

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

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

**д-р техн. наук, проф.**

\_\_\_\_\_ **В.Ю. Ларін**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2023 р.**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**

**«БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

**(Сертифікат про акредитацію освітньої програми № 3837 от 29.12.2022)**

**Тема: Методи вирішення навігаційної задачі при використанні кількох  
глобальних навігаційних супутникових систем**

**Виконав:**

**І.В. Павловський**

**Керівник: д-р техн. наук, проф.**



**В.В. Конін**

**Нормоконтролер**

**Т.Ф. Шмельова**

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Безпілотні авіаційні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АНС

В.Ю. Ларін

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

**Павловського Ігоря Володимировича**

1. Тема дипломної роботи: **«Методи вирішення навігаційної задачі при використанні кількох глобальних навігаційних супутникових систем»**

затверджена наказом ректора від 22.08.2023 р. № 1443/ст







2. Термін виконання роботи: з 23.10.2023 по 31.12.2023.

3. Вихідні дані до роботи: теоретичні дані та отриманні дані під час лабораторних занять, досліджень наукових робіт та наукових посібників

4. Зміст пояснювальної записки: Актуальність використання мульти навігаційних систем в безпілотній авіації. Методи навігації що використовуються в повітряних літальних апаратів. Метод та алгоритми вирішення навігаційної задачі за допомогою мульти-gnss. Моделювання рішень навігаційної задачі за експериментальними даними. Охорона праці та навколишнього середовища, Захист навколишнього середовища

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) рисунків, формул, таблиць.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Розробка та оформлення 1 розділу «Аналіз актуальності використання мультимедійних систем в безпілотній авіації»	08.09.2023 - 16.09.2023	Виконано 
2.	Розробка та оформлення 2 розділу «Методи навігації що використовуються в повітряних літальних апаратах»	17.09.2023 - 23.09.2023	Виконано 
3.	Розробка та оформлення 3 розділу «Методи вирішення навігаційної задачі методом мультимедійного GNSS»	24.09.2023 - 10.10.2023	Виконано 
4.	Розробка та оформлення 4 розділу «Потенційно небезпечні та шкідливі фактори у виробництві»	11.10.2023 - 29.10.2023	Виконано 
5.	Розробка та оформлення 5 розділу «Охорона праці та охорона навколишнього середовища»	30.10.2023 - 13.11.2023	Виконано 
6.	Підготовка презентації та доповіді	11.12.2023 - 13.12.2023	Виконано 

Дата видачі завдання: « 8 » вересня 2023 р

Керівник: д-р техн. наук, проф.  В.В. Конін

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ І.В. Павловський

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Методи вирішення навігаційної задачі методом мульти GNSS»: 113 сторінки, 35 рисунки, 33 формули, 2 таблиці, 29 використаних джерела.

**Мета дипломної роботи** – Дослідження переваги використання мульти-ГНСС в безпілотній авіації для вирішення навігаційної задачі на борту дистанційно пілотованого апарату

**Об’єкт дослідження** – технологія роботи супутникових систем, їх кооперація на борту

**Предмет дослідження** – якість роботи навігаційних БПЛА при використанні мульти ГНСС.

**Методи дослідження** – теоретичні методи, експериментальні методи, методи математичного та комп’ютерного моделювання.

**Актуальність** – Впровадження методів використання мульти-ГНСС в структуру вирішення навігаційної задачі на борту БПЛА, що забезпечить більш високий рівень забезпечення якості сигналу, зменшує вірогідність втрати сигналу з бортом, уможливить використання дистанційно пілотованих апаратів в службах безпеки

**Наукова новизна** – Перший раз на експериментальних даних продемонстровані можливі досягнення точнісних характеристик мульти-GNSS.

В першому розділі досліджуються можливості використання GNSS в сучасному світі. Другий розділ досліджує структуру навігаційних систем, елементів системи та її недоліків. Третій розділ досліджує данні для експериментальних досліджень. В четвертому розділі проводиться моделювання експерименту та дослідження результатів отриманих за допомогою навігаційних систем в режимі кооперації. П’ятий розділ досліджує необхідні вимоги для комфортної та безпечної роботи за робочим місцем. Шостих розділ вивчає питання космічного сміття, важливість його контролю на шкоду що воно завдає для людства.

## **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## Зміст

<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ В БЕЗПЛОТНІЙ АВІАЦІЇ .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Основні аспекти актуальності використання ГНСС .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Можливість використання навігаційних систем замість інерціальної системи навігації при її відказі.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Спостереження за змінами в земному шарі.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Використання навігаційних систем у створенні автомобілів з автопілотом .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Використання супутникових систем в геодезії та космічній геодезії.</b>	<b>20</b>
<b>1.6. Дослідження актуальних напрямків розвитку .....</b>	<b>20</b>
<b>1.7. Вибір напрямлення дослідження.....</b>	<b>24</b>
<b>Висновок до розділу 1 .....</b>	<b>25</b>
<b>Розділ 2. МЕТОДИ НАВІГАЦІЇ ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ПОВІТРЯНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Супутникова система навігації .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2. Технології що використовуються для поліпшення користуванням ГНСС .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3. Інерціальна навігація.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4. Матеріали супутників .....</b>	<b>40</b>
<b>Висновок до розділу 2.....</b>	<b>42</b>
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА АЛГОРИТМИ ВИРІШЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИ-GNSS .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Вступні зауваження .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Метод оцінки позиції користувача та геометричного фактора в MultiGNSS.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3. Дані для експериментальних досліджень та моделювання .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4. Дані для вирішення навігаційної задачі.....</b>	<b>65</b>
<b>3.5. Програмний код для моделювання .....</b>	<b>68</b>
<b>Висновок до розділу 3 .....</b>	<b>70</b>
<b>РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ РІШЕНЬ НАВІГАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ .....</b>	<b>72</b>

4.1. Проведення експерименту.....	72
4.2. Дослідження навігаційної системи GPS .....	75
4.3. Дослідження навігаційної системи Glonass .....	78
4.4. Дослідження навігаційної системи BEIDOU .....	80
4.5. Дослідження навігаційної системи Gallileo.....	82
4.6. Дослідження навігаційних систем GPS+GLONASS.....	84
4.7 Дослідження навігаційних систем GPS+GLONASS+GALILEO.....	86
4.8. Дослідження навігаційних систем GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU .....	87
Висновок до розділу 4.....	91
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>	<b>92</b>
5.1. Вступні зауваження .....	92
5.2. Охорона праці .....	92
Висновок до розділу 5.....	97
<b>РОЗДІЛ 6. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>99</b>
6.1. Важливість навколишнього середовища.....	99
6.2. Основні причини важливості захисту навколишнього середовища..	99
6.3. Шкода що наноситься навколишньому середовищу при запуску спутників в космос.....	100
6.4 Проблема космічного сміття.....	101
Висновок до розділу 6.....	105
Загальних висновок .....	106
Використанні джерела.....	108

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

DOP - Dilution of Precision

GNSS - Global Navigation Satellite System

HDOP - Horizontal Dilution of Precision

LBS - Location Based Service

RTK - Real-Time Kinematic

TDOP - Time Dilution of Precision

TEC - Total Electron Content

VDOP - Vertical Dilution of Precision

БПЛА/БЛА-Безпілотний Літальний Апарат

ІН-Інерційна навігація



## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

БПЛА або безпілотний літальний апарат (англ. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) є літальним апаратом, який працює без прямого участі людей на борту.

Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) - це система навігації, яка використовує супутники, розташовані в космосі, для визначення точного місця та часу на земній поверхні.

Інерційна навігація (ІН) - це метод навігації, який базується на вимірюванні руху і прискорення об'єкта з використанням інерціальних сенсорів, таких як акселерометри та гіроскопи. Інерційна навігація не використовує зовнішніх візуальних чи радіосигналів, як це робить GPS або інші глобальні навігаційні системи. Замість цього, вона визначає положення та швидкість об'єкта на основі власної інерції.

Кінематика в реальному часі (Real-Time Kinematic) є однією з технологій, що використовується в глобальних навігаційних супутникових системах (ГНСС), таких як GPS, для досягнення високої точності визначення місцезнаходження користувача.

Сервіси, орієнтовані на місцезнаходження - скорочення від "Location-Based Services (LBS)," що означає "сервіси, що базуються на місцезнаходженні." Це технології та послуги, які використовують інформацію про точне місцезнаходження користувача або пристрою для надання контекстуальних та розташованих послуг.

Зниження точності (DOP) Dilution of Precision - є показником, який використовується в глобальних навігаційних системах (ГНСС), таких як GPS, для визначення якості та точності отриманих геопросторових координат.

## ВСТУП

В сучасному світі, де швидкість, точність та надійність є ключовими факторами в багатьох галузях, навігаційні системи грають вирішальну роль у забезпеченні безпеки та ефективності різних процесів польоту, тому актуальність використання Глобальних навігаційних супутникових систем залишиться . Одним з найважливіших досягнень у сфері навігації було створення багатьох систем ГНСС (Глобальна навігаційна супутникова система), таких як GPS (Система глобального позиціонування), ГЛОНАСС (Global Navigation Satellite System), Galileo(Європейська система), BeiDou (Китай), IRNSS (Індія) та QZSS (Японія) . Застосування ГНСС стало невід'ємною частиною не лише авіаційної промисловості, воно широко використовується в Транспортній логістиці, Сільському господарстві, Геодезії, Метеорології та багато інших галузях та сферах діяльності. Традиційні системи ГНСС, такі як GPS, забезпечують високу точність, вони також мають свої обмеження, [7-9] такі як обмеження сигналу у певних умовах, низька точність у приполярних районах та погіршення точності через геометрію розташування супутників. Однак, в останні роки з'явилися нові розробки в галузі навігації, які використовують концепцію мульти-ГНСС. Ця технологія включає в себе використання сигналів з різних навігаційних систем, що дозволяє значно покращити точність, надійність та ефективність навігаційних операцій. Цей підхід [2] дозволяє досягти значних переваг у порівнянні з використанням однієї системи, це забезпечить покращену точність, підвищить надійність сигналу та ефективність навігаційних операцій, зменшує ризик втрати сигналу, покращує точність вертикального позиціонування та легко інтегрується в системи автопілотування БПЛА. В цій роботі основним завданням це буде дослідження актуальності, надійності та аналіз переваг що надаються новим методом кооперації.

Розуміння цих переваг дозволить виявити потенціал та можливості мульти-ГНСС при вирішенні навігаційних задач, що безумовно вплине на

подальше розширення спектру використання БПЛА, в нових напрямках, де вартість помилки або відмови навігаційних систем може бути занадто великою.

Ця дипломна робота має на меті дослідження та підтвердження переваг використання мульти-ГНСС на борту безпілотного літального апарату над використання лише однієї супутникової навігаційної системи на борту.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати такі пункти:

- 1) Провести Аналіз актуальності;
- 2) Дослідити методи навігації;
- 3) Провести аналіз методів та алгоритмів що використовуються для вирішення навігаційної задачі
- 4) Провести моделювання вирішення навігаційної задачі за допомогою експериментальних даних.

## **РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ В БЕЗПЛОТНІЙ АВІАЦІЇ**

### **1.1. Основні аспекти актуальності використання ГНСС**

Використання мультимедіа GNSS (Global Navigation Satellite Systems) є дуже актуальним у сучасному світі. Мультимедіа GNSS поєднує дані з різних навігаційних супутникових систем, таких як GPS (Система глобального позиціонування), ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система), Galileo (Європейська навігаційна супутникова система) та інших, для отримання більш точної і надійної інформації про місцезнаходження, та навігації .

Основні аспекти актуальності використання мультимедіа GNSS:

**А) Забезпечення точності:** [3] Використання мультимедіа GNSS дозволяє отримувати дані з різних супутникових систем, що забезпечує більш точне визначення місцезнаходження. Це особливо корисно в умовах, де сигнали від окремих систем можуть бути обмежені або спотворені, наприклад, у міському середовищі або в гірських районах.

**Б) Покращення доступності:** Мультимедіа GNSS дозволяє розширити покриття навігаційних супутникових систем і забезпечити кращу доступність сигналів у різних регіонах світу. Це особливо важливо для глобальних додатків, де точність і доступність навігаційних даних є критичними.

**В) Забезпечення надійності:** Використання мультимедіа GNSS забезпечує резервування супутникових систем і дозволяє отримувати дані з альтернативних джерел у разі неполадок або перешкод. Це підвищує надійність навігаційних рішень та зменшує ризик залежності від однієї системи.

**Г) Розширені можливості:** Використання мультимедіа GNSS відкриває широкі можливості для використання додаткових сервісів і функцій. Наприклад, комбінування даних з різних систем може покращити можливості позиціонування в режимі реального часу, включаючи високоточне позиціонування, трекінг руху, навігацію на морі та в повітряному просторі.

