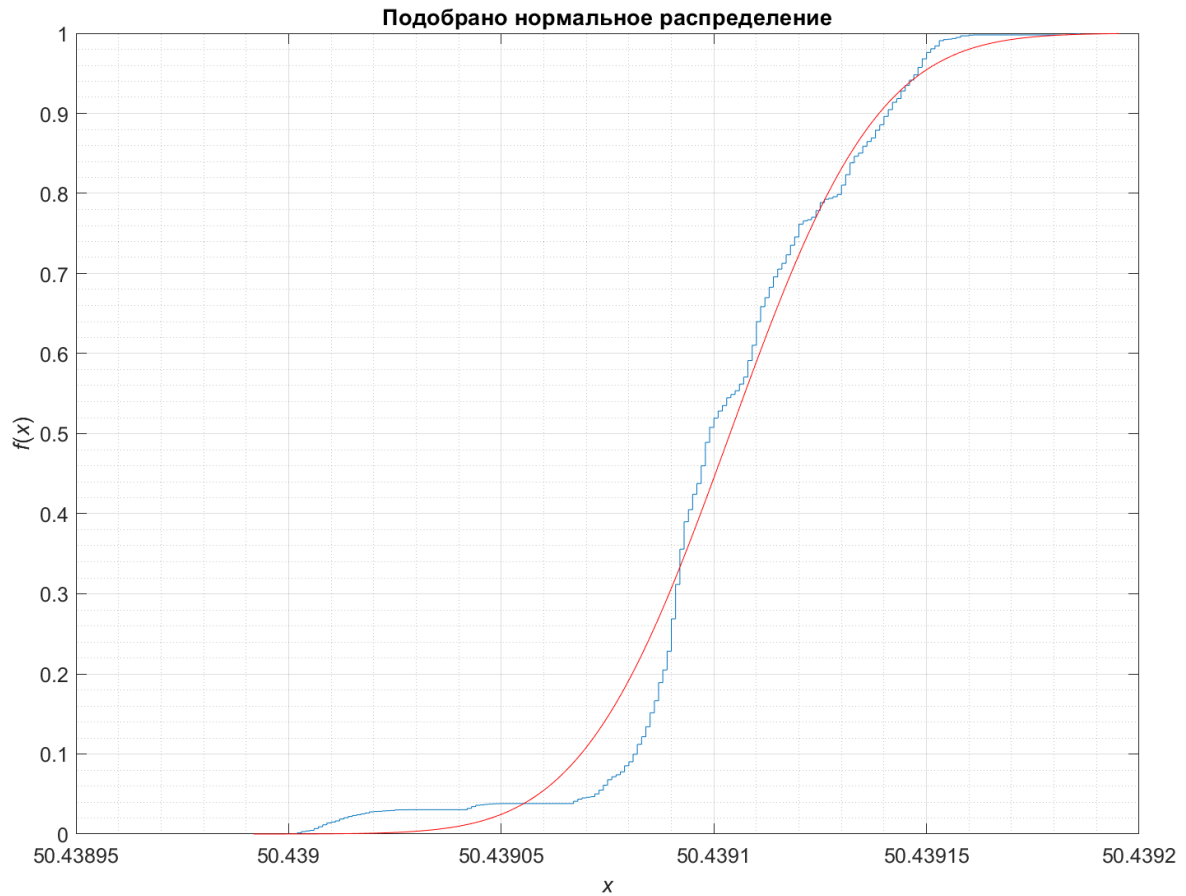


Рисунок 4.22 – Функція розподілу помилки визначення широти

*Помилки при визначенні висоти.*

```

Command Window
>> STATISTICS
Обработка файла D:\MatLab_Programs\2018_Мод_АНС\2018_Start_Bestpos\Out_dat\H_galileo_betpos.txt
Объем выборки n=18929
xmin= 159.6047420
xmax= 207.2682300
Выборочное математическое ожидание Mx= 183.1650646
Число степеней свободы выборки f=18928
Дисперсия Dx= 53.0890560
Среднеквадратичное отклонение Sx= 7.2862237
Асимметрия Ax= -0.7772875
Экцесс Ex= 0.9609757
Медиана Medx= 183.4172690
Размах Rx= 47.6634880
  
```

Рисунок 4.23 – Основні статистичні оцінки для визначення висоти



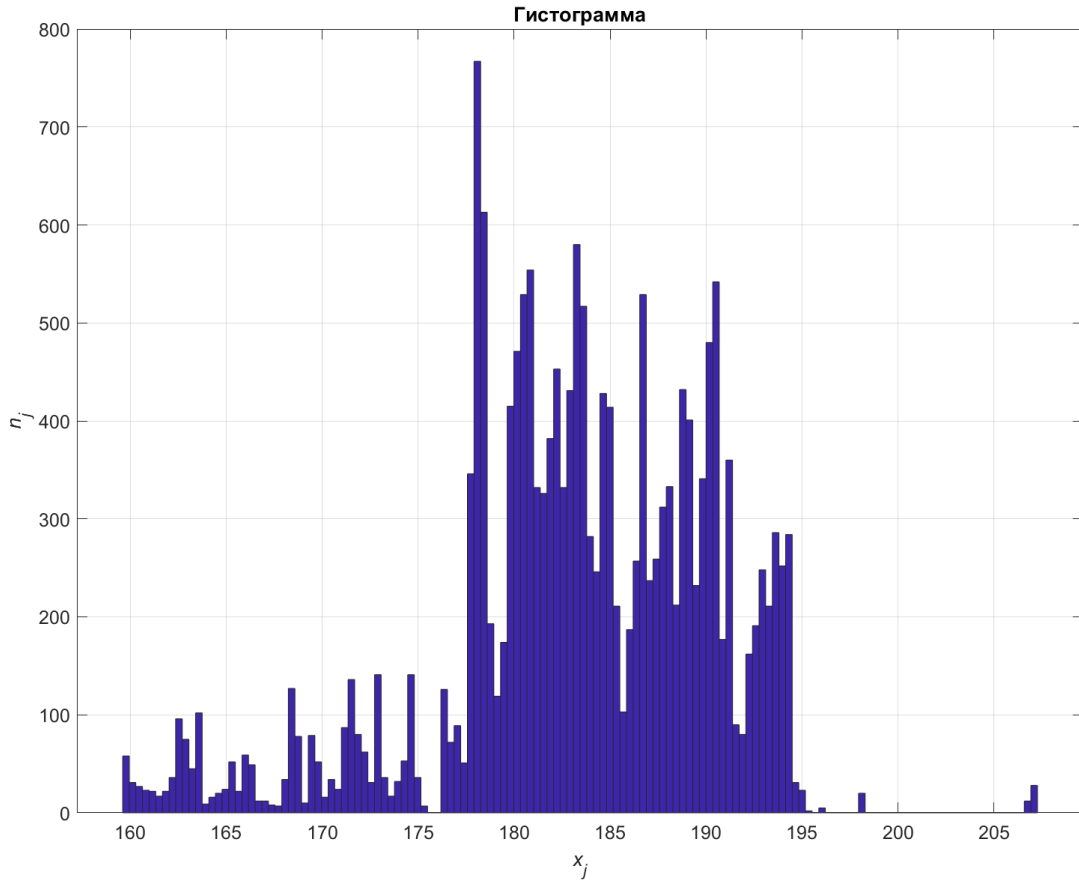


Рисунок 4.24 – Гістограма визначення висоти

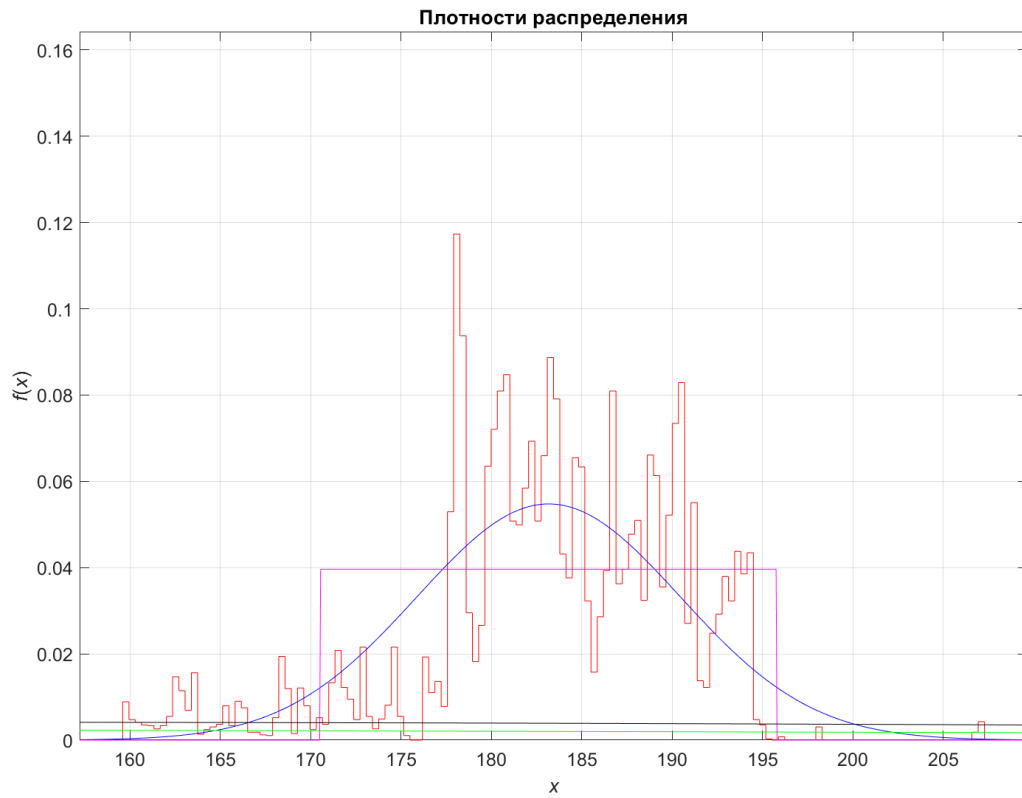


Рисунок 4.25 – Густина ймовірності помилки визначення висоти

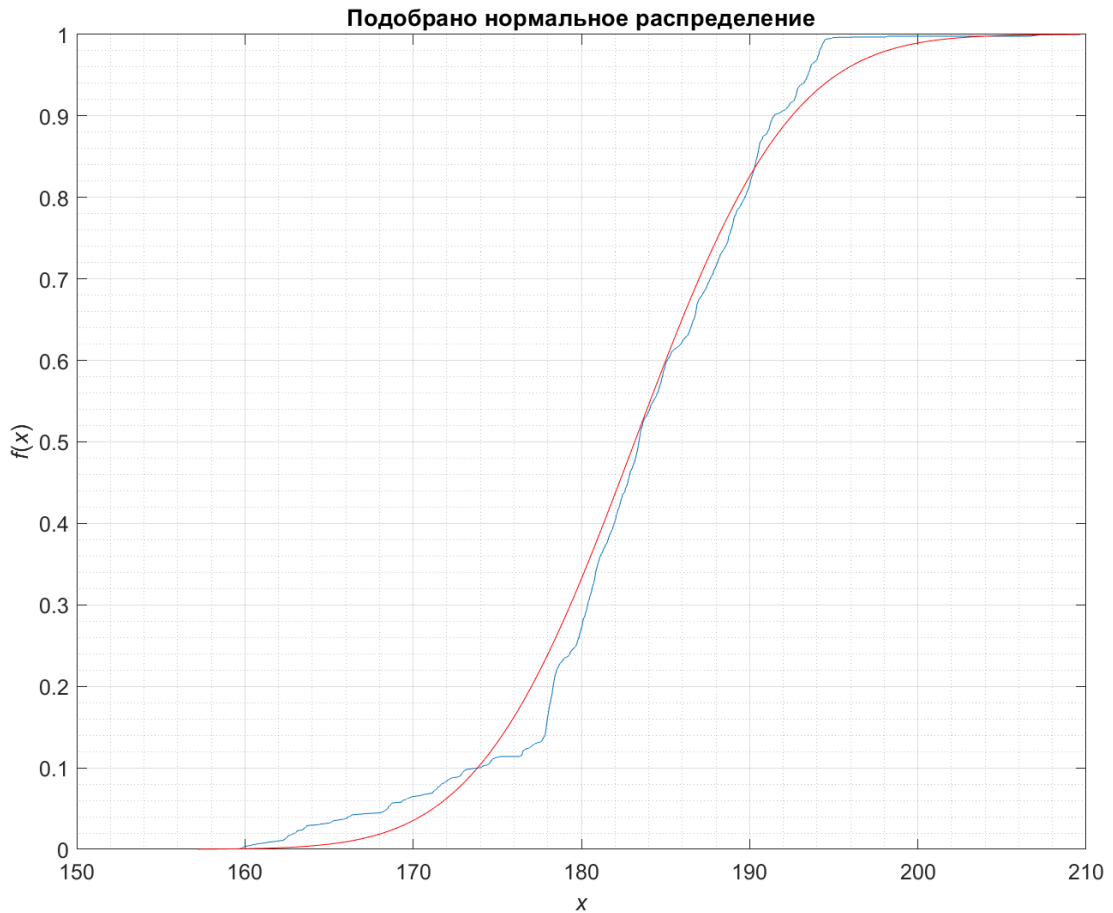


Рисунок 4.26 – Функція розподілу визначення довготи

#### 4.4 Результати експериментальних досліджень точності систем GPS та ГЛОНАСС при одно- та мультисистемному режимі обробки

Для виконання експериментальної частини ми здійснюємо запис початкових даних за допомогою навігаційного приймача. Файл запису містить наступні повідомлення:

GPSEPHEM

GLOEPHEMERIS

IONUTS

RANGE

PSPXYZ

SATXYZ

TIME

Зазначені повідомлення записані в бінарному виді з розширенням .gps. Тривалість запису не менше 5000 сек. Порядок виконання операцій з навігаційним приймачем:

1. Готуємо експериментальний стенд для прийому сигналів навігаційних супутників та налаштовуємо приймальне обладнання (рис. 4.27).