**Д) Розвиток нових технологій:** Використання мульти GNSS є важливим стимулом для розвитку нових технологій і додаткових досліджень у галузі навігації та геопросторових додатків. Це сприяє зростанню інновацій, вдосконаленню систем та розширенню їх можливостей.

З огляду на ці аспекти, використання мульти GNSS є дуже актуальним у світі, де точність, доступність та надійність навігаційних даних мають велике значення в багатьох галузях, таких як транспорт, телекомунікації, геодезія, сільське господарство, рятувальні операції та інші сфери використання безпілотної авіації

## **1.2. Можливість використання навігаційних систем замість інерціальної системи навігації при її відмові**

Незважаючи на турбування, ми ще не готові до використання дронів [6] у громадських місцях через проблеми, пов'язані з відповідальністю, регулюванням та обмеженим прийняттям суспільством. Це впливає з того, що дрони є надто небезпечними для безпечного використання. Однією з основних перешкод є ненадійність інерційних датчиків, які подібні до внутрішнього вуха людини. Без правильного сприйняття орієнтації та рівноваги, дрон не може ефективно контролювати потік до своїх роторів, що призводить до неможливості стабільного повітряного тримання. У найкращому випадку дрон може не злетіти або впасти вертикально. Однак, в гіршому випадку, дрон може намагатися коригувати неправильні дані зі своїх сенсорів і рухатися в неконтрольованому напрямку з ще більшою силою. Це може бути особливо небезпечним для безпілотників, що перевозять великі вантажі. Щоб уникнути таких проблем, можна встановити резервні інерційні вимірювальні блоки (IMU), які включають акселерометр, гіроскоп та компас. Це може виправити проблему ненадійних датчиків. Однак існують інші фактори, такі як шум від двигуна, електромагнітні перешкоди та впливи навколишнього середовища, які також залишаються серйозною проблемою. Для забезпечення більш надійного функціонування IMU ми розглядаємо підхід, оснований на GPS. Ми пропонуємо встановити 4 GPS-приймачі в кутах дрона, і якщо IMU зазнає збою,

ми можемо використовувати GPS для оцінки 3D-орієнтації дрона. Іншими словами, ми використовуємо GPS для визначення нахилу, крену та повороту без допомоги інерції або магнітометра. Це можна виразити як функцію відносних 3D-векторів між GPS-приймачами, які змінюються зі зміною положення дрона. SafetyNet вирішує завдання стабільної орієнтації дрона та точності під час різких маневрів, при блокуванні сигналу GPS та випадку втрати даних. Це досягається за допомогою різних технічних методів, включаючи нову рамкову структуру фільтра частинок, яка працює з різними супутниковими системами навігації, такими як GPS, ГЛОНАСС та SBAS. Основна мета SafetyNet - це точна оцінка цих 3D-векторів. Щоб досягти точності, схожої до IMU (приблизно 1 градус), вектори повинні бути оцінені з точністю до сантиметрового масштабу. Ця точність повинна бути підтримана на протязі тривалого часу, навіть під час маневреного польоту, з низьким сигналом-шумом супутників і навіть при відсутності даних протягом коротких періодів.

Останні дослідження зосереджуються на вдосконаленні диференційного GPS (DGPS) з метою досягнення точності відносної локалізації на рівні близько 15 см. Це може бути достатньо для багатьох застосувань автомобілів на дорогах, таких як виявлення зміни смуги руху або координація автомобілів. Однак, точність орієнтації дронів вимагає набагато більшої точності. Техніки оцінювання багатоголового GPS були запропоновані для кораблів, літаків та дронів з низькою динамікою. Однак, застосування цих технік до комерційних дронів компактного розміру зі швидко змінюючоюся орієнтацією є викликом.

SafetyNet використовує ідеї та техніки з передової наукової літератури з GPS і розробляє їх, щоб вирішити ці проблеми.

### **Основні застосування SafetyNet включають:**

Використання двох різних перспектив для визначення 3D орієнтації дрона шляхом маніпулювання вимірюваннями між парою GPS-приймачів, супутниками та послідовними часовими точками. Ці дві перспективи дозволяють сформулювати задачу оцінювання, яка може бути використана в

фільтрі Калмана (KF). SafetyNet поєднує подвійні різниці у новаторський спосіб.

Одним з викликів є вирішення цілочисельної неоднозначності, яка є невідомою частиною фазових вимірювань GPS. У минулому використовувалися методи, подібні до "жорсткого декодування", де найбільш ймовірний стан передається в часі. SafetyNet використовує "м'яке декодування", яке розширює верхні-К можливостей неоднозначності з відповідними ймовірностями. Для цього використовується фільтр частинок, який дегенерується до фільтра Калмана, коли неоднозначність вирішена з достатньою впевненістю.

SafetyNet відрізняється від класичних підходів до фільтра частинок шляхом "налаштування" стану частинок на основі наявних вимірювань. Це прискорює збіжність системи та зменшує обчислювальну складність, оскільки потрібно менше частинок. В результаті, SafetyNet може працювати в режимі реального часу на сучасних апаратних засобах дронів.

SafetyNet - це повна система, яка включає виявлення відхилень фази несучої, інтеграцію багатосупутникових систем для надійності, автоматичну калібрування базових ліній та інші важливі функції.

У дослідженні була використана платформа, що складається з 3DR восьмирогторного дрона з 4 GPS-приймачами NEO-M8T, які підключені до Raspberry Pi через USB. Камера GoPro була встановлена на нижній частині дрона, спрямована вертикально вниз, щоб забезпечити візуальні дані для IMU та GPS. Були проведені 11 активних сеансів польотів за різних погодних умов, і результати показали порівняну точність з IMU, навіть під час складних повітряних маневрів, що відповідають можливостям дрона.

### **1.3. Спостереження за змінами в земному шарі**

За допомогою наземних та космічних приймачів GNSS [1] можна виміряти загальний вміст електронів в іоносфері (TEC-total electron content), що дозволяє отримати інформацію про глобальний іоносферний клімат та космічну погоду.

Спостереження щільного ТЕС не дозволяє виявляти збурення в іоносфері, які потім можуть бути спричинені землетрусами, цунами, вулканами, тайфунами, геомагнітними бурями та утвореннями. Також використання GNSS-рефлектометрії (GNSS-R) із супутника на низькій навколоземній орбіті дозволяє підтримувати параметри навколишнього середовища над морським теплом, сушею та океанами.

На сьогоднішній день мульти-GNSS є одним із найкращих методів для спостереження Землі. Завдяки постійному вдосконаленню продуктивності, доступності, модернізації та гібридизації, GNSS знайдуть застосування у більшій кількості майбутніх програм. Огляд мульти-GNSS має на меті представити останні досягнення у спостереженні Землі та нові застосування, зокрема спостереження тропосфери та іоносфери, моделювання та асиміляція наземних і космічних GNSS спостережень, методи мульти-GNSS кінематичного позиціонування (RTK-Real Time Kinematic) в режимі майже реального часу, точне позиціонування (PPP- precise point positioning) і PPP-RTK, GNSS-рефлектометрію, спостереження за геонебезпекою і попередженням за допомогою GNSS, помилки, систематичні ефекти та шуми в рішеннях GNSS, а також наземні GNSS спостереження з атмосфери, гідрології та навантаження. До інших областей використовують GNSS-позиціонування та орбіта, GNSS-метеорологія, GNSS-іоносфера та космічна погода, GNSS-рефлектометрія, а також GNSS-моніторинг землетрусів та GNSS-інтегровані методи моніторингу стану землі та структури.

#### **1.4. Використання навігаційних систем у створенні автомобілів з автопілотом**

Самокерований автомобіль [5] також відомий як безпілотний автомобіль або автомобіль без водія, є транспортним засобом, який використовує різноманітні датчики, камери, радары та штучний інтелект для переміщення від одного місця до іншого без участі людини за кермом. Щоб бути повністю автономним, такий транспортний засіб повинен здатися переміщатися без



втручання людини до заздалегідь визначеного пункту призначення по дорогах, які не були спеціально адаптовані для нього.

Компанії, які займаються розробкою та тестуванням самокерованих автомобілів, включають Audi, BMW, Ford, Google, General Motors, Tesla, Volkswagen та Volvo. Наприклад, проект Google Waymo використовує різноманітні датчики та камери, а також використовує алгоритми глибокого навчання та штучний інтелект для сприйняття навколишнього середовища та прийняття рішень щодо керування автомобілем.

Самокеровані автомобілі засновані на використанні великої кількості даних, алгоритмах машинного навчання та нейронних мережах для аналізу інформації з оточуючого середовища, включаючи виявлення дорожніх знаків, перешкод, пішоходів та інших елементів на дорозі. За допомогою цих даних та алгоритмів, самокерований автомобіль може приймати рішення щодо руху, рульового керування та гальмування.

Важливо відзначити, що на сьогоднішній день більшість доступних на ринку автомобілів з функціями автономного керування не є повністю самокерованими. Вони можуть мати деякі функції автономного керування, такі як рульове керування без використання рук, адаптивний круїз-контроль та керування з центруванням на смузі, але все ще вимагають уваги та присутності водія, який може взяти під контроль автомобіль у потрібний момент.

Проект Google Waymo [21] є прикладом майже повністю автономного безпілотного автомобіля. Він має високий рівень автономності, але все ще потребує присутності водія-людини, який може взяти керування на себе у випадку потреби. Такий автомобіль не є абсолютно автономним, але може самостійно керувати в ідеальних умовах.

Багато автомобілів, які доступні на ринку, мають рівень автономності нижчий, але вони володіють певними функціями автономного керування. Серійні автомобілі, доступні станом на 2022 рік, можуть мати такі функції:

Рульове керування без використання рук: Автомобіль може самостійно утримувати курс та центруватись на дорозі без необхідності втручання водія.

Проте водій повинен залишатися уважним і готовим взяти керування на себе.

**Адаптивний круїз-контроль (ACC):** Система автоматично підтримує безпечну відстань між вашим автомобілем та автомобілем, що рухається впереди. Вона зберігає задану швидкість та автоматично пристосовується до руху транспортного потоку.

**Керування з центруванням на смузі:** Система виявляє розмітку смуги та утримує автомобіль у межах смуги, втручаючись у керування, коли водій відхиляється від правильного курсу. Водій все ще повинен бути присутнім та готовим взяти керування.

Рівні автоматизації автомобілів, які визначені Національним управлінням безпеки дорожнього руху США (NHTSA), включають шість рівнів, починаючи з рівня 0 (повна відповідальність водія) до повної автономії на рівні 5:

**Рівень 0:** Людина повністю керує автомобілем без автоматизованих систем.

**Рівень 1:** ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) надає певні функції допомоги водієві, такі як керування або гальмування, але не одночасно.

**Рівень 2:** ADAS може одночасно керувати керуванням та прискоренням, але водій повинен бути уважним та готовим взяти керування на себе.

**Рівень 3:** ADS (Automated Driving System) може виконувати всі завдання водіння в певних умовах, але водій повинен бути готовий взяти керування, коли система його попросить.

**Рівень 4:** ADS може виконувати всі завдання водіння та контролювати середовище в певних умовах, і водій не потрібен, але це обмежується певними обставинами.

**Рівень 5:** Автомобіль повністю автономний, не потребує водія і може керувати собою в будь-яких умовах.

На 2022 рік, виробники автомобілів досягли рівня 4 автономності. Перш ніж повністю автономні транспортні засоби зможуть бути доступні для загального користування на дорогах Сполучених Штатів, виробники повинні пройти кілька технологічних етапів та вирішити важливі питання. Наразі

автомобілі з рівнем 4 автономності недоступні для широкого споживання, але їх використовують у різних інших сферах.

Принцип роботи [4] машин з автопілотом полягає в використанні комплексного обладнання для забезпечення навігації та безпеки. Основні компоненти цього обладнання включають:

**GPS (Система глобального позиціонування):** GPS датчики використовуються для визначення географічних координат машини і її точного положення на дорозі. GPS надає інформацію про швидкість, напрямок руху та точну локацію автомобіля.

**Датчики обмеження відстані (LiDAR, радар, камери):** Машини з автопілотом використовують датчики обмеження відстані, такі як LiDAR (лазерний радар), радар і камери, для збору інформації про оточуюче середовище. Вони допомагають виявляти перешкоди, інші транспортні засоби, пішоходів і визначати безпечну відстань для управління автомобілем.

**IMU (Inertial Measurement Unit):** IMU складається з датчиків, які вимірюють прискорення, швидкість і орієнтацію автомобіля. Ця інформація допомагає визначити точне положення та рух автомобіля в реальному часі.

**Комп'ютерна система обробки даних:** Машини з автопілотом використовують потужні комп'ютерні системи для обробки даних з різних датчиків, виконання алгоритмів навігації та вибору оптимальних шляхів руху. Ці системи здатні швидко аналізувати величезний обсяг даних і приймати рішення щодо безпечного руху автомобіля.

**Карти та цифрові бази даних:** Для навігації і безпеки машини з автопілотом використовують цифрові карти та бази даних про дороги, обмеження руху, дорожні знаки, сигналізацію світлофорів і іншу інформацію. Ці дані допомагають автомобілю визначати правильний маршрут, дотримуватися правил дорожнього руху і попереджати про можливі небезпеки.

Ці компоненти та їх інтеграція в одну систему дозволяють машинам з автопілотом ефективно навігувати на дорозі, уникати перешкод, дотримуватися правил безпеки та забезпечувати високий рівень безпеки для пасажирів та

інших учасників дорожнього руху.

### **1.5. Використання супутникових систем в геодезії та космічній геодезії**

Космічна геодезія є галуззю геодезичної науки, [8-10] яка використовує спостереження штучних і природних супутників Землі та інтерферометричні спостереження позагалактичних об'єктів для вивчення поверхні Землі, її деформації, орієнтації, гравітаційного поля та атмосфери

Основні завдання космічної геодезії включають:

- 1) Високоточне визначення геометричних тривимірних координат і швидкостей в глобальних, регіональних і місцевих системах відліку.
- 2) Визначення гравітаційного поля Землі та його змін у часі.
- 3) Моделювання геодинамічних явищ, таких як рух тектонічних плит і деформація земної кори, а також параметрів обертання Землі, таких як рух полюсів, обертання, прецесія і нутація.

Для розв'язання цих задач необхідна загальна система відліку, відносно якої здійснюються вимірювання. Крім того, космічна геодезія вносить значний внесок у метеорологію, вивчаючи вплив атмосфери на земну поверхню.

**Сучасна космічна геодезія використовує такі основні методи спостережень:**

- Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS).
- Лазерна локація супутників (SLR) і Місяця (LLR).
- Радіоінтерферометрія з наддовгою базою (VLBI).
- Системи доплерівської орбітографії супутників (DORIS).
- Супутникова альтиметрія.
- Супутникова гравіметрія та інші.

### **1.6. Дослідження актуальних напрямків розвитку**

Оцінка якості глобальних навігаційних систем (GNSS) є критичним аспектом в сучасному світі, де GNSS використовується для широкого спектру застосувань, від автомобільної навігації і навчально-дослідницьких завдань до

сільськогосподарської справи та геодезичних додатків. GNSS надає можливість визначення точних географічних координат у будь-якому місці на Землі за допомогою сигналів від супутників, але точність і надійність цих вимірювань можуть бути піддані впливу різних факторів. Отже, встановлення якості даних GNSS стає важливим завданням для забезпечення надійності і вірогідності результатів, які ґрунтуються на цих даних. Ми дослідимо основні аспекти процесу перевірки якості даних, методи та інструменти, що використовуються для оцінки, а також вплив різних факторів на точність та надійність даних GNSS.

Інформація що записана про сесію GNSS може надати нам інформацію що може допомогти оцінити якість отриманого матеріалу

Кількість видимих супутників: Більше видимих супутників зазвичай свідчить про покращену точність і надійність даних GNSS. Якщо сесія GNSS містить значну кількість видимих супутників, це може свідчити про якісний сигнал.

Доступність сигналу від супутників: Періоди втрати сигналу від супутників або слабкий прийом можуть вказувати на погану якість сесії GNSS. Якщо сигнал втрачається тривалий час, це може вплинути на точність результатів.

Геометричне розташування супутників: Геометричне розташування видимих супутників також впливає на точність вимірювань. Високий GDOP (Geometry Dilution of Precision - геометричне зниження точності) може погіршити якість даних.

Якість сигналу та індикатори: Багато GNSS-приймачів надають індикатори якості сигналу, такі як SNR (Signal-to-Noise Ratio - відношення сигналу до шуму). Вищі значення SNR часто свідчать про кращу якість сигналу.

Рух об'єкта: Якщо об'єкт, який проводить сесію GNSS, рухається або змінює напрямок, це може вплинути на точність вимірювань. Деякі GNSS-приймачі можуть враховувати швидкість і напрямок руху для коригування даних.

Використані корекційні сигнали: Використання корекційних сигналів, таких як SBAS (Satellite-Based Augmentation System) або RTK (Real-Time Kinematic), може значно покращити точність і надійність GNSS-вимірювань.

Атмосферні умови можуть впливати на якість сигналу GNSS, оскільки сигнали від супутників мусять пройти через різні шари атмосфери, і це може викликати різні ефекти та помилки, а саме:

**Розсіювання сигналу:** Атмосферний розсіювання може призводити до розсіювання сигналу від супутників, що змінює його напрямок та потужність. Це може призвести до неточностей у вимірюваннях та збільшення похибок.

**Рефракція сигналу:** Залежно від атмосферних умов, сигнал може зазнавати рефракції (перекривання) при проходженні через різні шари атмосфери. Це може призводити до відхилень у визначенні точного місця отримання сигналу.

**Іоносферні впливи:** Іоносфера, верхній шар атмосфери, може впливати на GNSS-сигнали через рефракцію та зміни швидкості сигналу. Це може викликати іоносферні помилки, які потребують корекції для отримання точних координат.

**Атмосферні явища:** Атмосферні явища, такі як дощ, сніг, туман або густий вологий повітря, можуть зменшувати якість сигналу. Вологе повітря може погіршити здатність сигналу проникати через атмосферу.

**Множинні відбиття:** Сигнали GNSS можуть відбиватися від об'єктів, таких як будівлі або гірські вершини, і досягати приймача з кількох напрямків. Це може призводити до множинних відбиттів і створювати помилкові сигнали.

**Тропосферні впливи:** Тропосфера, нижній шар атмосфери, також може впливати на сигнали GNSS через зміни вологості та температури повітря. Це може викликати зсуви в часі сигналів і викликати похибки.

Перевірка точності розташування, отриманого за допомогою глобальних навігаційних систем (GNSS), може бути важливою для забезпечення відповідності вимогам конкретного додатку або завдання. Якщо потрібно визначити точність розташування, то потрібно виконати наступні кроки:

**Збирання даних:**

1. Запустіть сесію GNSS і зберігайте дані протягом достатньо довгого періоду часу.
2. Захистіть об'єкт від інших зовнішніх впливів, таких як рух об'єкта, який проводить сесію.
3. Збереження метаданих:
4. Зберігайте всю важливу інформацію про сесію, таку як дату, час, місце проведення, тип GNSS-приймача та інші параметри.

**Аналіз даних:**

1. Завантажте отримані дані GNSS на комп'ютер або спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу.
2. Розгляньте зібрані дані на графіках або діаграмах для визначення стабільності сигналу, кількості видимих супутників і якості сигналу протягом сесії.

**Визначення точності:**

1. Порівняйте отримані координати з точними даними (наприклад, координатами з відомої точки) для визначення похибки розташування.
2. Визначте значення похибки, яке може бути виражене в метрах або іншій одиниці вимірювання.

**Обробка результатів:**

1. Використовуйте статистичні методи аналізу, такі як середнє значення та стандартне відхилення, для визначення середньої точності та дисперсії результатів.
2. Враховуйте можливі фактори, які можуть вплинути на точність, такі як атмосферні умови або кількість видимих супутників.

**Визначення вимог:**

1. Визначте, наскільки точні дані потрібні для вашого застосування або завдання. Якщо точність вимагається на рівні сантиметрів, це вимагатиме використання додаткових корекційних систем, таких як RTK або PPK (Post-Processing Kinematic).

2.Визначте, чи відповідає отримана точність вимогам.

### **Корекція і покращення:**

1. Якщо точність не відповідає вимогам, є можливість розглянути шляхи для покращення. Наприклад, використання додаткових корекційних систем, збільшення кількості видимих супутників або удосконалення умов проведення сесії.

### **Повторна перевірка:**

1. Повторно виконайте сесію GNSS і вимірювання точності для підтвердження результатів після внесення змін.

2. Також гарна ідея регулярно калібрувати і обслуговувати обладнання що підвищить якість роботи та запобігає неполадкам в системі.

### **1.7. Вибір напрямлення дослідження**

Виходячи з проведеного аналітичного огляду в даній роботі, необхідно розглянути і вирішити наступні завдання:

1) Дослідити структуру системи супутникової навігації щоб оцінити її можливості та недоліки.Дослідження структури надасть ясність в проблемах навігаційних системах, що можна вирішити за допомогою методу кооперації.

2) Провести дослідження отримання даних,які отримуються для вирішення навігаційної задачі. Розглянути формати повідомлень що отримуються навігаційним приймачем.

3) Провести експеримент з попередньо записаним файлом окремо з кожною навігаційною системою окремо і в режимі кооперації.

4) Дослідити вплив облаштування робочого місця на продуктивність та безпеку.

5) Розглянути проблему космічного сміття.



## **Висновок до розділу 1**

Провівши дослідження ми перевірили актуальність використання супутникових систем та дізналися що актуальність супутникових навігаційних систем не зникне в найближчий час з кількох причин:

**Широке застосування:** Супутникові навігаційні системи, такі як GPS (Система глобального позиціонування), ГЛОНАСС, Galileo та інші, мають широкий спектр застосувань. Вони використовуються в автомобільній промисловості, мореплаванні, авіації, туризмі, геодезії, телекомунікаціях, агрокультурі та багатьох інших сферах. Запит на точне позиціонування і навігацію постійно зростає, що забезпечує актуальність супутникових навігаційних систем.

**Покращення технологій:** Технології супутникової навігації постійно вдосконалюються. З'являються нові супутники, покращуються алгоритми обчислення позиції, збільшується точність і надійність систем. Такі покращення забезпечують зростання ефективності та актуальності супутникових навігаційних систем.

**Глобальне покриття:** Супутникові навігаційні системи забезпечують глобальне покриття, що охоплює практично всю планету. Це дає можливість використовувати їх в будь-якій точці світу без обмежень. Ця універсальність і доступність робить їх невід'ємною частиною сучасного світу.

**Розвиток нових технологій:** З'явлення нових технологій та витоків застосування супутникових навігаційних систем продовжує забезпечувати їх актуальність. Наприклад, розширення використання супутникової навігації в автономних автомобілях, дронах, робототехніці, мобільних пристроях та інших сферах вимагає додаткових можливостей супутникових навігаційних систем.

**Залежність від супутників:** Багато галузей, включаючи авіацію та мореплавання, вже є суттєво залежними від супутникової навігації. Забезпечення надійного позиціонування та навігації є критично важливим для безпеки і ефективності цих галузей, тому супутникові навігаційні системи будуть продовжувати бути актуальними, щоб задовольнити ці потреби.

Загалом, зростання запиту на точне позиціонування, технологічні покращення, глобальне покриття, розвиток нових технологій і залежність від супутників підтримують актуальність супутникових навігаційних систем у найближчому часі.

Також було розглянуто ключові аспекти оцінки якості даних GNSS, включаючи збереження інформації про сесію GNSS, вплив атмосферних умов на якість сигналу та методи перевірки точності розташування. Важливо враховувати кількість видимих супутників, доступність сигналу, геометричне розташування супутників, якість сигналу та інші фактори під час збереження даних GNSS. Атмосферні умови можуть впливати на точність сигналу через розсіювання, рефракцію та інші ефекти, і їхній вплив також потрібно враховувати. Проведення перевірки точності розташування є необхідним етапом у визначенні якості GNSS-даних. Це включає збирання, зберігання та аналіз даних, визначення похибки розташування і визначення вимог до точності. Якщо результати не відповідають вимогам, можна розглянути можливі шляхи покращення, такі як використання корекційних сигналів або поліпшення умов проведення сесії.

## Розділ 2. МЕТОДИ НАВІГАЦІЇ ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ПОВІТРЯНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

### 2.1. Супутникова система навігації

Супутникова система навігації - це глобальна технологічна інфраструктура, яка дозволяє визначати точне місцезнаходження, швидкість та час будь-якого об'єкта на поверхні Землі або в нижніх шарах атмосфери за допомогою сигналів, що надходять від низки супутників. Супутникова система навігації надає важливу інформацію для авіації, судноплавства, транспорту, геодезії, картографії, сільського господарства, рятувальних операцій та багатьох інших галузей. Основні системи навігації, які використовуються на сьогоднішній день, включають GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou.