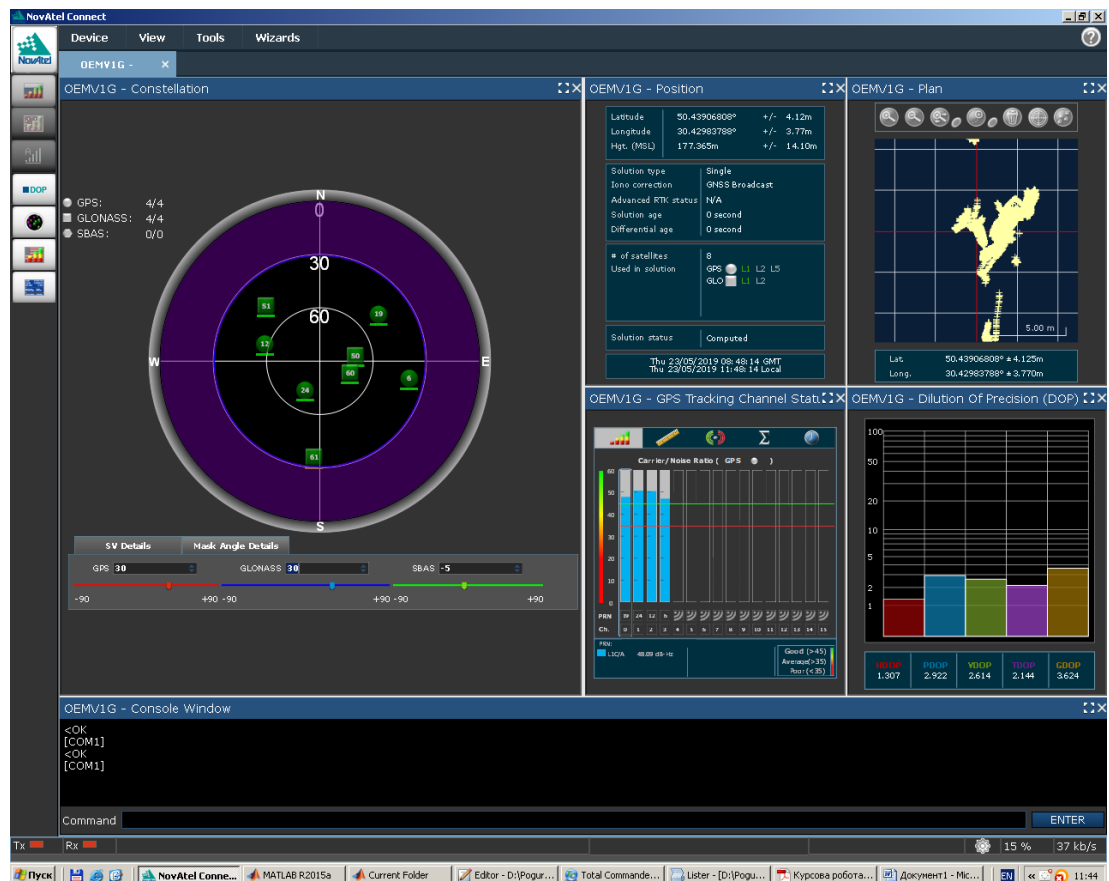


Рисунок 4.27 - Вигляд інтерфейсу приймача в робочому режимі.

2. Формуємо загальний логічний файл.
3. Виконуємо запис навігаційних даних тривалістю не менше 5000 сек (1,5 години).

Створюємо на ПК: папку **In\_Dat**, в яку переносимо записаний приймачем файл вхідних даних; папку **Out\_Dat**, в яку записуємо результати обробки даних програмним комплексом. Повні адреси до папок **In\_Dat** та **Out\_Dat** узгоджуємо з відповідними строками у тексті програми MAIN\_GNSS (рис. 4.28).

```

% =====
% БЛОК ДЛЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПУТЕЙ К ПАПКАМ СО ВХОДНЫМИ И ВЫХОДНЫМИ ДАННЫМИ

%
%           (при установке программы в новое место запуска
%           необходимо проверить/создать соответствующие директории,
%           названия конечных файлов не изменять)
%

Dat_Out_gln = 'D:\Pogurelskiy\Out_dat\GloEphemerides.epf';
Dat_Out_gps = 'D:\Pogurelskiy\Out_dat\GpsEphemerides.epf';

Dat_In = 'D:\Pogurelskiy\In_dat\11_11_13.gps'; %файл входных данных

fid = fopen(Dat_In, 'rb');
fw_gln = fopen(Dat_Out_gln, 'wt');
fw_gps = fopen(Dat_Out_gps, 'wt');
f_num_sat=fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\num_sat.dat', 'wt');
f_num_sat_gln=fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\num_sat_gln.dat', 'wt');
f_kol_sat=fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\kol_sat.dat', 'wt');

dX = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\dX.dat', 'wt');
dY = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\dY.dat', 'wt');
dZ = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\dZ.dat', 'wt');
dG = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\dG.dat', 'wt');

deX = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\deX.dat', 'wt');
deY = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\deY.dat', 'wt');
deZ = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\deZ.dat', 'wt');
deG = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\deG.dat', 'wt');

GGdeltaX = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\GGdeltaX.dat', 'wt');
GGdeltaY = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\GGdeltaY.dat', 'wt');
GGdeltaZ = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\GGdeltaZ.dat', 'wt');
GGdeltaG = fopen('D:\Pogurelskiy\Out_Dat\GGdeltaG.dat', 'wt')

```

Рисунок 4.28 – Фрагмент коду програми MAIN\_GNSS

Управляюча програма MAIN\_GNSS налаштовуємо у відповідному блоці (рис. 4.29) як на односистемну обробку лише даних GPS або ГЛОНАСС, так і на режим спільної обробки.

```

% =====
%
%           АКТИВАЦИЯ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
%
% значение флага "1" - активирует, а "0" отключает соответствующий режим
%
%           flagGPS = 1;   % ОБРАБОТКА ТОЛЬКО ДАННЫХ GPS
%           flagGLN = 1;  % ОБРАБОТКА ТОЛЬКО ДАННЫХ ГЛОНАСС
%           flagGG = 1;   % СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА GPS+ГЛОНАСС
%           flagfpri tf =1;
%
% =====

```

Рисунок 4.29 – Блок налаштування режимів обробки даних

Файл вхідних даних може бути оброблений як по всьому об'єму записаних даних, так і з обраним обмеженням. Для цього виконуємо відповідні налаштування у блоці, представленому на рис. 4.30.

```

% =====
%
%           ЗАПУСК ЦИКЛА ОБРАБОТКИ ФАЙЛА ЗАПИСИ
%
%while (~feof(fid)) % активирует обработку всего объема записанного файла
for ii= 1:5000      % устанавливаемое при ограничении объема обработки
%
% =====

```

Рисунок 4.30 – Налаштування об'єму обробки

Результатом роботи програми є одержання графіків (рис. 4.31 – 4.32), на яких відтворюється кількість задіяних в оброці супутників та різниця між координатами, розрахованими програмою, і координатами, які визначив навігаційний приймач.