Принцип функціонування [15] ГНСС полягає у вимірюванні відстані від антени на об'єкті до супутників (Спрощена архітектура GPS зображена на рис. 2.1.), які мають відомі координати з високою точністю. Супутники випромінюються в напрямку користувача. У навігаційному приймачі за запізненням часу визначаються псевдодальності до супутників, за допомогою яких можна визначити координати споживача. Параметри руху, такі як швидкість, напрямок і відстань, визначаються на основі вимірювання часу, який об'єкт витрачає на переміщення між двома або більше точками з відомими координатами. Якщо у нас є 4 супутники, то рівняння для оцінки координат можна записати у вигляді (2.1).

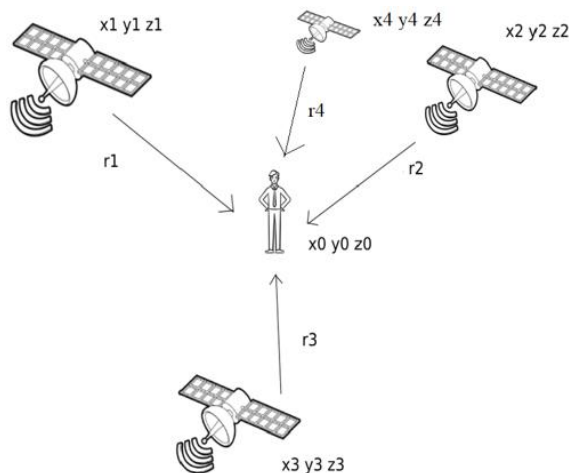


Рис.2.1. Спрощена архітектура GPS

$$\begin{cases} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 = r_1^2 + c\Delta t \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2 = r_2^2 + c\Delta t \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2 = r_3^2 + c\Delta t \\ (x_4 - x_0)^2 + (y_4 - y_0)^2 + (z_4 - z_0)^2 = r_4^2 + c\Delta t \end{cases} \quad (2.1)$$

Де X-Координата по осі X

Y-Координата по осі Y

Z-Координата по осі Z

R-Відстань

T-Час

Штучні супутники [14] розміщені в орбіті навколо Землі. Кожен супутник надсилає сигнали радіохвильового діапазону, які приймаються навігаційними приймачами на поверхні Землі. Сучасні системи мають десятки або навіть сотні супутників для надання глобального покриття.

Технічне обладнання, що встановлене на супутниках GPS, дуже складне і спеціалізоване. Основною метою цього обладнання є надання точних географічних координат та часових сигналів для користувачів наземних приймачів GPS.

Технічне обладнання на супутниках GPS:

**1) Атомний годинник:** Ключовим компонентом на супутнику GPS є атомний годинник, зазвичай рубідієвий або цезієвий. Цей годинник дуже точний і визначає час з високою стабільністю. Точність атомного годинника визначає точність GPS.

**2) Система посилення:** Супутники GPS випромінюють сигнали на Землю через антени, що розташовані на борту супутника. Ці сигнали містять інформацію про позицію супутника і час, які визначаються атомним годинником.

**3) Сигнальний генератор:** Сигнали GPS мають певну частоту і кодування, які роблять їх унікальними для кожного супутника. Сигнальний генератор виробляє ці сигнали.

**4) Інерціальні сенсори:** Деякі супутники GPS також обладнані інерціальними сенсорами, такими як акселерометри та гіроскопи. Вони використовуються для вимірювання інерційних параметрів руху супутника.

**5) Система корекції траєкторії:** Щоб забезпечити високу точність, супутники GPS включають системи корекції траєкторії. Ці системи дозволяють виправляти помилки у визначенні позиції супутника, які виникають внаслідок впливу сил тяжіння, сонячного вітру і інших чинників.

**6) Акумулятори і сонячні панелі:** Для живлення обладнання що встановлено на супутнику використовуються акумулятори. Деякі супутники також обладнані сонячними панелями, які забезпечують енергію від сонячної радіації.

Також важливо відмітити що Супутники GPS проектується з урахуванням приблизного технічного ресурсу, який визначає максимальний термін їхньої роботи без несправностей. Такий ресурс може становити, наприклад, 10 або 15 років. Супутники можуть бути розглянуті як несправні, коли їхня ефективність знижується нижче певного порогу. Оператори GPS можуть визначати ефективність супутників на підставі їхньої здатності до точної навігації та якості сигналів. Супутники можуть вийти з ладу через різні технічні проблеми, включаючи вийшовши з ладу приймачі, акумулятори, сонячні панелі тощо. Якщо такі несправності важко або неможливо виправити, супутник може бути визнаний несправним. Після того, як супутник визнаний несправним або вийшов з ладу, зазвичай виникає кілька можливих сценаріїв:

**Вимкнення супутника:** Супутник може бути вимкнтий і припинити випромінювати сигнали. Це може відбутися після закінчення строку придатності або через несправності.

**Заміна супутника:** В деяких випадках, якщо є можливість, несправний супутник може бути замінений новим. Це важливо для забезпечення покриття та надійності системи GPS.

**Викид супутника:** Якщо супутник стає небезпечним для інших супутників або космічного простору через можливий розпад або інші фактори, він може бути висланий на низьку орбіту для її знищення або залишений в орбіті з контрольованим знищенням.

Супутники мають різні висоти орбіт, в залежності від їхнього призначення та функцій. Ось деякі типи супутників та їхні характеристики по висоті польоту:

**Низькі орбіти (Low Earth Orbit, LEO):**

Висота: Від 180 км (найнижчі) до приблизно 2 000 км.

Характеристики: Супутники на LEO використовуються для багатьох цілей, включаючи наукові дослідження, астрономію, спостереження Землі, супутниковий інтернет, навігацію та спостереження Землі.

**Середні орбіти (Medium Earth Orbit, MEO):**

Висота: Від приблизно 2 000 км до 35 786 км (геосинхронна орбіта включена). Характеристики: Супутники на MEO часто використовуються для навігаційних систем, таких як GPS (на геосинхронній орбіті), а також для спостереження Землі та забезпечення зв'язку.

**Високі орбіти (High Earth Orbit, HEO):**

Висота: Зазвичай більше 35 786 км.

Характеристики: Супутники на HEO можуть використовуватися для різних цілей, включаючи додаткові навігаційні системи, комунікаційні супутники та наукові дослідження.

**Геостаціонарна орбіта (Geostationary Orbit, GEO):**

Висота: Приблизно 35 786 км.

Характеристики: Супутники на GEO перебувають у так званій "сталій" орбіті, де вони обертаються навколо Землі з такою самою швидкістю обертання Землі. Це дозволяє їм залишатися над однією і тією ж точкою на Землі, що робить їх ідеальними для комунікаційних супутників і метеорологічних супутників.

**Молодші високі орбіти (Highly Elliptical Orbits, HEO):**

Висота: Супутники на HEO мають ексцентриситет орбіти, який може змінюватися від низької до високої.

Характеристики: Ці орбіти можуть використовуватися для спеціалізованих цілей, таких як спостереження атмосфери Землі або астрономічні дослідження.

Для підтримки роботи супутникової системи навігації на Землі необхідна велика мережа наземних станцій, які відстежують супутники, коригують їхні орбіти і розповсюджують коригуючі сигнали. Ця інфраструктура забезпечує точність супутникового позиціонування.

В неї входить:

**1) Супутникові приймальні станції:** Це станції, які отримують сигнали від ГНСС супутників, підсилюють їх і відправляють на обробку центральному серверу. Вони розташовані на різних точках земної поверхні.

**2) Контрольні центри:** Централізовані установки, які відповідають за управління та моніторинг роботи супутникової констеляції. Вони відстежують рух супутників, коригують їх орбіти та відправляють корекційні сигнали на супутники.

**3) Часові та частотні стандарти:** Для забезпечення точності навігації, ГНСС системи використовують високоточні часові та частотні стандарти, які визначають точний час та частоту сигналів супутників.

**4) Базові станції та мережі референсних станцій:** Вони використовуються для отримання додаткових корекційних даних та підвищення точності навігації для користувачів. Мережі референсних станцій дозволяють покрити великі території.

**5) Телекомунікаційна інфраструктура:** Для передачі даних між різними компонентами системи використовуються телекомунікаційні мережі, такі як супутниковий зв'язок, радіо та інтернет.

**6) Користувачське обладнання:** Це приймачі, які використовують сигнали ГНСС для визначення своєї точної геолокації та часу. Користувачі можуть бути автомобілі, смартфони, літаки, кораблі, та інші об'єкти.

**7) Моніторинг і управління системою:** Для забезпечення надійності та безперервності роботи системи ГНСС, наземна інфраструктура також включає в себе системи моніторингу та управління, які виявляють і вирішують проблеми, які можуть виникнути під час експлуатації.

**Коригуючі сигнали і алгоритми:** Для забезпечення високої точності

навігації і усунення можливих помилок супутникові сигнали можуть бути кориговані за допомогою коригуючих сигналів, які надсилаються земними станціями. Крім того, розрахункові алгоритми використовуються для визначення точного місцезнаходження.

**Користувачський інтерфейс:** Інформація про місцезнаходження, навігаційні карти і інші дані відображаються на екрані приладів і пристроїв користувача, таких як GPS-навігатори, смартфони або панелі управління автомобілями.

**Програмне забезпечення:** Для обробки і аналізу сигналів, а також для визначення оптимального маршруту та надання інших корисних функцій використовується спеціалізоване програмне забезпечення.

Головна перевага супутникової системи навігації полягає в її глобальному покритті і високій точності, що дозволяє використовувати її в різних сферах життя. Ця технологія має великий вплив на транспорт, туризм, агропромисловість, екологію, а також на безпеку та оборону.

Отже супутникова система навігації включає мережу наземних станцій, що відстежують супутники, та надають коригуючі сигнали для високоточного позиціонування. Інфраструктура включає приймальні станції, контрольні центри Рис (2.2), часові стандарти, базові станції, телекомунікаційну інфраструктуру та користувацьке обладнання. Коригуючі сигнали та алгоритми забезпечують точність, а користувацький інтерфейс та програмне забезпечення забезпечують доступ та зручність використання.



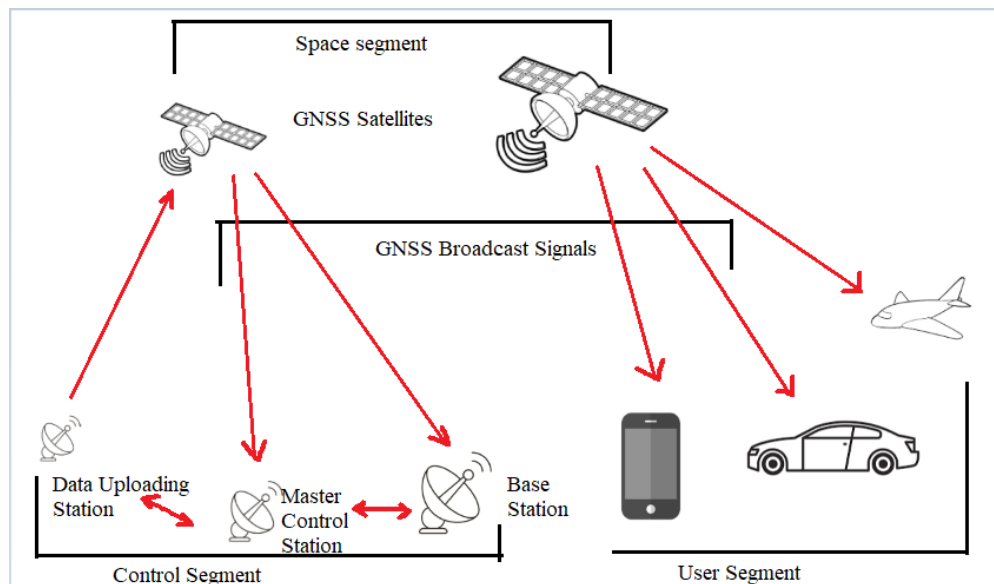


Рисунок 2.2 – Спрощена структура космічного та наземного сегменту ГНСС

Альманах навігаційної системи представляє собою набір даних, який містить інформацію щодо супутників навігаційної системи, їх орбіт та інші характеристики. У системах, таких як GPS, ГЛОНАСС або QZSS, альманах має важливе значення для визначення місцезнаходження та навігації. Основна функція альманаху полягає у передачі інформації про супутників приймачам. Ця інформація включає в себе:

**1) Ідентифікатори супутників:** Альманах містить унікальні ідентифікатори або номери супутників, які призначаються їм в рамках конкретної навігаційної системи.

**2) Параметри орбіт:** Альманах надає інформацію про орбіти супутників, включаючи такі характеристики, як ексцентриситет, схилення, період обертання та параметри вузлів орбіти. Ці дані необхідні для точного розрахунку положення супутників в певний момент часу.