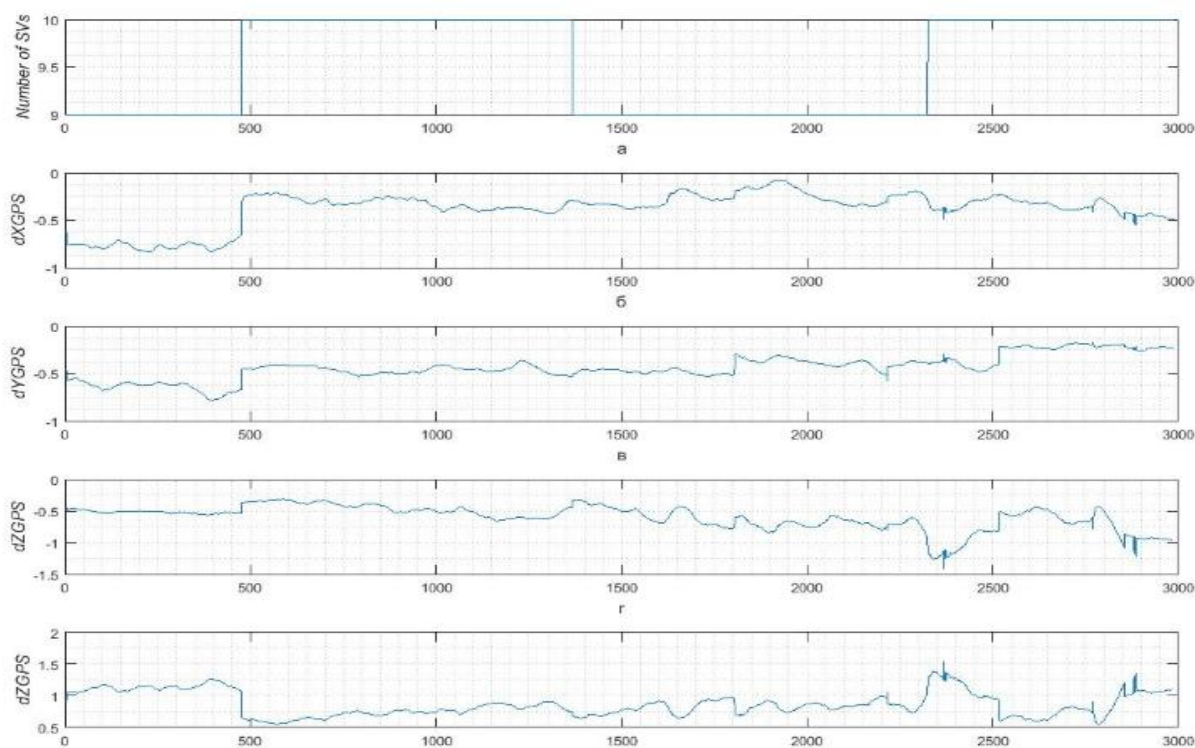


Рисунок 4.31 – Результат обработки за даними GPS

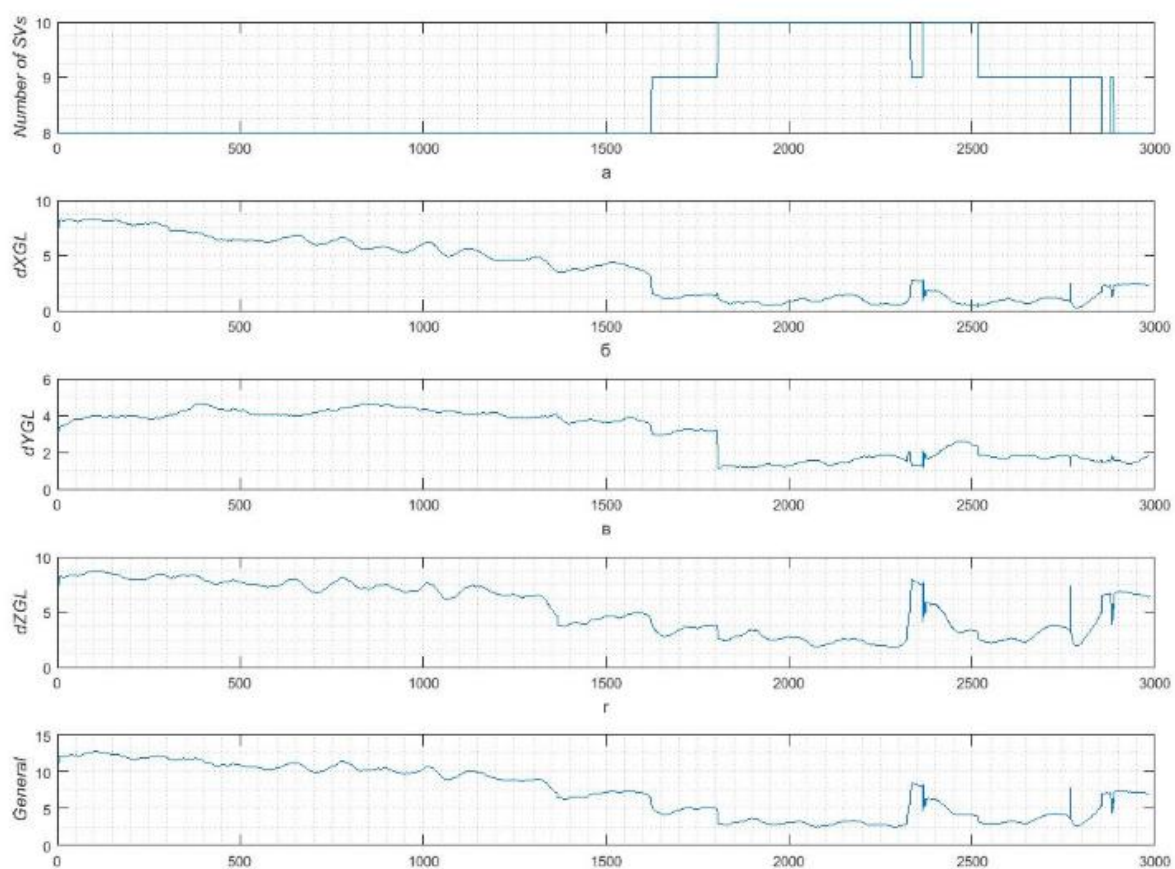


Рисунок 4.32 – Результат обработки за даними ГЛОНАСС

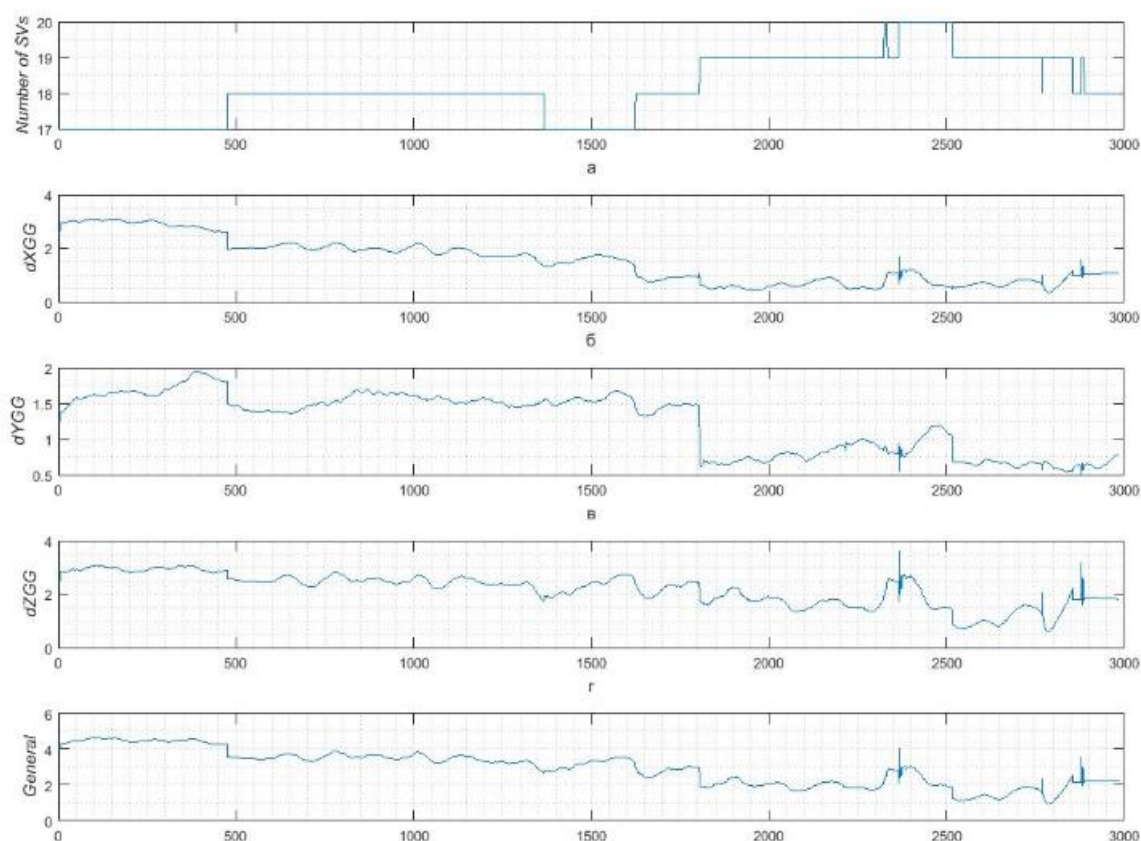


Рисунок 4.33 - Результати обробки за даними GLONASS і GPS

### *Одержання статистичних оцінок режимів обробки даних*

В результаті роботи програми отримані масиви даних записуються до папки вихідних даних Out\_Dat у вигляді файлів з розширенням .dat.

Для розрахунку статистичних показників одержаних виборок застосовуємо готові програмні продукти, спрямовані на виконання подібних математичних завдань. Однією з таких програм для середовища Matlab є програма STATISTICS.m, яка міститься в папці COMPLEX\_GNSS.

Для одержання статистичних оцінок в програмі STATISTICS необхідно вказати ім'я та адресу розташування файлу з масивом даних (рис. 4.34).



```

clear all % очистили рабочую область

% ===== АДРЕС И ИМЯ ФАЙЛА =====
sf='D:\Pogurelskiy\Out_dat\GGdeltaG.dat';
% =====

x=load(sf); % вводим ИД
x=sort(x(:)); % переформатировали столбец и рассортировали
n=length(x); % количество данных
xmin=x(1); % минимальное значение
xmax=x(n); % максимальное значение
fprintf('Обрабатываем файл %s\n',sf)
fprintf('Объем выборки n=%d\n',n)
fprintf('xmin=%14.7f\n',xmin)
fprintf('xmax=%14.7f\n',xmax)

```

Рисунок 4.34 – Фрагмент коду програми STATISTICS.m

Результатом роботи програми STATISTICS.m є одержання цілого ряду статистичних оцінок і параметрів досліджуваного масиву даних. А також наступних графіків: гістограми (рис. 4.35 – 4.37), щільності розподілу ймовірності (рис. 4.38) та функції розподілу випадкової величини (рис. 14.39).

Одержані оцінки:

GLONASS

Обрабатываем файл D:\Pogurelskiy\Out\_dat\deG.dat

Объем выборки n=2987

xmin= 2.5295690

xmax= 12.7771250

Выборочное математическое ожидание  $Mx= 7.3517454$

Число степеней свободы выборки  $f=2986$

Дисперсия  $Dx= 11.4560948$

Среднеквадратичное отклонение  $Sx= 3.3846853$

Асимметрия  $Ax= -0.0285820$

Экцесс  $Ex= -1.5162130$

Медиана  $Medx= 7.2614110$

Размах  $Rx= 10.2475560$



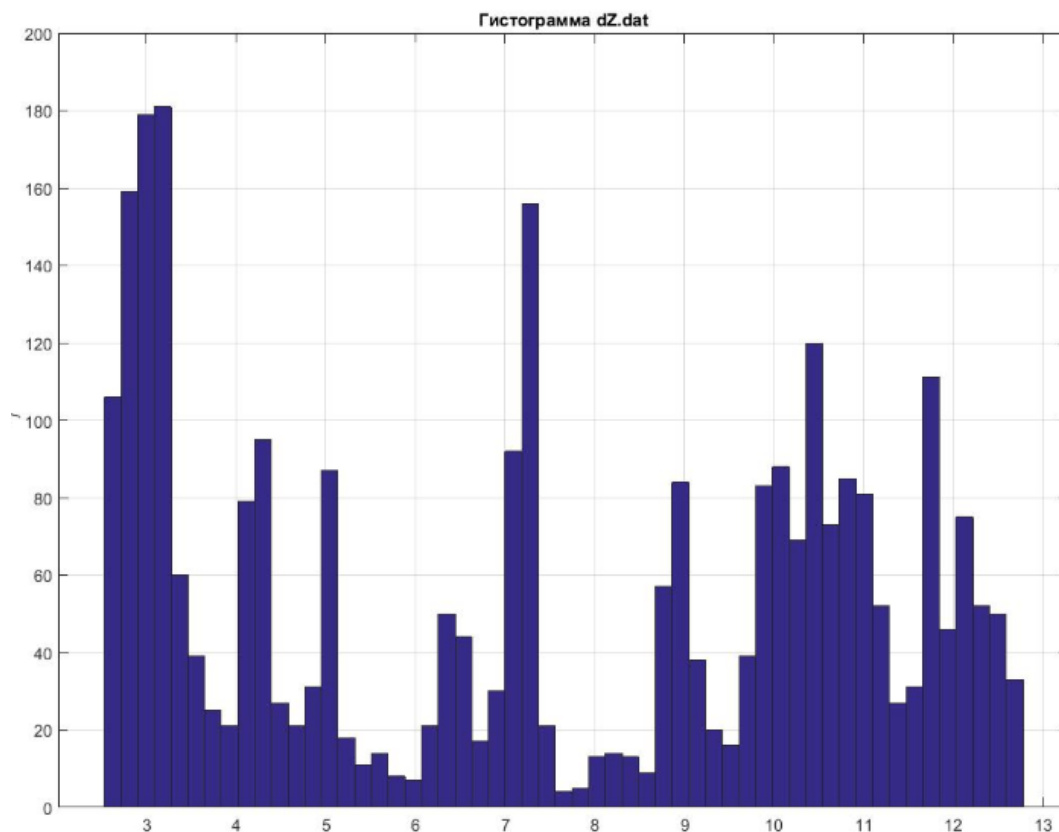


Рисунок 4.35 – Гистограмма GLONASS

## GPS

Обрабатываем файл D:\Pogurelskiy\Out\_dat\dG.dat

Объем выборки  $n=2987$

$x_{\min}= 0.5443810$

$x_{\max}= 1.5370180$

Выборочное математическое ожидание  $Mx= 0.8654936$

Число степеней свободы выборки  $f=2986$

Дисперсия  $Dx= 0.0360478$

Среднеквадратичное отклонение  $Sx= 0.1898626$

Асимметрия  $Ax= 0.5689829$

Экцесс  $Ex= -0.5112794$

Медиана  $Medx= 0.8307990$

Размах  $Rx= 0.9926370$

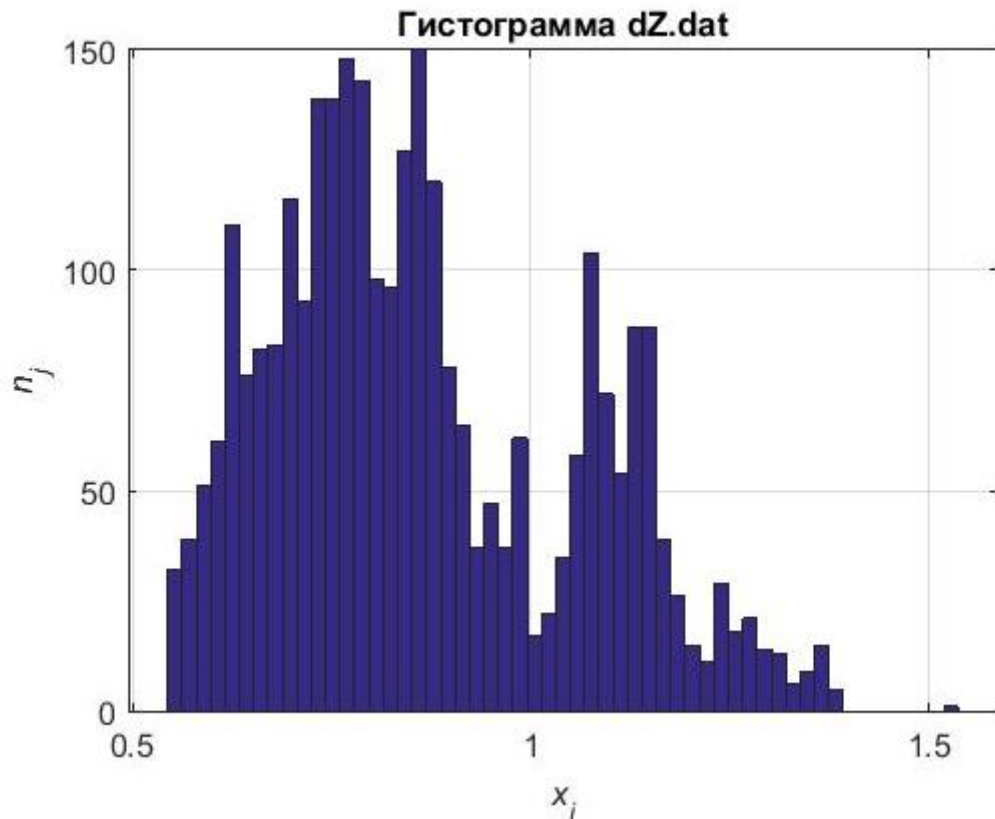


Рисунок 4.36 – Гістограма GPS

GG

Обрабатываем файл D:\Pogurelskiy\Out\_dat\GGdeltaG.dat

Объем выборки  $n=2987$

$x_{\min}= 0.9566260$

$x_{\max}= 4.6654600$

Выборочное математическое ожидание  $Mx= 2.9651898$

Число степеней свободы выборки  $f=2986$

Дисперсия  $Dx= 0.9688065$

Среднеквадратичное отклонение  $Sx= 0.9842797$

Асимметрия  $Ax= -0.0475291$

Экцесс  $Ex= -1.0189239$

Медиана  $Medx= 3.1841090$

Размах  $Rx= 3.7088340$

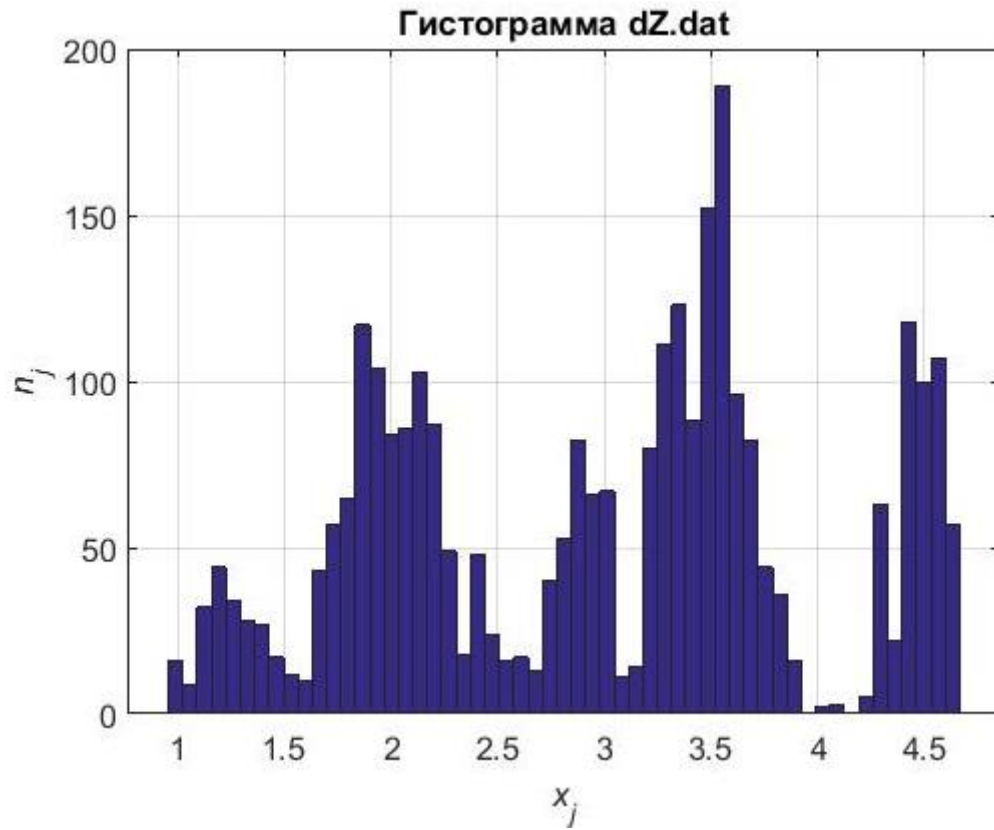


Рисунок 4.37 – Гістограма GG

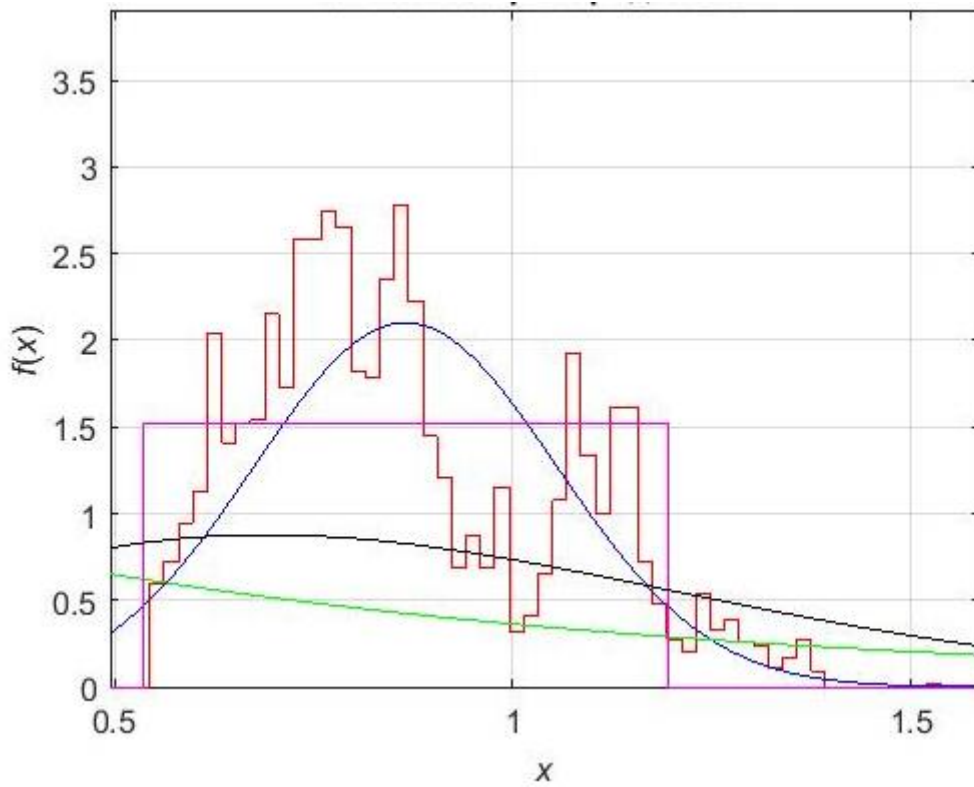


Рисунок 4.38 – Щільності розподілу ймовірності

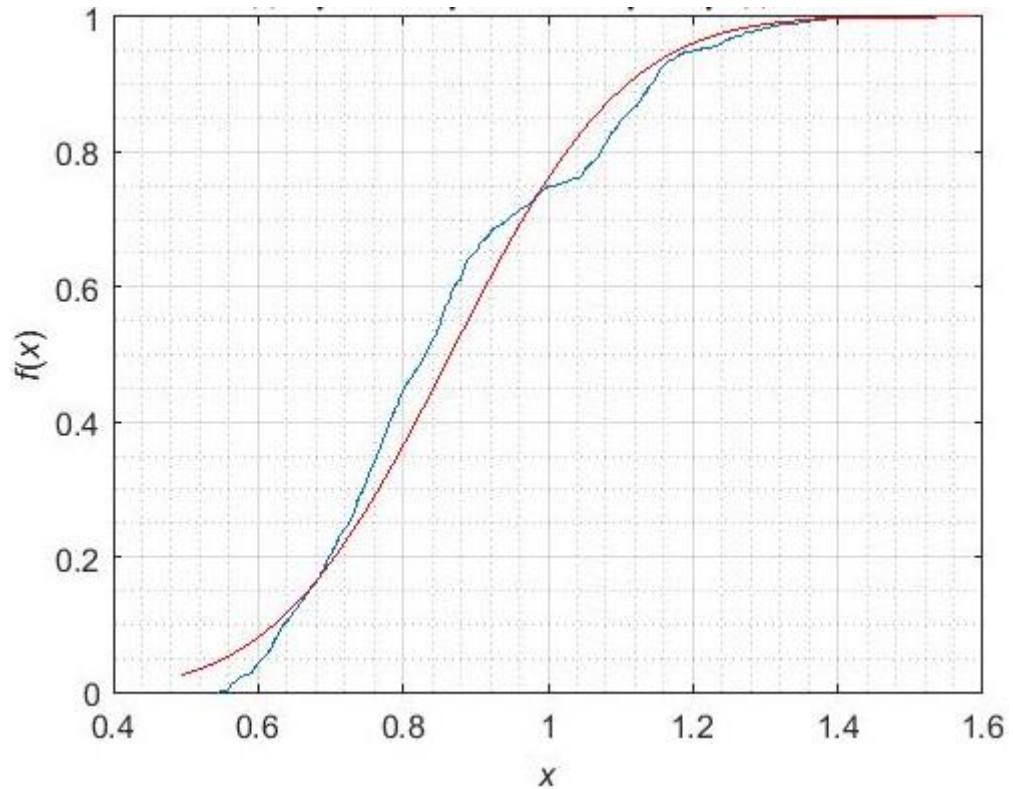


Рисунок 4.39 – Функція розподілу випадкової величини

Результати роботи програми - одержання графіків, на яких відтворюється кількість задіяних в обробці супутників та різниця між координатами, розрахованими програмою, і координатами, які визначив навігаційний приймач.

Для одержання більш достовірних даних експериментальні записи були виконані в рамках нової сесії досліджень. Результати обробки одержаних вхідних даних приведені на рис. 4.40 – 4.58.

## GLONASS

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
распределение подороано верно, т.к. snlz<=snlz(1-q)
>> STATISTICS
Обрабатываем файл E:\GPSLAB\Out_dat\deG.dat
Объем выборки n=19214
xmin= 0.3168720
xmax= 10.1496730
Выборочное математическое ожидание Mx= 4.4007601
Число степеней свободы выборки f=19213
Дисперсия Dx= 2.6097309
Среднеквадратичное отклонение Sx= 1.6154661
Асимметрия Ax= 0.2274405
Экцесс Ex= -0.7329509
Медиана Medx= 4.1024470
Размах Rx= 9.8328010

ans =

    0.1974

Доверительные интервалы для генерального математического ожидания
r= 0.9000: 4.381589<=mx<= 4.419931
r= 0.9500: 4.377916<=mx<= 4.423604
r= 0.9900: 4.370737<=mx<= 4.430783
r= 0.9990: 4.362405<=mx<= 4.439115
Доверительные интервалы для генеральной дисперсии
r= 0.9000: 2.566508<=Dx<= 2.654115
r= 0.9500: 2.558320<=Dx<= 2.662714

```

Рисунок 4.40 – Дані ГЛОНАСС

## GPS

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> STATISTICS
Обрабатываем файл E:\GPSLAB\Out_dat\dG.dat
Объем выборки n=19210
xmin= 0.0186570
xmax= 1.6637480
Выборочное математическое ожидание Mx= 0.5359527
Число степеней свободы выборки f=19209
Дисперсия Dx= 0.0804562
Среднеквадратичное отклонение Sx= 0.2836481
Асимметрия Ax= 0.4154760
Экцесс Ex= -0.6457393
Медиана Medx= 0.5131285
Размах Rx= 1.6450910

ans =

    0.1974

Доверительные интервалы для генерального математического ожидания
r= 0.9000: 0.532586<=mx<= 0.539319
r= 0.9500: 0.531941<=mx<= 0.539964
r= 0.9900: 0.530681<=mx<= 0.541225
r= 0.9990: 0.529218<=mx<= 0.542688
Доверительные интервалы для генеральной дисперсии
r= 0.9000: 0.079124<=Dx<= 0.081825

```

Рисунок 4.41 – Дані GPS

## GLONASS, GPS

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> STATISTICS
Обрабатываем файл E:\GPSLAB\Out_dat\GGdeltaG.dat
Объем выборки n=19204
xmin= 0.1241840
xmax= 5.1774800
Выборочное математическое ожидание Mx= 1.7526761
Число степеней свободы выборки f=19203
Дисперсия Dx= 0.4555510
Среднеквадратичное отклонение Sx= 0.6749452
Асимметрия Ax= 0.1999545
Экцесс Ex= -0.1615684
Медиана Medx= 1.7958435
Размах Rx= 5.0532960