**3) Ефемеридні дані:** Альманах містить ефемеридні дані, які вказують точне місцезнаходження супутників на їх орбіті в конкретний момент часу. Ця інформація дозволяє приймачам визначати положення супутників на небі та обчислювати відстань до них.

**4) Додаткові параметри:** Альманах також може містити інші характеристики, такі як дані про часову синхронізацію, корекції помилок, статус супутників і т. д. Ця інформація сприяє підвищенню точності та

надійності навігаційної системи. Альманахи навігаційних систем регулярно оновлюються та передаються з наземних станцій контролю до приймачів. Приймачі використовують цю інформацію для поліпшення точності, швидкості та надійності отримання сигналів навігаційної системи і для визначення місцезнаходження та навігації.

Структура повідомлень GPS [20] для навігації включає в себе кадри, кожен із них має довжину 1500 біт. Кожен кадр поділяється на 5 підкадрів, які мають довжину 300 біт кожен і пронумеровані від 1 до 5. Кожен підкадр складається з 10 слів по 30 біт і вимагає 6 секунд для передачі.

Структура повідомлення GPS включає такі елементи:

**Підкадр 1** містить інформацію про GPS-дату (номер тижня), коригування часу супутника до GPS-часу, статус супутника та інші важливі дані.

**Підкадри 2 і 3** містять дані ефемерид супутника.

**Підкадри 4 і 5** містять частини альманаху. Кожен кадр містить лише 1/25 всього альманаху, тому для отримання повного альманаху потрібно прийняти 25 повних кадрів даних, загальною довжиною 15 000 біт.

Кожен підкадр починається зі слова "телеметрія" (TLM), яке допомагає приймачу визначити початок підкадру і встановити час початку навігаційного підкадру. Далі йде слово "передача" (HOW), яке містить GPS-час і ідентифікує конкретний підкадр у фреймі. Решта слів підкадру містять конкретні дані цього підкадру.

Цей процес повторюється для кожного кадру, і на початку та кінці кожного тижня цикл сторінок повертається на сторінку з номером 1.

Існують два типи повідомлень GPS для навігації: LNAV-L і LNAV-U. LNAV-L використовується супутниками з ПВШ-числами від 1 до 32 (нижні ПВШ-числа), а LNAV-U використовується супутниками з ПВШ-числами від 33 до 63 (верхні ПВШ-числа). Ці два типи використовують подібні формати, проте підкадри 1-3 є ідентичними, тоді як підкадри 4 і 5 мають майже той самий формат.

Навігаційні повідомлення містять інформацію про альманах для всіх супутників одного типу повідомлення, але не містять дані для супутників іншого типу.

Недоліками супутникових систем навігації є наступне:

**Обмеження зв'язані з видимістю супутників:** Для правильної функціонування супутникової навігаційної системи необхідна видимість хоча б одного супутника. Це означає, що в умовах густих хмар, густої роси, високих будівель або гірських масивів точність може суттєво погіршуватися.

**Затримка сигналу:** [Ошибка! Источник ссылки не найден.] Сигнал супутникового сигналу подорожує з супутника до приймача зі швидкістю світла, що може призводити до затримок у обробці сигналів, особливо на великій відстані.

**Низька вертикальна точність:** Більшість супутникових систем, включаючи GPS, володіють кращою горизонтальною точністю, ніж вертикальною. Це може призводити до неточностей при вимірюванні висоти над рівнем моря.

**Вплив на точність в містах:** Висока густина будівництва у містах може викликати розсіювання сигналів GPS, що призводить до неточностей і втрати сигналу на вузьких вулицях та в глибоких долинах.

**Засліплення сигналу водою та металом:** Сигнали супутникових систем погано проникають в воду та метал, що може створювати проблеми при навігації на воді або в місцях з великою кількістю металевих конструкцій.

**Час запуску нових супутників:** Нові супутники можуть потребувати часу на активацію та стабілізацію їх орбіт. Це може займати певний час після запуску, і приймачі повинні бути оновлені для використання нових супутників.

**Обмежена функціональність в закритих приміщеннях:** Сигнали супутникових систем погано приймаються у внутрішніх приміщеннях, підземних тунелях та паркінгах.

**Підробка сигналу:** Сигнали супутникових систем можуть бути підроблені зловмисниками, які використовують радіо-закладки або інші методи для створення фальшивих сигналів GPS.

**Географічні обмеження охоплення:** Кожна супутникова система має обмежену географічну зону охоплення. Наприклад, система GPS, розроблена США, оптимізована для Північної Америки.

**Велике споживання енергії:** Деякі супутникові приймачі можуть витрачати значну кількість енергії, що є важливим для портативних пристроїв з обмеженими батарейними ресурсами.

## 2.2. Технології що використовуються для поліпшення користуванням ГНСС

A-GPS (Assisted Global Positioning System)-допоміжна система глобального позиціонування - це [Ошибка! Источник ссылки не найден.]розширення та оптимізація технології GPS (Global Positioning System), яка допомагає прискорити час отримання і покращити точність позиціонування в ситуаціях, коли отримання сигналів GPS може бути ускладненим. Технологія A-GPS використовує комбінацію супутникового та мобільного зв'язку для досягнення цих цілей.

В допоміжну систему глобального позиціонування входить:

**Супутниковий GPS приймач:** Кожен A-GPS пристрій має в собі приймач, який приймає сигнали від супутників GPS. Принцип роботи GPS базується на триангуляції сигналів від мінімум трьох супутників для визначення точної геолокації.

**Мобільна мережа:** A-GPS використовує мережу мобільного зв'язку (наприклад, 2G, 3G, 4G, або навіть 5G) для передачі даних між пристроєм і A-GPS сервером. Ця мережа забезпечує швидкий інтернет-зв'язок, що необхідний для взаємодії з сервером.

**A-GPS сервер:** Центральний сервер A-GPS містить інформацію про орбіти супутників, їхнє становище та прогнози. Крім того, він також має базу

даних мережі мобільного зв'язку, яка містить координати мобільних базових станцій.

**Запит на позиціонування:** Коли користувач запитує своє місцезнаходження, пристрій відправляє запит до A-GPS сервера через мережу мобільного зв'язку.

**Отримання даних про супутників:** A-GPS сервер надсилає пристрою дані про супутники, які знаходяться в області видимості пристрою на даний момент.

**Обчислення місцезнаходження:** Пристрій використовує інформацію про сигнали від супутників, а також дані від A-GPS сервера для обчислення точного місцезнаходження.

**Корекція затримок:** A-GPS також допомагає коригувати затримку сигналів від супутників, спричинену атмосферними умовами та іншими факторами, що можуть впливати на точність.

**Зниження часу позиціонування:** Оскільки A-GPS використовує інтернет-зв'язок для отримання додаткової інформації, час отримання позиціонування значно скорочується порівняно з традиційним GPS.

Технологія LBS (Location-Based Services), [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] або послуги на основі місцезнаходження, є інформаційними та комунікаційними послугами, які надаються користувачам на підставі їхнього поточного місцезнаходження або історії переміщень. Ця технологія базується на використанні геопросторових даних та інших сигналів, таких як GPS, Wi-Fi, мережа мобільного зв'язку тощо, для надання різноманітних послуг та інформації на основі місцеположення користувача.

Технологія LBS (Location based service) дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта за допомогою електронної карти системи LBS, на якій вказані розташування базових станцій мобільних операторів. Точність визначення місцезнаходження залежить від густини розміщення цих базових станцій в даній області. У містах, де зазвичай є декілька базових станцій, місцезнаходження визначається на перетині зон покриття кожної станції, і,

отже, точність визначення може сягати 50 метрів. В сільській місцевості, де базові станції розташовані далеко одна від одної, точність може бути в межах від сотень метрів до кількох кілометрів.



Рисунок 2.3. – Приклад lbs

Технологія LBS використовує статичну базу даних для наближеного визначення розташування об'єкта, але не забезпечує точних координат і не надає інших додаткових даних, таких як висота над рівнем моря чи швидкість переміщення. Однак LBS може бути корисною у випадках, коли GPS не працює або має перебої, наприклад, у міських районах з високими будівлями.

Технологія кінематики в реальному часі (Real-Time Kinematic) – **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]** це високоточна методика глобального позиціонування, яка використовується в геодезії, сільському господарстві, картографії, будівництві та інших галузях, де потрібна точна інформація про місцезнаходження об'єктів. RTK надає велику точність вимірювань, іноді до міліметрів, завдяки використанню спеціальних приймачів GPS або GNSS (Global Navigation Satellite System)

Принцип роботи технології RTK можна розглядати наступним чином:

**Система спутників:** Головними складовими RTK є глобальна система спутникової навігації, така як GPS або інша GNSS система (наприклад, ГЛОНАСС, Галілео, Бейдоу). Ці спутники надсилають сигнали до приймачів на землі.

**Базова станція:** У системі RTK існує базова станція, яка розташована на

відомому місці з точними координатами. Ця базова станція отримує сигнали від супутників та вимірює час, що потрібен для того, щоб сигнал досягнув приймачів на землі.

**Приймач на землі:** RTK вимагає наявності спеціального приймача на землі, який приймає сигнали від базової станції та спутників. Цей приймач має антенну систему, щоб отримувати сигнали від багатьох супутників одночасно.

**Передача даних між базовою станцією і приймачем:** Базова станція надсилає корегувальні дані до приймача на землі. Ці дані містять інформацію про те, як сигнали спутників затримуються на шляху до приймача через атмосферні умови та інші чинники.

**Обчислення точних координат:** Приймач на землі отримує корегувальні дані в реальному часі і використовує їх для виправлення інформації, отриманої від супутників. Це дозволяє отримати надзвичайно точні координати місцезнаходження приймача.

**Використання даних RTK:** Одержані точні координати можуть бути використані в різних галузях, включаючи земельний кадастр, агрономію, картографію, будівництво, навігацію водних і повітряних транспортних засобів та багато інших застосувань, де потрібна точність інформації про розташування об'єктів.

Загалом, технологія RTK дозволяє отримувати надзвичайно точні геодезичні вимірювання в режимі реального часу і є важливою для багатьох сучасних геодезичних та геопросторових додатків.

### 2.3. Інерціальна навігація

Інерціальна навігація - це [Ошибка! Источник ссылки не найден.] метод орієнтації та управління рухом різних об'єктів, таких як кораблі, літаки, ракети і інші, який ґрунтується на використанні властивостей інерції тіл. Цей метод є самостійним, оскільки не потребує зовнішніх точок орієнтації або сигналів для визначення координат і параметрів руху. Потреба в створенні автономних навігаційних систем привела до розвитку інерціальної навігації. Основна ідея інерціальної навігації полягає в вимірюванні прискорення об'єкта та його

кутових швидкостей за допомогою приладів, що встановлені на об'єкті. На основі цих даних обчислюються місцезнаходження, курс, швидкість, відстань, пройдений шлях та інші параметри руху об'єкта. Для цього використовуються датчики лінійного прискорення (акселерометри), гіроскопи для вимірювання кутових швидкостей, а також обчислювальні пристрої для обробки цих даних та визначення координат і параметрів руху об'єктів.

Інерціальні системи використовують:

- 1)Акселерометр (пристрій, призначений для вимірювання прискорення)
- 2)Гіроскоп (вимірювання та визначення обертального руху об'єкта)
- 3)Магнітометр (вимірювання магнітного поля і знаходження орієнтації в просторі)
- 4)Барометр (вимірювання атмосферного тиску, що допомагає визначити висоту)

## 2.4. Матеріали супутників

Супутники – [18] це складні інженерні споруди, і їхнє створення вимагає використання різних матеріалів та технологій для досягнення високої надійності та функціональності.

**Алюміній:** Його часто використовують для виготовлення корпусу супутника. Алюміній є легким, міцним і має добру стійкість до корозії, що робить його ідеальним для зовнішньої оболонки супутника.

**Сталь:** Стальні компоненти можуть використовуватися для забезпечення стійкості і міцності супутника, особливо під час запуску і розгортання.

**Титан:** Цей матеріал використовується там, де потрібна висока міцність при невеликій масі. Він також стійкий до корозії і застосовується для виготовлення деяких компонентів супутників.

**Композитні матеріали:** Деякі супутники містять композитні матеріали, такі як карбонові волокна, щоб знизити масу і зберегти міцність.

**Скло:** Оптичні компоненти і сенсори можуть бути захищені склом або скляними лінзами.



**Кераміка:** Керамічні матеріали використовуються для електронних компонентів і сенсорів через їх діелектричну стійкість і високу термічну стійкість.

**Теплоізоляційні матеріали:** Для підтримки стійкої температури всередині супутника використовуються матеріали для теплоізоляції, такі як багатошарові ізоляційні покриття.