ans =

    0.1974

Доверительные интервалы для генерального математического ожидания
r= 0.9000: 1.744664<=mx<= 1.760688
r= 0.9500: 1.743129<=mx<= 1.762223
r= 0.9900: 1.740129<=mx<= 1.765223
r= 0.9990: 1.736647<=mx<= 1.768705
Доверительные интервалы для генеральной дисперсии
r= 0.9000: 0.448004<=Dx<= 0.463301
r= 0.9500: 0.446575<=Dx<= 0.464902

```

Рисунок 4.42 – Дані GPS+ГЛОНАСС

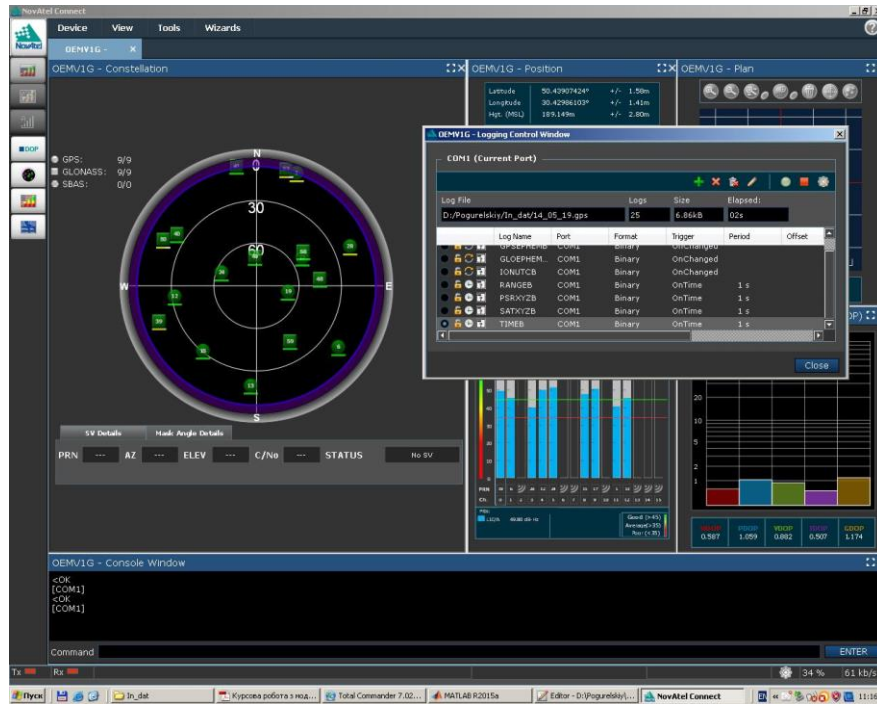


Рисунок 4.43 - Інтерфейс NovAtel на початку запису 12 листопада 11:26

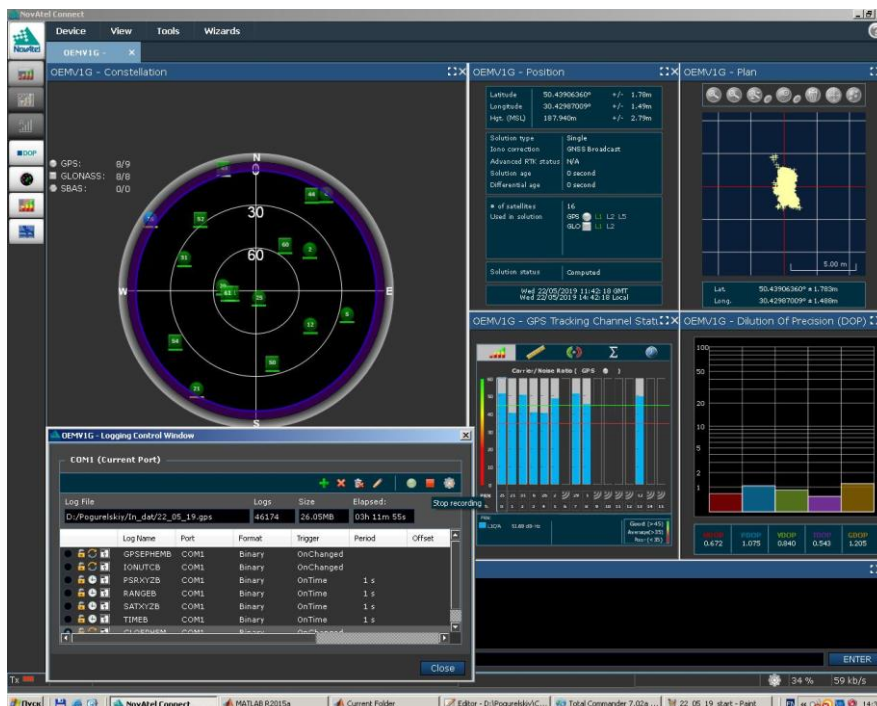


Рисунок 4.44 - Інтерфейс NovAtel в кінці запису 14:26

Результати роботи програми - одержання графіків, на яких відтворюється кількість задіяних в обробці супутників та різниця між координатами, розрахованими програмою, і координатами, які визначив навігаційний приймач.



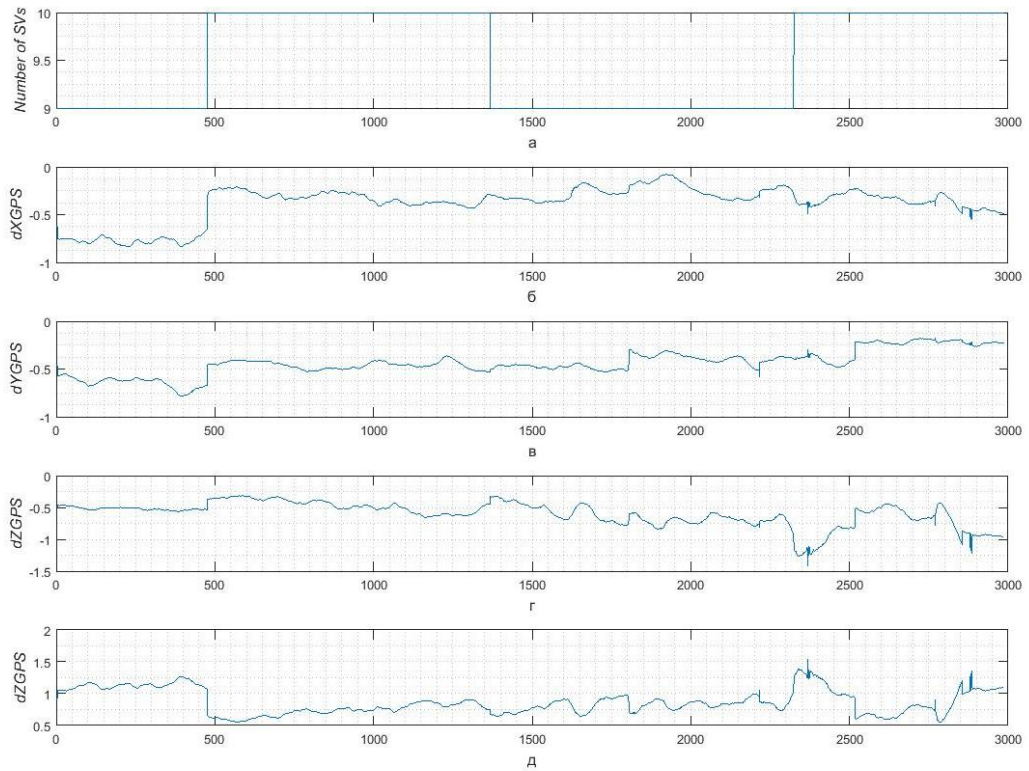


Рисунок 4.45 - Результаты обработки за даними GPS

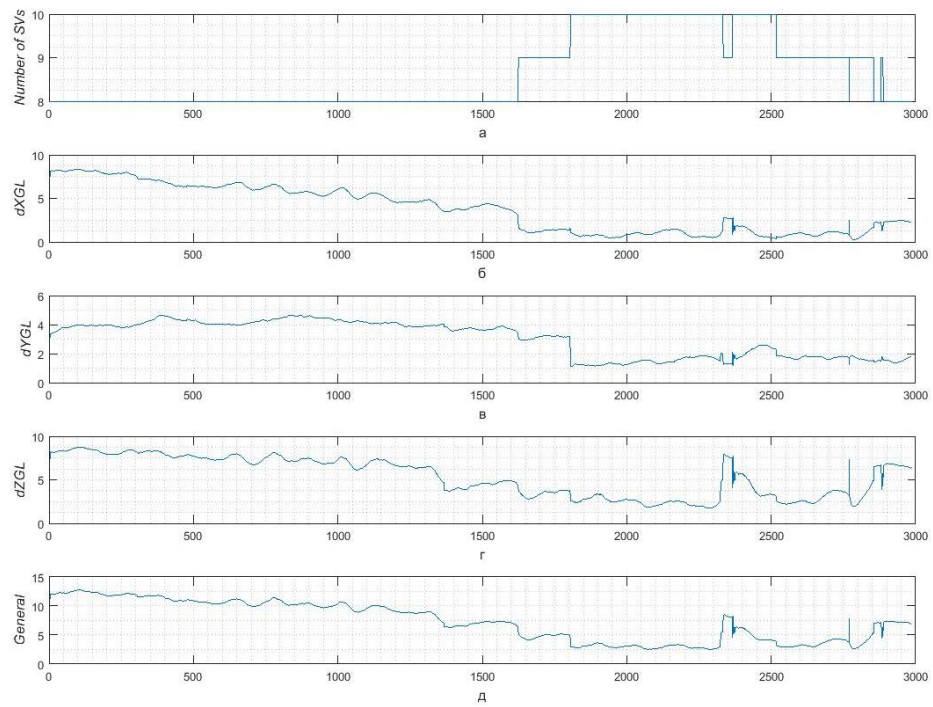


Рисунок 4.46 - Результаты обработки за даними GLONASS

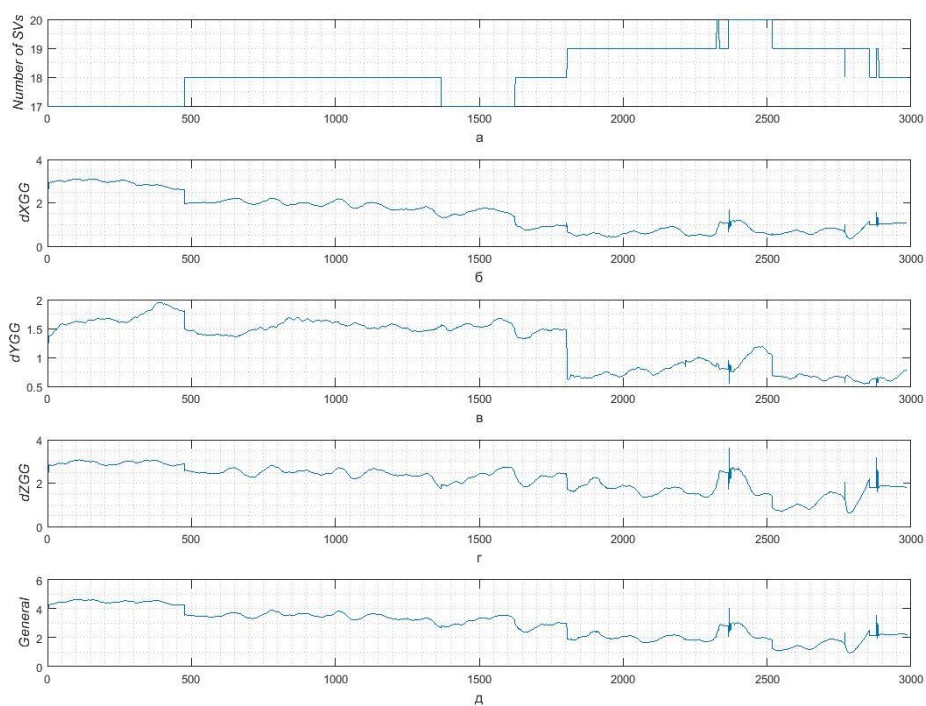


Рисунок 4.47 - Результати обробки за даними GLONASS і GPS

Отримані гістограми статичних даних

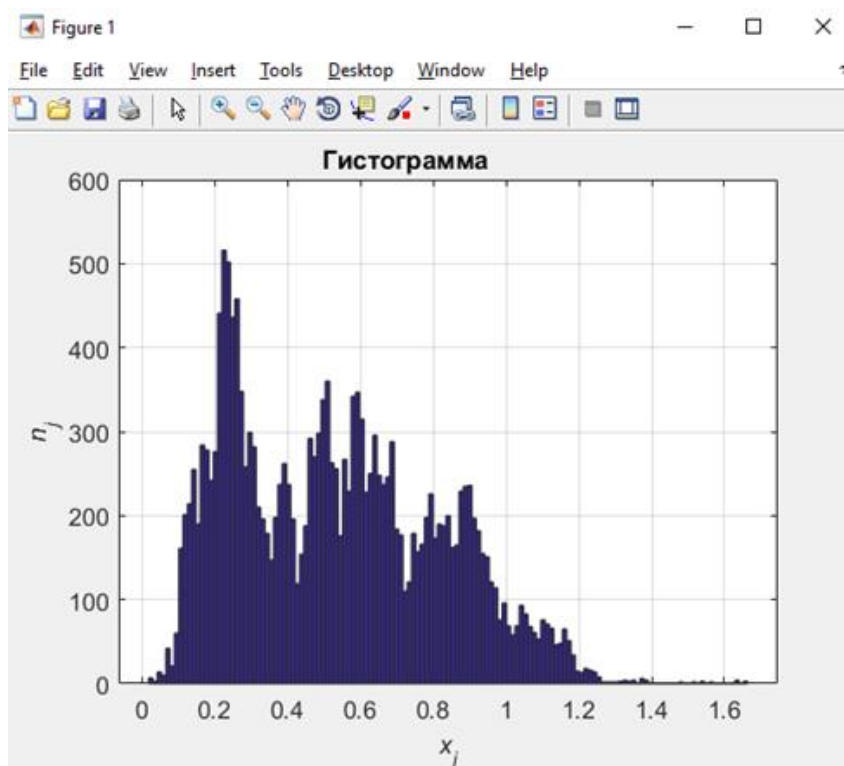


Рисунок 4.48 - Гістограма по GPS супутникам



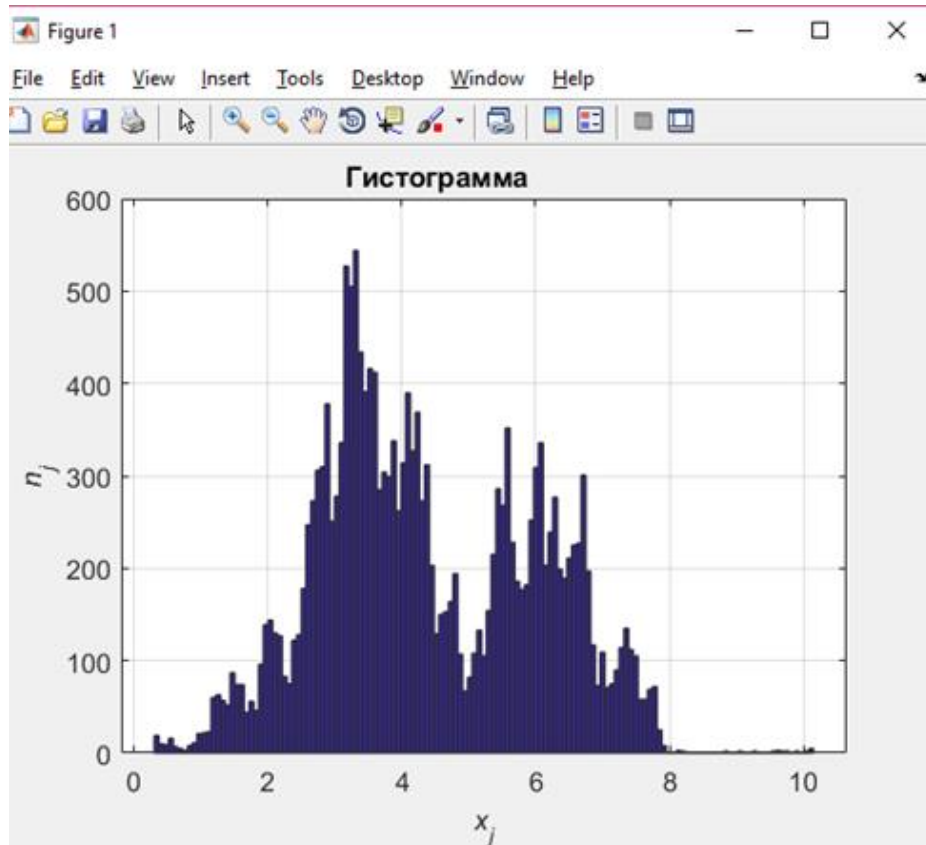


Рисунок 4.49 - Гістограма по GLONASS супутниках

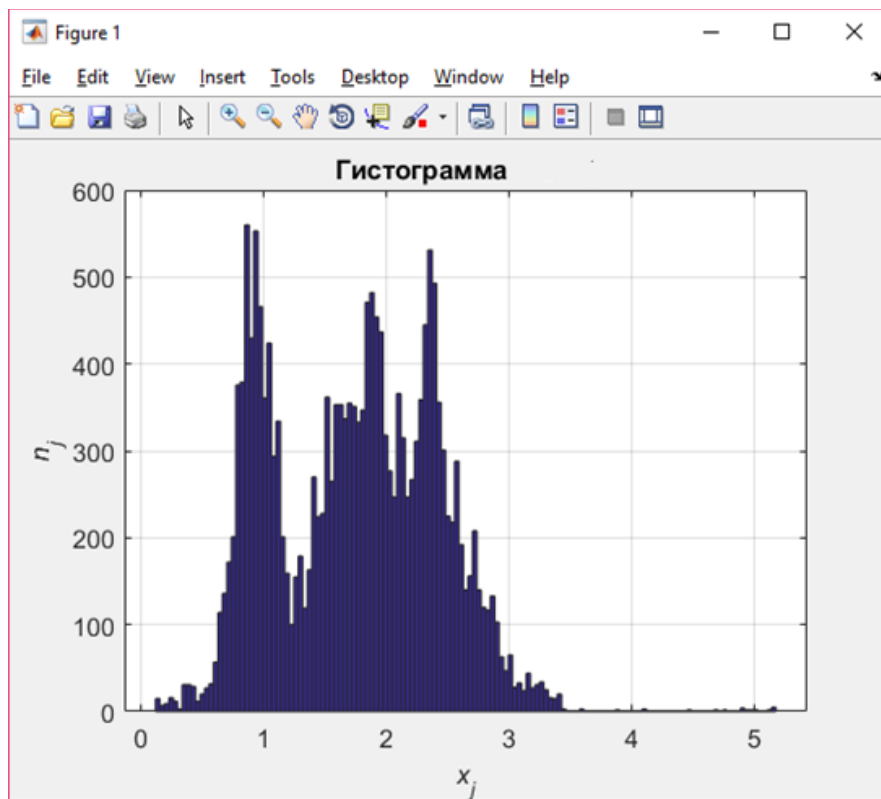


Рисунок 4.50 - Гістограма по GPS та GLONASS супутниках

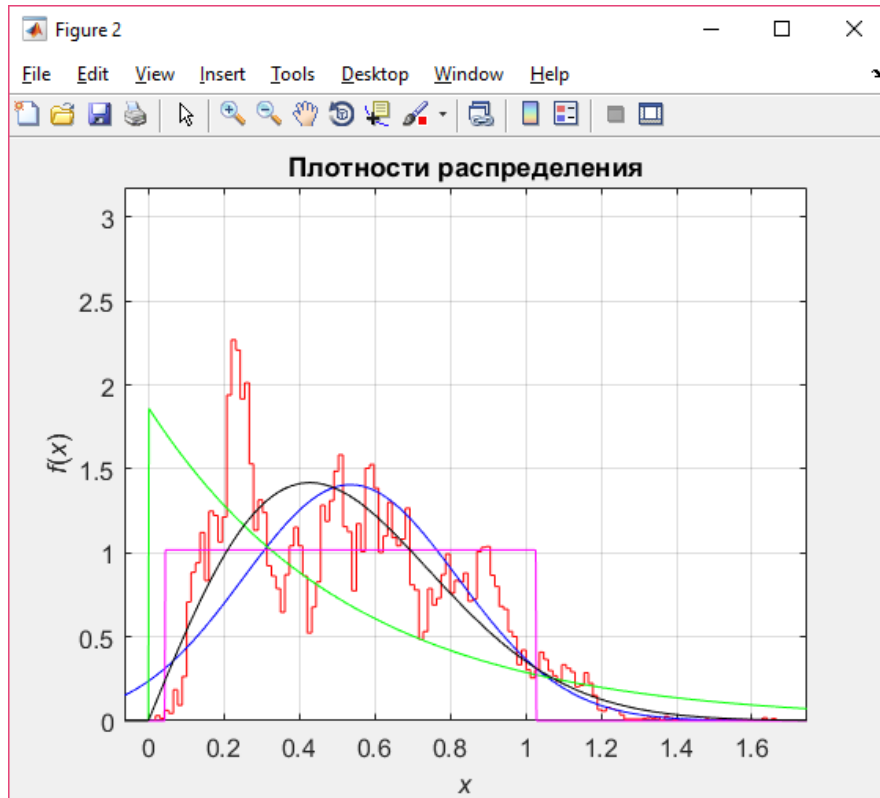


Рисунок 4.51 - Щільність розподілення GPS супутників

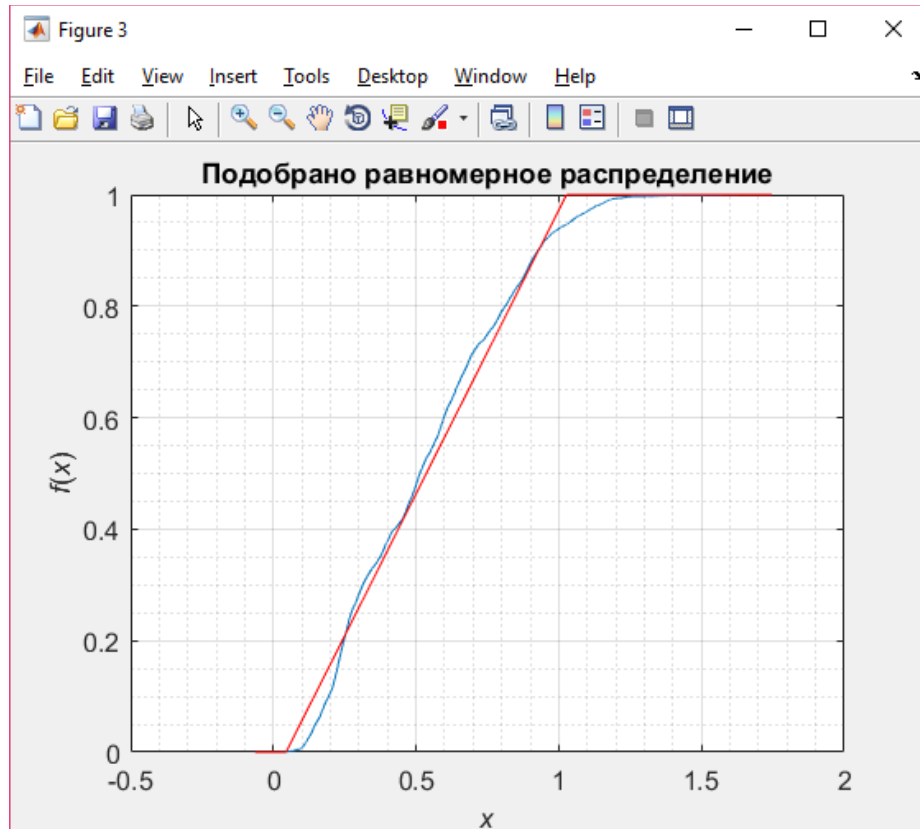


Рисунок 4.52 - Нормальний розподіл GPS супутників

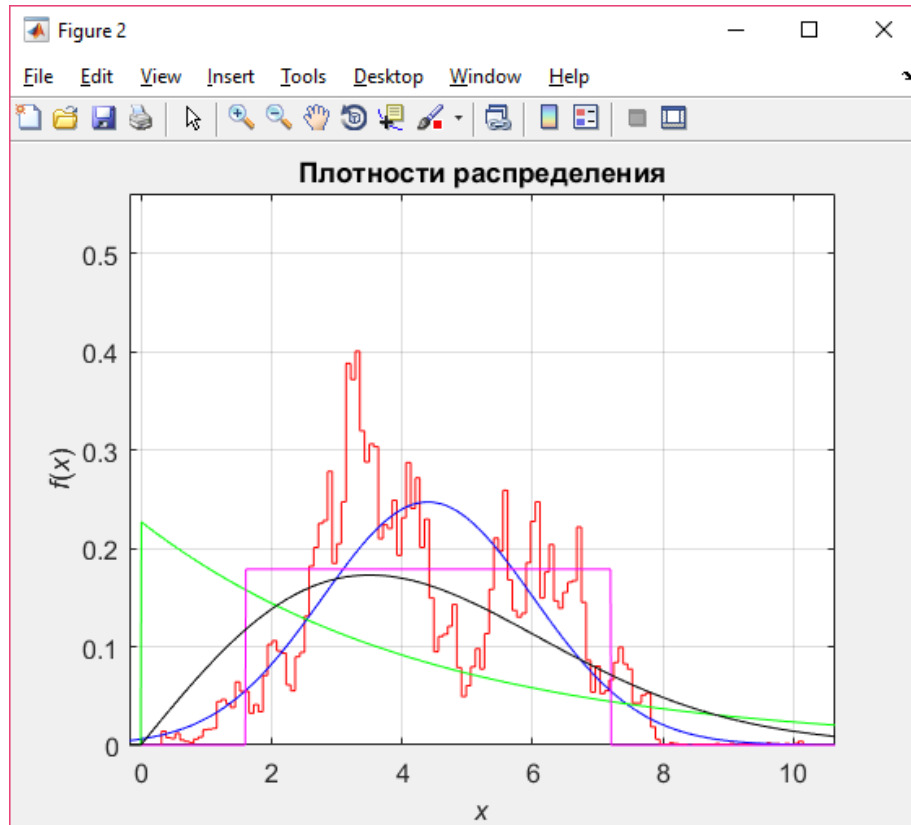


Рисунок 4.53 - Щільність розподілення GLONASS супутників

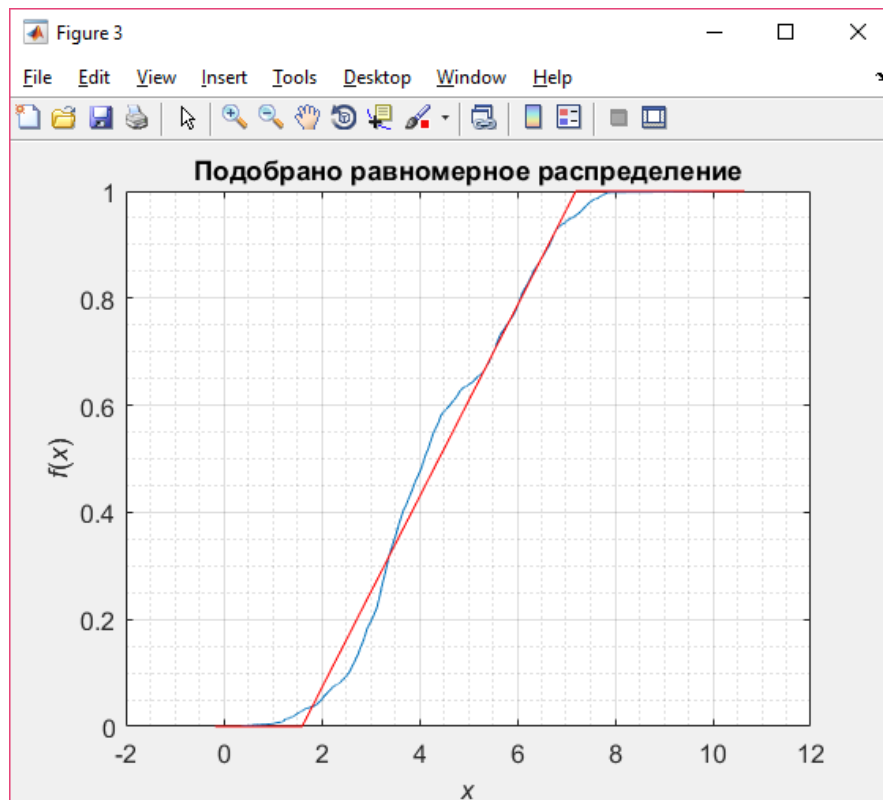


Рисунок 4.54 - Нормальний розподіл GLONASS супутників

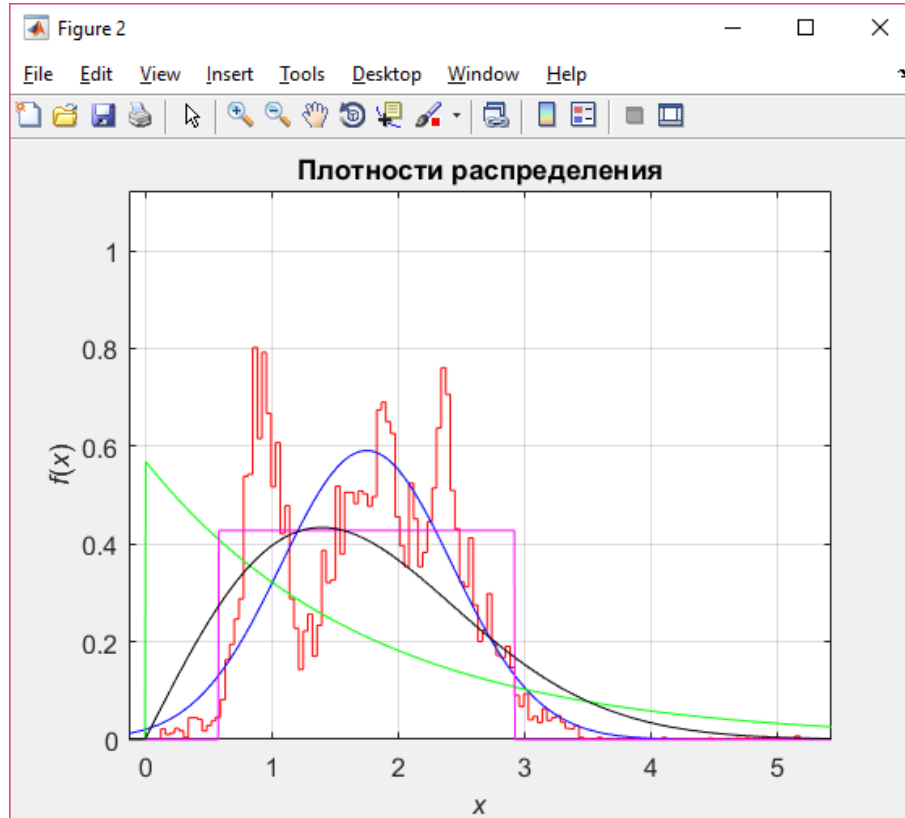


Рисунок 4.55 Щільність розподілення GPS та GLONASS супутників

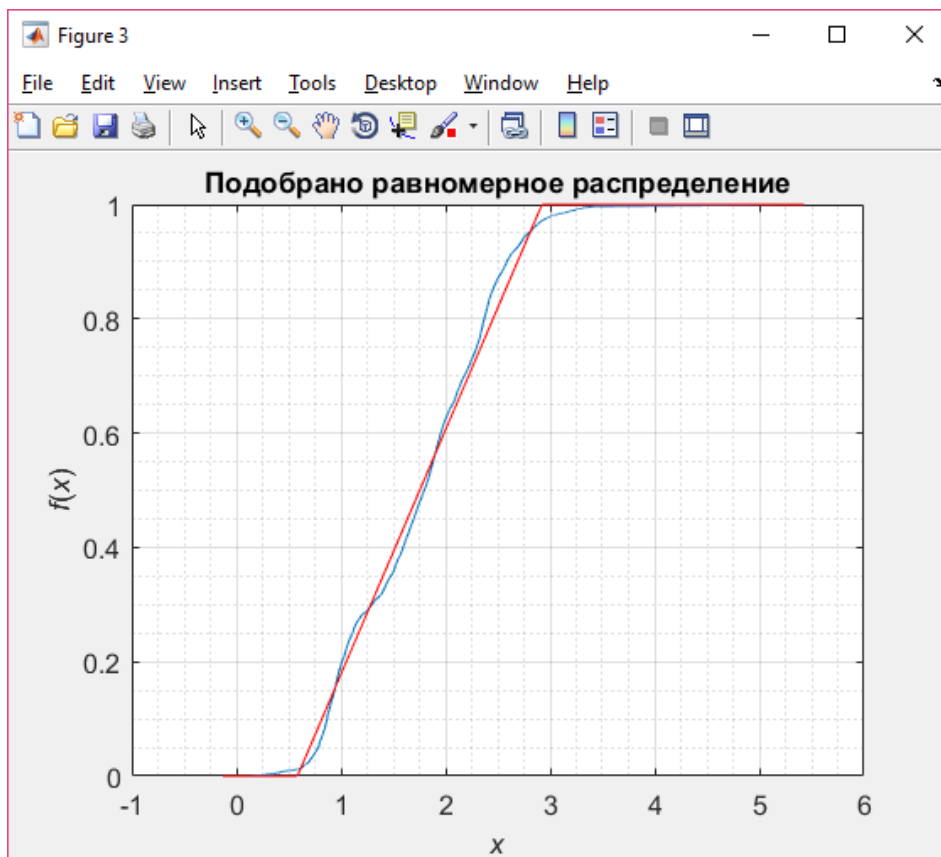


Рисунок 4.56 - Нормальний розподіл GPS та GLONASS супутників

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

В розділі приведені розрахункові та графічні результати обробки навігаційних визначень, а саме помилок розрахунку координат навігаційною станцією по даним супутникових навігаційних систем Galileo, GPS та ГЛОНАСС в одно- та мультисистемному режимах роботи.

Одержані результати дозволяють оцінити точність роботи досліджених навігаційних систем на наступному рівні:

- для системи Galileo (95% вимірювань):
  - при визначенні широти: не більше 0,0001
  - при визначенні довготи: не більше 0,00008
  - при визначенні висоти: не більше 14 м
- для системи GPS (95% вимірювань)
  - при визначенні широти: не більше 0.9 м
  - при визначенні довготи: не більше 1.2 м
  - при визначенні висоти: не більше 12 м
- при визначенні висоти: не більше для системи ГЛОНАСС (95% вимірювань):
  - при визначенні широти: не більше 3.6 м
  - при визначенні довготи: не більше 2.8 м
  - при визначенні висоти: не більше 14 м
- для спільної роботи систем GPS та ГЛОНАСС (95% вимірювань):
  - при визначенні широти: не більше 1.9 м
  - при визначенні довготи: не більше 2.1 м
  - при визначенні висоти: не більше 10.2 м

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В першому розділі на основі інформації з різних науково-технічних джерел зроблено огляд видів навігаційних систем, які можуть бути джерелами даних про просторові координати користувача та його орієнтацію.

Ця інформація представляє собою дані. У виконаному огляді розглянуто різні існуючі типи даних і відповідних методів, які можуть бути застосовані до їх обробки для одержання додаткової інформації про характеристики системи яка досліджується.

До масивів числових даних доцільно застосовувати статистичні методи обробки, що пропонується більш детально розглянути і застосувати в наступних розділах роботи.

В третьому розділі роботи послідовно були висвітлені теоретичні засади статистичної обробки даних навігаційних визначень, одержаних експериментальним шляхом.

Були проаналізовані можливості оцінки характеристик навігаційної системи на основі запису приймальним обладнань повідомлень, які містять результати розрахунку координат.

Ця інформація дозволяє сформувані масиви помилок визначення координат, яка представляє собою вибірккову сукупність, що на наступному етапі може бути статистично оброблена.

Розроблено алгоритм запису експериментальних даних за допомогою обладнанням лабораторії супутникових систем, який передбачає використання робочого місця з доступом до інтерфейсу навігаційної станції. Даний алгоритм дозволить одержати вхідні дані для оцінки точності роботи систем GPS та ГЛОНАСС в односистемному режимі, а також в режимі мультисистемної обробки по їх даним разом. На етапі аналізу одержаних результатів це дасть

можливість порівняти два режими роботи навігаційного приймального обладнання між собою.

Розроблено методику налаштування приймача і запису навігаційних даних при роботі з даними Galileo, яка передбачає доступ до іншого комплекту приймального обладнання, оснащеного оновленим інтерфейсом. Тим не менше зберігається функція запису повідомлень з необхідними вхідними даними для обробки в тому самому форматі, як і при роботі з даними GPS і ГЛОНАСС. Це дозволить на етапі експериментальних досліджень використати ті ж самі програмні інструменти. Причому як для декодування записаних навігаційних повідомлень, так і для статистичної обробки експериментальних даних.

Розроблено алгоритм застосування програми Statistic для обробки масивів експериментальних даних. Обраний програмний інструмент призначений для проведення статистичної оцінки числових вхідних даних, які спеціальним чином мають бути записані у папку вхідних даних з подальшим налаштуванням програми на їх знаходження за вказаною адресою і ім'ям і обробку.

Одержані результати дають теоретичне і алгоритмічне обґрунтування для виконання запису і обробки експериментальних даних, що буде виконано в наступному розділі роботи.

В четвертому розділі приведені розрахункові та графічні результати обробки навігаційних визначень, а саме помилок розрахунку координат навігаційною станцією по даним супутникових навігаційних систем Galileo, GPS та ГЛОНАСС в одно- та мультисистемному режимах роботи.

Одержані результати дозволили оцінити точність роботи досліджених навігаційних систем.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. M. Richharia, (1999), “Satellite communication systems”, McGraw Hill, New York, 1999.
2. D. Roddy, “Satellite communications”, McGraw Hill, New York, 2006.
3. G. Maral and M. Bousquet, “Satellite communication systems”, John Willey & Sons, Ltd, Chichester, England, 2002.
4. R. E. Zee, et al, “The MOST Microsatellite: A low cost enabling technology for future space science and technology missions”, Canadian Aeronautics and Space Journal, 48(1), Canada, pg. 1-11, 2002.
5. J.E. Oberright, “Satellite artificial”, World Book Online Reference Center, World Book, Inc, 2004.
6. I. F. Alyildiz, H. Uzunalioglu, M. D. Bender, Turkiye, “ Handover management in Low Earth Orbit (LEO) satellite networks” Mobile Networks and Applications 4 (1999) 301 -310.
7. P. Papapetrou, S. Karapantazis, F.N. Pavlidou, “ Handover Policies in LEO Systems with Satellite Diversity”, International Conference on Advanced Satellite Mobile Systems (ASMS 2003), 10-11 July, 2003, Frascati, Italy.
8. Y. Seyedi, S. M. Safavi, “On the Analysis of Random Coverage Time in Mobile LEO Satellite Communications”, Communications Letters, IEEE, Volume 16, Issue 5, MAY 2012.