**Пластик:** Пластик може бути використаний для певних корпусних компонентів і ізоляції проводів і сенсорів.

**Рідкі метали:** Деякі супутники містять рідкі метали, наприклад, гелій, для охолодження окремих систем.

## Висновок до розділу 2

Супутникова система навігації є надзвичайно важливою технологічною інфраструктурою, яка впливає на багато галузей та аспектів нашого життя. З її допомогою ми можемо точно визначати місцезнаходження, швидкість та час, що має велике значення для авіації, судноплавства, транспорту, геодезії, картографії, сільського господарства, рятувальних операцій та багатьох інших сфер.

Принцип функціонування супутникової системи навігації базується на вимірюванні відстані від об'єкта до супутників з відомими координатами за допомогою точних сигналів часу. Цей принцип дозволяє обчислити точне місцеположення та параметри руху об'єкта. Технічне обладнання на супутниках, таке як атомні годинники, системи посилення, сигнальні генератори, інерціальні сенсори та системи корекції траєкторії, є ключовими для забезпечення високої точності цієї системи.

Супутники, розміщені в орбіті, відправляють радіосигнали на Землю, і ці сигнали приймаються навігаційними приймачами на поверхні Землі. Сучасні системи мають велику кількість супутників для глобального покриття. Також важливо враховувати, що супутники мають обмежений технічний ресурс, і їхня ефективність слід стежити та в певний момент може відбуватися їхнє вимкнення, заміна або викид з орбіти з метою забезпечення надійності та функціонування системи навігації.

Земна інфраструктура для супутникових систем навігації є незмінно важливою складовою, що забезпечує їхню ефективну роботу. Вона включає в себе різноманітні компоненти, такі як супутникові приймальні станції, контрольні центри, часові та частотні стандарти, базові станції та мережі референсних станцій, телекомунікаційну інфраструктуру, користувачське обладнання, системи моніторингу та управління, коригуючі сигнали і алгоритми, користувачський інтерфейс та програмне забезпечення. Всі ці компоненти спільно створюють потужну систему, яка забезпечує глобальне покриття та високу точність навігації. Основна перевага супутникових систем навігації полягає у їхній глобальній доступності та високій точності, що робить

їх незамінними в багатьох галузях, таких як транспорт, туризм, агропромисловість, екологія, безпека та оборона. Завдяки земній інфраструктурі, ці системи стають надійними і корисними інструментами для користувачів по всьому світу. Альманах навігаційної системи є важливим компонентом, що містить інформацію про супутників, їх орбіти та інші характеристики. Ця інформація необхідна для визначення місцезнаходження та навігації користувачів. Альманахи регулярно оновлюються і передаються приймачам, забезпечуючи точність, швидкість та надійність навігаційної системи.

Структура повідомлень навігаційної системи, такої як GPS, включає підкадри з різними типами інформації, такими як GPS-дата, дані ефемерид супутників, частини альманаху та інші параметри. Кожен підкадр має свою структуру та інформаційний зміст. Повідомлення GPS розподілені на типи LNAV-L і LNAV-U, в залежності від номерів супутників. Ця структура дозволяє приймачам ефективно отримувати та обробляти дані для визначення свого місцезнаходження та навігації.

Усі ці компоненти та структури разом створюють потужну систему навігації, яка допомагає користувачам визначати своє місцезнаходження та навігувати в різних умовах і сферах життя. Вона має велике значення для покращення якості та ефективності багатьох галузей та допомагає забезпечити безпеку та зручність для користувачів по всьому світу.

Технології, які використовуються для поліпшення користуванням ГНСС (Глобальної навігаційної супутникової системи), включають в себе A-GPS (Assisted Global Positioning System), LBS (Location-Based Services) і RTK (Real-Time Kinematic), а також інерціальну навігацію. Кожна з цих технологій має свої унікальні характеристики та застосування.

A-GPS є розширенням та оптимізацією технології GPS і використовує комбінацію супутникового та мобільного зв'язку для покращення точності та скорочення часу отримання позиціонування. LBS надає користувачам послуги на основі їхнього поточного місцезнаходження та історії переміщень,

використовуючи геопросторові дані та різні сигнали, такі як GPS та Wi-Fi. Технологія RTK забезпечує надзвичайно високу точність вимірювань місцезнаходження за допомогою спеціальних приймачів та базової станції з відомими координатами. Інерціальна навігація використовує датчики прискорення, гіроскопи та інші для визначення руху об'єкта без залежності від зовнішніх сигналів.

Кожна з цих технологій має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від конкретних потреб та задач користувача. Разом вони сприяють покращенню навігації та місцезнаходження в різних сферах, від сільського господарства до авіації та будівництва.

Створення супутників - це складний інженерний процес, що вимагає використання різних матеріалів і технологій з метою забезпечення надійності і функціональності цих космічних споруд. Вибір конкретних матеріалів залежить від ролі і вимог, які ставляться до окремих компонентів супутника. Основні матеріали, що використовуються в супутниках, включають алюміній, сталь, титан, композитні матеріали, скло, кераміку, теплоізоляційні матеріали, пластик і рідкі метали.

Алюміній часто використовується для корпусу супутника через свою легкість, міцність і стійкість до корозії.

Сталь використовується для забезпечення стійкості та міцності супутника, особливо під час запуску та розгортання.

Титан використовується там, де необхідна висока міцність при невеликій масі.

Композитні матеріали, такі як карбонові волокна, дозволяють зменшити масу супутника і зберегти його міцність.

Оптичні компоненти і сенсори захищаються склом або скляними лінзами.

Керамічні матеріали використовуються для електронних компонентів і сенсорів через їхню діелектричну стійкість і високу термічну стійкість.

Теплоізоляційні матеріали використовуються для підтримки стійкої температури всередині супутника.

Пластик може бути використаний для корпусних компонентів і ізоляції проводів і сенсорів.

Рідкі метали, наприклад, гелій, використовуються для охолодження окремих систем супутника.

Ці різноманітні матеріали і технології сприяють створенню сучасних супутників, які можуть виконувати різні завдання в космічному просторі з високою надійністю та ефективністю.

## РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА АЛГОРИТМИ ВИРІШЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИ-GNSS

### 3.1. Вступні зауваження

Тенденції розвитку глобальних навігаційних супутникових систем характеризуються одночасним застосуванням сукупностей супутників кількох систем для вирішення навігаційної задачі. Під вирішенням навігаційної задачі розуміється визначення координат споживача за допомогою вимірювання часу поширення сигналів від кількох дальномерних джерел до фазового центру антенної системи споживача. Якість вирішення навігаційної задачі, за визначенням Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), характеризується чотирма параметрами: точність (Accuracy), цілісність (Integrity), неперервність обслуговування (Continuity of service), експлуатаційна готовність (Availability). Наведемо визначення цих параметрів, як вони представлені в документах [22-23].

#### **Точність.**

«Похибка визначення місцезнаходження GNSS - це різниця між вимірним місцезнаходженням і фактичним місцезнаходженням. Для будь-якого вимірюваного місцезнаходження ймовірність того, що похибка визначення місцезнаходження знаходиться в межах вимог до точності, становить не менше 95 %» [22].

«GNSS position error is the difference between the estimated position and the actual position. For an estimated position at a specific location, the probability should be at least 95 per cent that the position error is within the accuracy requirement» [23].

#### **Цілісність.**

«Цілісність - це міра довіри, яка може бути віднесена до правильності інформації, що надається системою в цілому. Цілісність включає в себе здатність системи забезпечити користувача своєчасними та достовірними попередженнями (спрацюваннями сигналізації) у тих випадках, коли система не повинна використовуватися для запланованої операції (або етапу польоту) »

[23]. «Integrity is a measure of the trust that can be placed in the correctness of the information supplied by the total system. Integrity includes the ability of a system to provide timely and valid warnings to the user (alerts) when the system must not be used for the intended operation (or phase of flight)» [23].

#### **Неперервність обслуговування.**

«Неперервність обслуговування для системи - це здатність системи виконувати свої функції протягом призначеної операції без незапланованих перерв» [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

«Continuity of service of a system is the capability of the system to perform its function without unscheduled interruptions during the intended operation» [23].

#### **Експлуатаційна готовність.**

«Експлуатаційна готовність GNSS визначається частиною часу, протягом якого система, що використовується для навігації, надає надійну навігаційну інформацію екіпажу, автопілоту або іншим системам, що керують польотом повітряного судна» [22].

«The availability of GNSS is characterized by the portion of time the system is to be used for navigation during which reliable navigation information is presented to the crew, autopilot, or other system managing the flight of the aircraft» [23].

Ці характеристики є ймовірнісними, і при їх оцінці завжди присутній параметр, який отримав назву - фактор зменшення точності вимірювань (Dilution of Precision (DOP)). Фізичний сенс цього параметра полягає в тому, що він пов'язує похибки вимірювання відстаней до дальніометрів з оцінками похибок визначення координат і зсувів шкал часу навігаційного обладнання споживача. Прикметник "геометричний" пов'язаний з розташуванням супутників відносно позиції, координати якої обчислюються. Основні помилки визначення координат з використанням DOP описані у документах [24-25-26] наступним чином.  $Точність = UERE \cdot DOP$ ,

(3.1)

де UERE – помилка вимірювання псевдодальності користувачем.

Средньоквадратичні навігаційні погрішності визначення координат у просторі ( $UPNE$ ), в горизонтальній площині ( $UHNE$ ), в вертикальній площині ( $UVNE$ ), в просторово- часовому ( $UPNE$ )

$$UPNE = UERE \cdot PDOP, \quad (3.2)$$

где  $PDOP$ - просторовий геометричний фактор зниження точності,

$$UHNE = UERE \cdot HDOP, \quad (3.3)$$

где  $HDOP$  - горизонтальний геометричний фактор зниження точності,

$$UVNE = UERE \cdot VDOP, \quad (3.4)$$

где  $VDOP$  - вертикальний геометричний фактор зниження точності,

$$UTNE = UERE \cdot TDOP, \quad (3.5)$$

где  $TDOP$  - тимчасовий геометричний фактор зниження точності

$$UPNE = UERE \cdot GDOP, \quad (3.6)$$

где  $GDOP$  - просторово-часовий геометричний фактор зниження точності.

Якщо необхідно визначити похибки вимірювання швидкості по вказаним координатним вісям та відомі похибки вимірювання швидкості зміни відстані  $UERRE$ , то середньоквадратичні похибки вимірювання швидкості обчислюються за формулами, аналогічними (1 – 6).

$$UPVE = UERRE \cdot PDOP, \quad (3.7)$$

$$UHVE = UERRE \cdot HDOP, \quad (3.8)$$

$$UVVE = UERRE \cdot VDOP, \quad (3.9)$$

$$UVNE = UERE \cdot TDOP, \quad (3.10)$$

$$UGVE = UERRE \cdot GDOP. \quad (3.11)$$

Для більшості користувачів геометричний фактор зниження точності викликає інтерес у топоцентричній (користувацькій) системі координат "схід - північ - вгору" (ENU). У цій системі координат, і мають ті самі значення, що і в ECEF, але відрізняються системі ENU

$$HDOP_{ENU} = \sqrt{EDOP^2 + NDOP^2}, \quad (3.12)$$

де  $EDOP$  і  $NDOP$  Геометричні фактори, які зменшують точність в східному та північному напрямках (або за довготою і широтою відповідно)



Геометричний фактор, що зменшує точність в вертикальному напрямку в системі ENU, спрямований вздовж нормалі до каскадної площини, проведеної через центр координатних вісей ENU.

Ця коротка характеристика геометричного фактора зниження точності є відповідною для одномоментних вимірювань псевдодальностей всіх супутників, які перебувають у зоні видимості, протягом одного системного часу. Оцінки DOP можуть проводитися до, після та під час обчислення положення користувача. У тривимірному просторі з урахуванням помилок часового вимірювання для визначення DOP необхідно як мінімум отримувати дані від чотирьох супутників однієї системи. Якщо в навігаційному рішенні використовуються дальномерні дані з кількох супутникових систем, то кількість супутників з кожної системи можна визначити за наступними розрахунками:

- а) Для двох систем - мінімальні конфігурації 3+2, 4+1;
- б) Для трьох систем - мінімальні конфігурації 3+2+1, 2+2+2;
- в) Для чотирьох систем - 2+2+2+1.

У загальному випадку мінімальна кількість супутників ( $N$ ) з декількох навігаційних супутникових систем, необхідних для вирішення навігаційної задачі, визначається відповідним відношенням.

$$N = 3 + n_s, \quad (3.13)$$

де  $n_s$  - число супутникових навігаційних систем.

Рівняння (3.11) є необхідною умовою, але недостатньою.

Давайте проілюструємо це за допомогою експериментальних даних на рисунку 3.1, та рисунку 3.2. На рисунках показані два сценарії експериментальних спостережень, коли у зоні видимості було чотири супутники ГЛОНАСС (рисунок 1) і чотири супутники GPS (рисунок 3.1). У першому випадку приймач припинив обробку даних, а в другому випадку спостерігалася дуже висока похибка визначення висоти при великому геометричному факторі

зниження точності. Ми спеціально наводимо дані, які відрізняються за часом (5 років) і для двох різних систем.

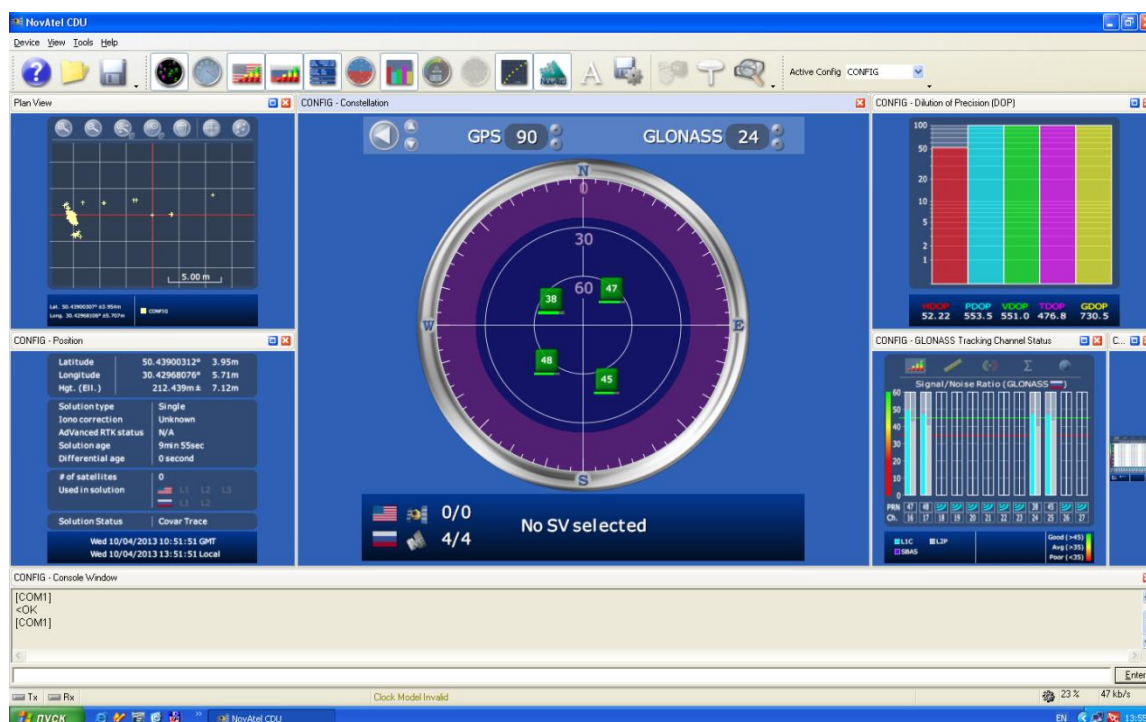


Рисунок 3.1 Дані від 4 супутників ГЛОНАСС

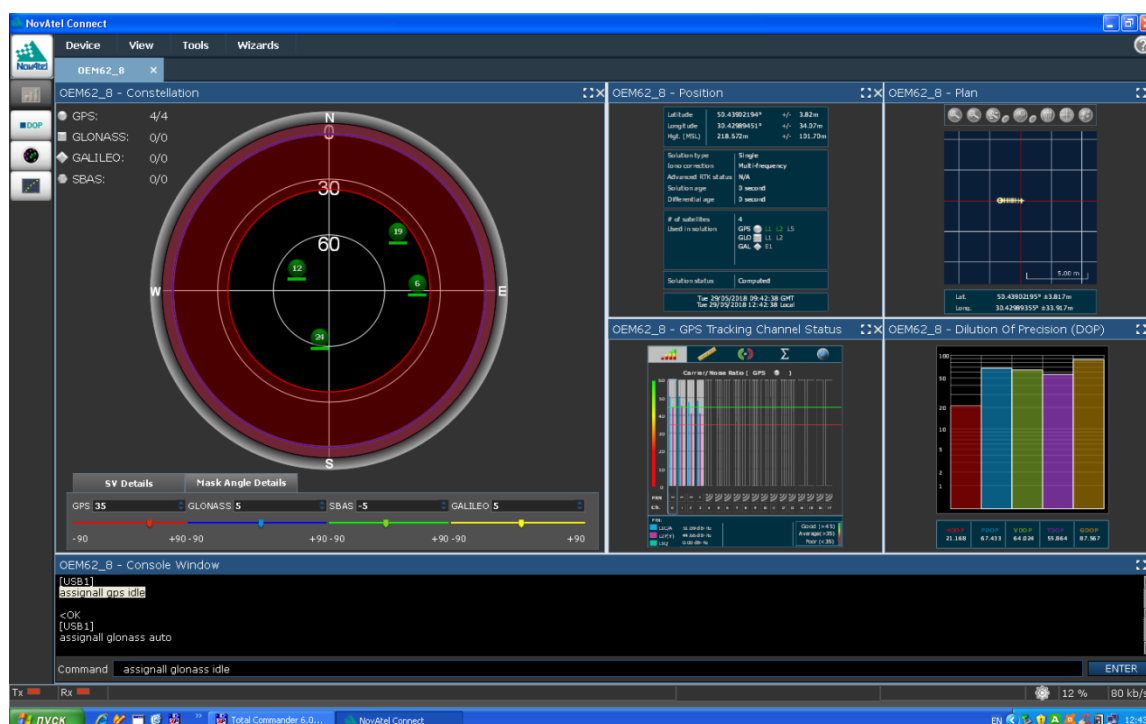


Рисунок 3.2 Дані від 4 супутників GPS

Умовою достатності є прийнятний геометричний фактор зниження точності. Його допустимі значення наводяться у [22-27].

Вирази подібні (1) у документах [24-26] даються для системи GPS і базуються на фундаментальних публікаціях 1980 – 1992 р.

### 3.2. Метод оцінки позиції користувача та геометричного фактора в MultiGNSS

В даний момент виділяється та реалізується тенденція зростання кількості дальномерних джерел завдяки розробці та впровадженню нових супутникових навігаційних систем.

Під "Multi-GNSS" розуміється глобальна навігаційна супутникова система, яка включає в себе кілька сукупностей навігаційних супутників (НС) і багаточастотний приймач їх сигналів. Розвиток Multi-GNSS ілюструється на рисунку 3.3

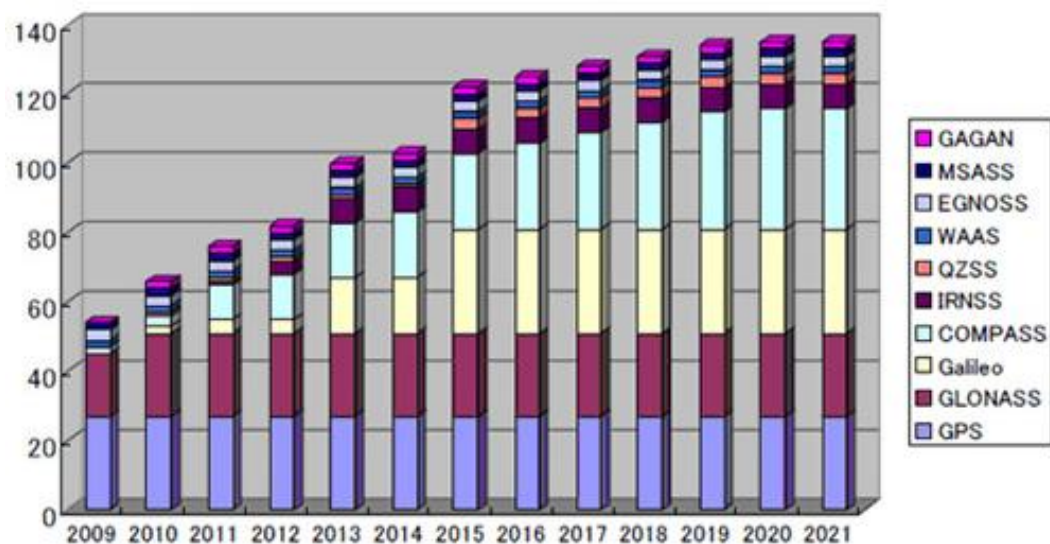


Рисунок 3.3 - Прогнозована кількість каналів сузір'їв (НС),  
(<http://www.euref.eu/symposia/2015Leipzig/03-06-Brockmann.pdf>)

Multi-GNSS (багатосистемна навігаційна супутникова система) забезпечує підвищену точність, стійкість до перешкод, здатність працювати в ускладнених місцевостях і на високих орбітах. На момент червня 2018 року були доступні 32 супутника GPS, 25 супутників ГЛОНАСС, 23 супутники GALILEO, 40 супутників BeiDou, а також геостационарні супутники систем WAAS, MSAS, EGNOS, IRNSS, SDCM, які в майбутньому можуть служити джерелами сигналів для вимірювання відстаней.

Для ілюстрації роботи Multi-GNSS на рисунку 3.4 показано екран, на якому відображені супутники чотирьох систем, які беруть участь у вирішенні навігаційної задачі. Приймаються сигнали від 31 супутника. В правому нижньому куті зображення показана панель геометричного фактора на поточний момент часу (вимірювання проводилися 5 червня 2018 року).



Рисунок 3.4 Чотири супутникові системи (коло - GPS, прямокутники - ГЛОНАСС, ромби - GALILEO, п'ятикутники - BeiDou)

Для отримання моделі оцінки позиції та геометричного фактора MultiGNSS скористаємося виразом для розрахунку координат позиції споживача у системі ECEF.

Розрахунок координат MultiGNSS виконується в системі ECEF у загальному вигляді за формулою [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

$$[\delta X] = \{[G]^T \cdot [G]\}^{-1} \cdot [G]^T \cdot [\delta PR], \quad (3.14)$$

де  $[\delta X] = [X^{(m+1)}] - [X^{(m)}] = [\delta x \ \delta y \ \delta z \ \delta h_{s1} \ \delta h_{s2} \ \dots \ \delta h_{sn}]^T$  - збільшення шуканих координат на останній ітерації,

$$[\delta PR_i] = [PR^{(m+1)}] - [PR^{(m)}] - \text{приріст псевдодальностей на заключній ітерації,}$$

$i \in 1, \dots, n$  - номери супутників, які беруть участь у вирішенні навігаційного завдання,

$$[G] = \begin{pmatrix} \frac{-(x_{s1} - x)}{PR_{s1}^{расч.}} & \frac{-(y_{s1} - y)}{PR_{s1}^{расч.}} & \frac{-(z_{s1} - z)}{PR_{s1}^{расч.}} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ (\cdot)_{s1} & (\cdot)_{s1} & (\dots)_{s1} & 1_{s1} & 0_{s1} & \dots & 0_{s1} \\ \frac{-(x_{s2} - x)}{PR_{s2}^{расч.}} & \frac{-(y_{s2} - y)}{PR_{s2}^{расч.}} & \frac{-(z_{s2} - z)}{PR_{s2}^{расч.}} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ (\cdot)_{s2} & (\cdot)_{s2} & (\dots)_{s2} & 0_{s2} & 1_{s2} & \dots & 0_{s2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{-(x_{sn} - x)}{PR_{sn}^{расч.}} & \frac{-(y_{sn} - y)}{PR_{sn}^{расч.}} & \frac{-(z_{sn} - z)}{PR_{sn}^{расч.}} & 0_{sn} & 0_{sn} & \dots & 1_{sn} \end{pmatrix} - \text{матриця спостережень,}$$

де  $s1, s2, \dots, sn$  – далекомірні джерела, різних супутникових систем.

Для вирішення навігаційної задачі в системі координат ENU потрібно виконати перетворення з ECEF на ENU. Обидві системи координат ECEF та ENU декартові та процедура перетворення записується наступним чином

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{ENU} \\ \Delta y_{ENU} \\ \Delta z_{ENU} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix}_{ECEF}. \quad (3.15)$$

Але, як випливає з (3.16) координати ECEF, містять у своєму складі і складові, що відносяться до розходження шкал часу різних систем.

$$[\delta T]_{ECEF} = \begin{bmatrix} \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix}. \quad (3.16)$$

На відміну від перетворення координат (3.15), тимчасові складові (16) при перетворенні з ECEF в ENU не змінюються, зв'язок між ними встановлюється співвідношеннями

$$[\delta T_{ENU}] = [E] \cdot [\delta T]_{ECEF} \text{ или}$$

$$\begin{bmatrix} \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix}_{ENU} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix}, \quad (3.17)$$

де  $[E]$  - одинична матриця.