9. A. Botta, A. Pescape, “New generation satellite broadband Internet service: should ADSL and 3G worry”, TMA 2013, co-lacted with IEEE INFOCOM 2013, April 2013, Turin, Italy.
- 10.S. Cakaj, “Modulation Index Application for Satellite Adjacent Downlink Interference Identification”, The 6th European Conference on Antennas and Propagation EUCAP 2012, IEEE, March 26-30, 2012 – Prague, Czech Republic, pp. 2000-2004.
- 11.S. Cakaj, W. Keim, K. Malaric, “Intermodulation by Uplink Signal at Low Earth Orbiting Satellite Ground Station”, 18th International Conference on Applied



- Electromagnetics and Communications, ICECom, IEEE, 12-14 October 2005, Dubrovnik, Croatia, pp. 193 - 196.
- 12.G.D. Gordon, W.L. Morgan, ‘Principles of communication satellites’, John Wiley & sons, Inc. 1993.
  - 13.H. Curtis, “Orbital Mechanics for Engineering Students”, Elsevier aerospace engineering series, pg. 55, 1998.
  - 14.John G. Grimes, Global Positioning System Performance Standard / Grimes// - Washington DC 20301-6000: 6000 Defence Pentagon, 4<sup>th</sup> Edition 2008– p.4-12.
  - 15.Eastern Service Area NAVAIDS Briefing Performance // Washington, March 2009 – p.7-15.
  - 16.Thomas Herring, Principles of the Global Positioning System [Text]: Control Segment – Harward: Academic Press, 2006 –p.16-35.
  - 17.Frank Van Diggelen, GPS: Assisted GPS, GNSS and SBAS – Springfield, VA 22151 USA 2003 – p.171-201.
  - 18.James Farrell, Aided Navigation and Tracking: Inertially Augmented or Autonomous, Navtech GPS / Washington: HCI-Aero, 2002 – p.49-64.
  - 19.James Farrell, Aided Navigation and Tracking: Inertially Augmented or Autonomous, Navtech GPS / Washington: HCI-Aero, 2002 – p.79-101.
  - 20.Robert J. Samuelson, Marlin Mata, GPS Modernization Challenges and Military Implications/ Science Publishers Incorporated//- 2012 – p. 19-27.
  - 21.J. Sanz Subirana, JM. Juan Zornoza, M. Hernández-Pajares, Global Navigation Satellite Systems// Volume I: Fundamentals and Algorithms, 2014 - p. 17-29.
  - 22.Precision of GLONASS/GPS Navigation Definitions// Interface Control Document, ed. 5.1., 2014 – p.76-89.
  - 23.V. Vdovin and M. Vinogradova (TSNIImash), National Reference Systems used in GLONASS, 8th ICG meeting, Dubai - November 2013.
  - 24.Harvei, Brian/ Rebirth of the Russian Space Program, 2<sup>nd</sup> ed./ Germany, Springer, - 2012 – p. 58-70.
  - 25.Bernhard Hofmann-Wellenhof, GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more/ November 20, 2008 – p.87-114.

26. Dragos Zaharia, Galileo/ The European Global Navigation Satellite System/ Wiley// 2009 – p.65-78.
27. Jari Nurmi, Elena Simona, Staphan Sand, Heikki Hurskainen, Galileo Positioning Technology// Springer USA 2012 – p.92-117.
28. Ramjii Prasad, Marina Ruggieri, Applied Satellite Navigation. Using Galileo// Washington 2013 – p.105-127.
29. Ivan Petrovski, GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou/ Cambridge// 2012 – p. 25-49.
30. China Satellite Navigation Office/ Development of BeiDou Navigation Satellite System// 2011 – p. 105-125.
31. Jun Shen, Compass/BeiDou Status/ BNStar Navigation Technology & System// Inc., Rome (Italy), June 11, 2009 – p.73-112.
32. EGNOS. SERVICE. DEFINITION DOCUMENT. OPEN SERVICE. European Commission Directorate-General for Energy and Transport, 2009.- 42 p.
33. USER GUIDE FOR EGNOS. Application Developer, 2009.- 103 p.
34. Galileo Open Service. Signal In Space. Interface Control Document (OS SIS ICD). - European Union, 2010 . – 216 p.
35. ГЛОНАСС - ИКД. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1).- М.: Российский НИИ космического приборостроения, 2008.- 74 с.
36. BeiDou Navigation Satellite System. Signal In Space. Interface Control Document.(Open Service Signal B1I Version 1.0). - China Satellite Navigation Office, 2012. – 88 p.

## ДОДАТОК А.

### Лістинг програми Statistica

```

clear all % очистили рабочую область

% ===== АДРЕС И ИМЯ ФАЙЛА
=====
sf='D:\MatLab_Programs\Statistic\InDat\Example_Taranenko.txt';
%
=====

x=load(sf); % вводим ИД
x=sort(x(:)); % переформатировали столбец и рассортировали
n=length(x); % количество данных
xmin=x(1); % минимальное значение
xmax=x(n); % максимальное значение
fprintf('Обрабатываем файл %s\n',sf)
fprintf('Объем выборки n=%d\n',n)
fprintf('xmin=%14.7f\n',xmin)
fprintf('xmax=%14.7f\n',xmax)

Mx=mean(x); % математическое ожидание
fprintf('Выборочное математическое ожидание Mx=%14.7f\n',Mx)
f=n-1; % число степеней свободы
Dx=var(x); % дисперсия
Sx=std(x); % среднеквадратичное отклонение
fprintf('Число степеней свободы выборки f=%d\n',f)
fprintf('Дисперсия Dx=%14.7f\n',Dx)
fprintf('Среднеквадратичное отклонение Sx=%14.7f\n',Sx)

%Другие выборочные параметры
Ax=skewness(x); % асимметрия
Ex=kurtosis(x)-3; % эксцесс
Medx=median(x); % медиана
Rx=range(x); % размах выборки
fprintf('Асимметрия Ax=%14.7f\n',Ax)
fprintf('Эксцесс Ex=%14.7f\n',Ex)
fprintf('Медиана Medx=%14.7f\n',Medx)
fprintf('Размах Rx=%14.7f\n',Rx)
normcdf(0.5,0,2)-normcdf(-0.5,0,2)

t=linspace(-3,3)'; % аргументы
v=[2 5 10 20 30 60 120]; % степени свободы

```

```

for k=1:length(v)
    Y(:,k)=tpdf(t,v(k)); % плотность t-распределения
end
Y=[Y,normpdf(t,0,1)]; % добавили плотность нормального
распределения

%Dоверительные интервалы для генерального математического ожидания
mx.
clear all % очистили рабочую область

% ===== АДРЕС И ИМЯ ФАЙЛА
=====
sf='D:\MatLab_Programs\2018_Мод_АНС\2018_Start_Bestpos\Out_dat\H_g
alileo_betpos.txt';
%
=====
===

x=load(sf); % вводим ИД
x=sort(x(:)); % переформатировали столбец и рассортировали
n=length(x); % количество данных
xmin=x(1); % минимальное значение
xmax=x(n); % максимальное значение
Mx=mean(x); % математическое ожидание
f=n-1; % число степеней свободы
Dx=var(x); % дисперсия
Sx=std(x); % среднеквадратичное отклонение
Ax=skewness(x); % асимметрия
Ex=kurtosis(x)-3; % эксцесс
p=[0.9;0.95;0.99;0.999]; % задаем доверительные вероятности
q=1-p; % уровни значимости
t=tinvs(1-q/2,f); % квантили Стьюдента с f степенями свободы
Mxd=[p,Mx-Sx*t/n^0.5,Mx+Sx*t/n^0.5]'; % формула (20.8)
disp(['Доверительные интервалы для генерального '...
      'математического ожидания'])
fprintf('p=%8.4f: %9.6f<=mx<=%9.6f\n',Mxd)

chi2=linspace(0,20)'; % аргументы
v=[2 3 5 10 20]; % степени свободы
clear Y
for k=1:length(v)
    Y(:,k)=chi2pdf(chi2,v(k)); % плотность chi2-распределения
end

```

```

%Найдем доверительные интервалы для Dx в нашей выборке
chi2l=chi2inv(1-q/2,f);
chi2r=chi2inv(q/2,f); % квантили chi2-распределения Пирсона
Dxd=[p,f*Dx./chi2l,f*Dx./chi2r]'; % формула (20.14)

disp('Доверительные интервалы для генеральной дисперсии')
fprintf('p=%8.4f:    %9.6f<=Dx<=%9.6f\n',Dxd)

%Находим доверительные интервалы для генеральных асимметрии и
эксцесса в
%нашем варианте данных:
Da=6*(n-1)/(n+1)/(n+3); % дисперсия Ax
De=24*n*(n-2)*(n-3)/(n+1)^2/(n+3)/(n+5); % дисперсия Ex
fprintf('Da=%10.5f\nDe=%10.5f\n',Da,De)
Axd=[p,Ax-(Da./q).^0.5,Ax+(Da./q).^0.5]'; % формула (20.19)
disp('Доверительные интервалы для генеральной асимметрии')
fprintf('p=%8.4f:    %9.6f<=ax<=%9.6f\n',Axd)
Exd=[p,Ex-(De./q).^0.5,Ex+(De./q).^0.5]'; % формула (20.20)
disp('Доверительные интервалы для генерального эксцесса')
fprintf('p=%8.4f:    %9.6f<=ex<=%9.6f\n',Exd)

%Построим гистограмму распределения
x=load(sf); % вводим ИД
x=sort(x(:)); % переформатировали столбец и рассортировали
n=length(x); % количество данных
xmin=x(1); % минимальное значение
xmax=x(n); % максимальное значение
Mx=mean(x); % математическое ожидание
f=n-1; % число степеней свободы
Dx=var(x); % дисперсия
Sx=std(x); % среднеквадратичное отклонение
Ax=skewness(x); % асимметрия
Ex=kurtosis(x)-3; % эксцесс
k=round(n^0.5); % число интервалов для построения гистограммы
d=(xmax-xmin)/k; % ширина каждого интервала
del=(xmax-xmin)/20; % добавки влево и вправо
xl=xmin-del;
xr=xmax+del; % границы интервала для построения графиков
fprintf('Число интервалов k=%d\n',k)
fprintf('Ширина интервала h=%14.7f\n',d)
figure % создаем новую фигуру
hist(x,k) , grid on % построили гистограмму

```

```

set(get(gcf,'CurrentAxes'),...
    'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',12)
title('\bfГистограмма') % заголовок
xlim([xl xr]) % границы по оси OX
xlabel('\itx_{j}') % метка оси x
ylabel('\itn_{j}') % метка оси y

%Нарисуем с помощью MATLAB графики соответствующих плотностей
распределения

tdistr={'norm','exp','unif','rayl'}; % названия
pardistr=[[2 1];[2,0];[0 4];[1 0]]; % параметры
ndistr=length(tdistr); % количество распределений
xpl=[-1:0.01:5]'; % абсциссы для графиков

%Ответ Графики
%Параметры теоретического распределения (для всех четырех
вариантов) по ПМП
%и методу моментов
s={'нормальное распределение'; 'показательное распределение'; ...
    'равномерное распределение'; 'Рэлеевское распределение'};
disp('Параметры по ПМП:')
[mx,sx]=normfit(x); % параметры нормального распределения
lam=1/expfite(abs(x)); % параметр показательного распределения
[a,b]=unifite(x); % параметры равномерного распределения
sig=raylfite(x); % параметр Рэлеевского распределения
fprintf(['%s: m=%12.7f; sigma=%12.7f\n'],s{1},mx,sx)
fprintf('%s: alpha=%12.7f\n',s{2},lam)
fprintf('%s: a=%12.7f; b=%12.7f\n',s{3},a,b)
fprintf('%s: sigma=%12.7f\n',s{4},sig)
disp('Параметры по методу моментов:')
mx=Mx;
sx=Sx; % параметры нормального распределения
lam=abs(1/Mx); % параметр показательного распределения
a=Mx-Sx*3^0.5;
b=Mx+Sx*3^0.5; % параметры равномерного распределения
sig=abs(Mx)*(2/pi)^0.5; % параметр Рэлеевского распределения
fprintf(['%s: m=%12.7f; sigma=%12.7f\n'],s{1},mx,sx)
fprintf('%s: alpha=%12.7f\n',s{2},lam)
fprintf('%s: a=%12.7f; b=%12.7f\n',s{3},a,b)
fprintf('%s: sigma=%12.7f\n',s{4},sig)

%Построим на одном графике теоретическую и эмпирическую плотности

```

```

%распределения
[nj,xm]=hist(x,k); % число попаданий и середины интервалов
delta=xm(2)-xm(1); % ширина интервала
clear xfv fv xft ft % очистили массивы для f(x)
xfv=[xm-delta/2;xm+delta/2]; % абсциссы для эмпирической f(x)
xfv=reshape(xfv,prod(size(xfv)),1); % преобразовали в столбец
xfv=[xl;xfv(1);xfv;xfv(end);xr]; % добавили крайние
fv=nj/(n*delta); % значения эмпирической f(x) в виде 1 строки
fv=[fv;fv]; % 2 строки
fv=[0;0;reshape(fv,prod(size(fv)),1);0;0]; % + крайние, 1 столбец
xft=linspace(xl,xr,1000)'; % абсциссы для теоретической f(x)
ft=[normpdf(xft,mx,sx),expdf(xft,1/lam),...
    unifpdf(xft,a,b),raylpdf(xft,sig)];
col='bgmk'; % цвета для построения графиков
figure
plot(xfv,fv,'-r', xft,ft(:,1),col(1), xft,ft(:,2),col(2), ...
    xft,ft(:,3),col(3), xft,ft(:,4),col(4)),grid on % рисуем
set(get(gcf,'CurrentAxes'),...
    'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',12)
title('\bfПлотности распределения')
xlim([xl xr]), ylim([0 1.4*max(fv)]) % границы рисунка по осям
xlabel('\itx') % метка оси x
ylabel('\itf\rm(\itx\rm)') % метка оси y
%Ответ Графики
%Критерии согласия
param=[mx sx];[lam 0];[a b];[sig 0]]; % параметры распределений
qq=[]; % критические уровни значимости
for idistr=1:ndistr, % критерий Колмогорова
    [hkolm,pkolm,kskolm,cvkolm]=...
        kstest(x,[x cdf(tdistr{idistr},x,...
            param(idistr,1),param(idistr,2))],0.1,0);
    qq=[qq pkolm]; % критические уровни значимости
end
[maxqq,bdistr]=max(qq); % выбрали лучшее распределение
fprintf(['Лучше всего подходит %s;\nкритический уровень '...
    'значимости для него = %8.5f\n'],s{bdistr},maxqq);
figure
cdfplot(x); grid minor % эмпирическая функция распределения
xpl=linspace(xl,xr,500); % для графика F(x)
ypl=cdf(tdistr{bdistr},xpl,param(bdistr,1),param(bdistr,2));
hold on % для рисования на этом же графике
plot(xpl,ypl,'r'); % дорисовали F(x)
hold off

```

```

set(get(gcf,'CurrentAxes'),...
    'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',12)
title(['\bfПодобрано ' s{bdistr}])
xlabel('\itx') % метка оси x
ylabel('\itf\rm(\itx\rm)') % метка оси y
%Ответ
% Лучше всего подходит нормальное распределение;
% критический уровень значимости для него = 0.00001

%Критерий согласия Пирсона
clear Tabl % очистили таблицу результатов
Tabl(:,1)=[1:k]'; % номера интервалов
Tabl(:,2)=xm'-delta/2; % левые границы интервалов
Tabl(:,3)=xm'+delta/2; % правые границы интервалов
Tabl(1,2)=-inf; % теоретическое начало 1-го интервала
Tabl(k,3)=inf; % теоретический конец последнего интервала
Tabl(:,4)=nj'; % опытные числа попаданий
bor=[Tabl(:,2);Tabl(end,3)]; % все границы интервалов
pro=cdf(tdistr{bdistr},bor,param(bdistr,1),param(bdistr,2));
Tabl(:,5)=pro(2:end)-pro(1:end-1); % вероятности попаданий p_j
Tabl(:,6)=n*Tabl(:,5); % теоретическое число попаданий np_j
disp('Сводная таблица результатов')
fprintf(' j          aj          bj')
fprintf('          nj          pj          npj\n')
fprintf('%2.0f%12.5f%12.5f%6.0f%12.5f%12.5f\n',Tabl')
%Если распределение подобрано верно, то числа из 4-го и 6-го
столбцов не
%должны сильно отличаться
qz=0.0; % выбрали уровень значимости
ResTabl=Tabl(1,1:6); % взяли первую строку
for k1=2:k, % берем остальные строки таблицы
    if ResTabl(end,6)<5, % предыдущее np_j<5 - будем суммировать
        ResTabl(end,3)=Tabl(k1,3); % новая правая граница интервала
        ResTabl(end,4:6)=ResTabl(end,4:6)+Tabl(k1,4:6); % суммируем
    else % предыдущее np_j>=5 - будем дописывать строку
        ResTabl=[ResTabl;Tabl(k1,1:6)]; % дописываем строку
    end
end
if ResTabl(end,6)<5, % последнее np_j<5
    ResTabl(end-1,3)=ResTabl(end,3); % новая правая граница
    ResTabl(end-1,4:6)=ResTabl(end-1,4:6)+ResTabl(end,4:6);
    ResTabl=ResTabl(1:end-1,:); % отбросили последнюю строку
end

```



```

kn=size(ResTabl,1); % число объединенных интервалов
ResTabl(:,1)=[1:kn]'; % новые номера интервалов
ResTabl(:,7)=(ResTabl(:,4)-ResTabl(:,6)).^2./ResTabl(:,6);
disp('Сгруппированная сводная таблица результатов')
fprintf(' j          aj          bj')
fprintf('          nj          pj          npj      ')
fprintf(['(nj-npj)^2/npj\n'])
fprintf(['%2.0f%12.5f%12.5f%6.0f%12.5f%12.5f%12.5f\n',ResTabl'])
hi2=sum(ResTabl(:,7)); % сумма элементов последнего столбца
fprintf(['Статистика Пирсона chi2=%10.5f\n'],hi2)
m=[3,2,3,2]; % число ограничений
fprintf('Задаем уровень значимости q=%5.4f\n',qz)
chi2qz=chi2inv(1-qz,kn-m(bdistr)); % квантиль
fprintf(['Квантиль chi2-распределения Пирсона '...
'chi2(1-q)=%10.5f\n'],chi2qz)
if hi2<=chi2qz,
    disp('Распределение подобрано верно, т.к. chi2<=chi2(1-q)')
else
    disp('Распределение подобрано неверно, т.к. chi2>chi2(1-q)')
end

```