Об'єднуючи матриці (3.15 – 3.17) отримуємо

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \\ \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{ENU} \\ \Delta y_{ENU} \\ \Delta z_{ENU} \\ \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix} = [S] \cdot \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix}, \quad (3.18)$$

де

$$[S] = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.19)$$

$\lambda, \varphi$  - довгота та широта позиції споживача.

Матриця є унітарною та для неї виконується

$$\begin{aligned} [S] \cdot [S]^T &= [S]^T \cdot [S] = [E], \\ [S]^T &= [S]^{-1}. \end{aligned} \quad (3.20)$$

З урахуванням викладеного, перетворимо координати із системи ECEF на ENU. Помножимо обидві частини (3.14) зліва на  $[S]$

$$[S] \cdot [\delta X] = [S] \cdot \{[G]^T \cdot [G]\}^{-1} \cdot [G]^T \cdot [\delta PR]. \quad (3.21)$$

Перетворимо праву частину (3.21) та отримаємо

$$\begin{aligned} [S] \cdot [\delta X] &= \{[G]^T \cdot [G] \cdot [S]^{-1}\}^{-1} \cdot [S]^{-1} \cdot [S] \cdot [G]^T \cdot [\delta PR] \\ &= \{[S] \cdot [G]^T \cdot [G] \cdot [S]^T\}^{-1} \cdot [S] \cdot [G]^T \cdot [\delta PR]. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Обозначимо

$$[S] \cdot [G]^T = [H]^T, \quad [G] \cdot [S]^T = [H]. \quad (3.23)$$

Із (3.14, 3.21, 3.23) отримуємо вирази для розрахунку координат у системі ENU

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \\ \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{ENU} \\ \Delta y_{ENU} \\ \Delta z_{ENU} \\ \delta h_{s1} \\ \delta h_{s2} \\ \dots \\ \delta h_{sn} \end{bmatrix} = \{[H]^T \cdot [H]\}^{-1} \cdot [H]^T \cdot [\delta PR]. \quad (3.24)$$

Для отримання геометричних факторів зниження точності MultiGNSS обчислимо зворотну матрицю  $\{[H]^T \cdot [H]\}^{-1}$  і виділимо з неї головну діагональ

$$diag \{[H]^T \cdot [H]\}^{-1} = \begin{bmatrix} EDOP^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & NDOP^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & UDOP^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & TDOP_{s1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & TDOP_{s2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & TDOP_{sn}^2 \end{bmatrix}. \quad (3.25)$$

З елементів матриці (3.25) отримуємо геометричні фактори зниження точності системи координат ENU.

$$GDOP_{ENU} = \sqrt{EDOP^2 + NDOP^2 + UDOP^2 + TDOP_{s1}^2 + TDOP_{s2}^2 + \dots + TDOP_{sn}^2}, \quad (3.26)$$

$$PDOP_{ENU} = \sqrt{EDOP^2 + NDOP^2 + UDOP^2}, \quad (3.27)$$

$$HDOP_{ENU} = \sqrt{EDOP^2 + NDOP^2}, \quad (3.28)$$

$$UDOP_{ENU} = \sqrt{UDOP^2}, \quad (3.29)$$

$$TDOP_{ENU} = \sqrt{TDOP_{s1}^2 + TDOP_{s2}^2 + \dots + TDOP_{sn}^2}. \quad (3.30)$$

Отже, модель для оцінки позиції та геометричних факторів зниження точності включає в себе матрицю спостережень  $[H]$ , псевдодальності (прирости псевдодальностей на заключній ітерації) до всіх видимих супутників та позицію, відносно якої обчислюються DOP. Ці дані можуть бути отримані безпосередньо з поточних вимірювань або передбачені за допомогою параметрів альманаху супутникових систем, які будуть використовуватися для вирішення навігаційної задачі.

Далі з використанням експериментальних даних будуть досліджуватися

кожна система окремо, спільне використання двох систем, трьох систем і чотирьох систем. Нижче наведено підсумкові формули матриці [H], отримані за допомогою (3.21-3.23).

$$H1 = \begin{bmatrix} \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & 1 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.31)$$

$$H2 = \begin{bmatrix} \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 1 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & 1 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.32)$$

$$H3 = \begin{bmatrix} \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_k} & 1 & 0 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 0 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_l} & 0 & 1 & 0 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_1} & 0 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 \\ \left(\frac{-\delta x}{\vec{R}}\right)_{S1_m} & \left(\frac{-\delta y}{\vec{R}}\right)_{S1_m} & \left(\frac{-\delta z}{\vec{R}}\right)_{S1_m} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.33)$$

В (3.31 – 3.33)  $H1$ ,  $H2$ ,  $H3$ ,  $H4$  обозначены, как матрицы, описывающие одну, две, три и четыре системы соответственно.



### 3.3. Данні для експериментальних досліджень та моделювання

Приймач OEM7 та SMART2 від NovAtel може обробляти вхідні та вихідні дані у трьох різних форматах повідомлень: скороченому ASCII, ASCII та бінарному. Це надає велику гнучкість при використанні цих приймачів. Усі команди та журнали від NovAtel можуть бути використані, передані, виведені або отримані у будь-якому з цих трьох форматів. Приймач також підтримує формати RTCMV3, NOVATELX та NMEA для обміну повідомленнями.

Формат повідомлень "скорочений ASCII" (Abbreviated ASCII) є одним із форматів, яким можуть бути представлені дані в приймачах NovAtel. Цей формат призначений для зручності обміну даними між приймачем та іншими пристроями або програмами. Основні характеристики скороченого ASCII включають наступне:

**1) Зрозумілість:** Формат скороченого ASCII призначений для зручного читання людиною. Він містить текстові представлення даних, що полегшує їх інтерпретацію та аналіз.

**2) Короткий формат:** Основна особливість цього формату - короткий запис даних, що дозволяє передавати інформацію швидко та економно.

**3) Зручність:** Скорочений ASCII використовує зрозумілі аббревіатури для представлення різних типів даних, що полегшує роботу з ними. Наприклад, "LAT" використовується для позначення широти, а "LON" - для довготи.

**4) Підтримка різних типів даних:** Цей формат підтримує різні типи даних, такі як координати (широта і довгота), висота, часові мітки та інші параметри.

**5) Використання в комунікаціях:** Скорочений ASCII часто використовується для обміну даними між приймачем NovAtel і іншими системами, такими як ГНСС (глобальна навігаційна спутникова система), ГІС (геоінформаційна система) або навігаційними програмами.

Символьний набір ASCII: ASCII включає 128 різних символів, включаючи літери латинського алфавіту (великі та малі), цифри, спеціальні символи та керуючі символи. Кожен символ має свій унікальний числовий код, який

визначається в ASCII таблиці.

**7-бітовий код:** Оригінальний стандарт ASCII використовує 7 біт для кодування символів, що дозволяє представляти 128 різних символів. Восьмий біт залишається нульовим для старших символів.

**Розширені версії ASCII:** Існують розширені версії ASCII, такі як "Extended ASCII", які використовують 8 біт для представлення символів. Це дозволяє включати додаткові символи, включаючи літери із інших алфавітів, спеціальні символи та графічні символи.

**Керуючі символи:** ASCII включає керуючі символи, такі як символ переводу рядка (LF), символ завершення рядка (CR), символ табуляції (TAB) та інші. Вони використовуються для форматування тексту та керування виведенням.

**Використання в комп'ютерах:** ASCII використовується для представлення текстової інформації та команд в багатьох комп'ютерних системах та програмах. Кожен символ має свій унікальний ASCII код, який використовується для обробки та відображення символів на екрані.

**Пов'язані стандарти:** Існують різні регіональні варіанти ASCII, такі як ISO 8859 (Latin-1), які розширюють ASCII для підтримки різних мов та алфавітів.

**Переваги ASCII:** ASCII є простим та універсальним форматом для обміну текстовою інформацією, і його можна використовувати на різних платформах та в програмах.

**Обмін даними:** ASCII використовується для обміну даними між комп'ютерами, програмами та пристроями через текстові файли або мережевий зв'язок.

ASCII залишається одним з основних стандартів для представлення текстової інформації і широко використовується в інформатиці та зв'язку.

Різниця між скороченим ASCII (Abbreviated ASCII) та стандартним ASCII (Standard ASCII) полягає в способі представлення даних та їх інтерпретації. Ось основні відмінності між ними:

**Спосіб представлення даних:**

Скорочений ASCII: Використовує абрєвіатури або скорочені форми для подання даних. Наприклад, використовує "LAT" для позначення широти або "LON" для довготи. Цей формат стискає дані, зробиючи їх більш компактними та зрозумілими для тих, хто знайомий із конкретним форматом. Стандартний ASCII: Використовує повні назви полів та даних, які подаються у текстовому вигляді. Наприклад, "Latitude" для позначення широти. Цей формат, зазвичай, більш довгий та менш компактний, але більш зрозумілий для загального користувача.

#### **Читабельність:**

Скорочений ASCII: Цей формат може бути менш зрозумілим для тих, хто не знайомий із специфічними абрєвіатурами, але він коротший та економічніший у використанні. Стандартний ASCII: Зазвичай є більш зрозумілим для людей, які просто переглядають або аналізують дані без глибокого розуміння формату.

#### **Використання:**

Скорочений ASCII: Зазвичай використовується для оптимізації обміну даними між програмами або пристроями, які розуміють конкретний скорочений формат. Стандартний ASCII: Зазвичай використовується, коли дані повинні бути зрозумілими більшій аудиторії, або коли зручність читання та розуміння даних є важливою.

Бінарний формат повідомлень - це формат, в якому дані представлені у вигляді послідовності бінарних (двійкових) бітів, а не текстових символів, як у ASCII форматі. Бінарний формат має свої особливості і переваги.

#### **Інформація про бінарний формат повідомлень:**

**Ефективність передачі даних:** Однією з ключових переваг бінарного формату є ефективність передачі даних через мережу. Дані в бінарному форматі зазвичай менші за аналогічні дані у текстовому форматі, оскільки не має потреби включати символи роздільників, пробіли та інші текстові символи.

**Швидкість обробки:** Бінарний формат зазвичай обробляється швидше, оскільки комп'ютери можуть працювати з бінарними даними без необхідності

розшифрування текстових символів.

**Збереження даних:** Бінарний формат підходить для збереження даних на диску, оскільки він забезпечує компактність та зменшення обсягу файлів.

**Захист від помилок:** У бінарному форматі можна включити контрольні суми або перевірки цілісності, щоб виявити та виправити помилки в передачі даних.

**Використання в реальному часі:** Бінарний формат часто використовується в реальному часі, де швидкість обміну даними та точність мають важливе значення, такі як в глобальних навігаційних системах (GNSS) або системах збору даних.

**Неструктуровані дані:** У бінарному форматі дані можуть бути менш структурованими, оскільки вони не мають текстових міток чи роздільників. Це може бути зручним для деяких типів даних, але вимагає додаткового програмного забезпечення для їх інтерпретації.

Зазвичай бінарний формат використовується там, де важлива швидкість та ефективність передачі даних

**Навігаційні повідомлення (NAV Message)** представляють собою суттєвий компонент інформаційного обміну, який відбувається між супутниками, що належать до системи GPS (Global Positioning System), і приймачами на землі. Ці повідомлення містять ключову інформацію про статус та характеристики супутників GPS, і без цієї інформації неможливо отримати точні відомості щодо місцезнаходження та часу за допомогою приймачів GPS. Основні аспекти навігаційних повідомлень можуть бути описані наступним чином:

**Ефемериди (Ephemerides):** Ця складова повідомлення містить інформацію, що стосується орбітальних параметрів конкретного супутника, таких як півосі великої піввісі, ексцентриситет, нахил орбіти, аргумент перигелію та інші параметри. Ця інформація необхідна для приймачів GPS для точних обчислень псевдодальності до супутника.

**Часові параметри (Time Parameters):** NAV Message також містить

інформацію про часові параметри супутника, такі як час високої точності, синхронізований з GPS-часом, і час коригування, який дозволяє приймачам узгоджувати свої годинники.

**Контрольні суми (Checksums):** Для забезпечення надійності даних у NAV Message зазвичай включаються контрольні суми. Приймач перевіряє ці контрольні суми, щоб переконатися, що отримані дані не були пошкоджені під час передачі.

**Інша інформація (Other Information):** Деякі NAV Message можуть містити іншу корисну інформацію, таку як ідентифікатор супутника, його статус та інші параметри, що можуть бути важливими для обчислення позиції та часу.

**Споріднені повідомлення (Almanac Messages)** є іншою складовою інформаційного обміну, яку транслюють навігаційні супутники, такі як GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou, і вони надають користувачам важливу інформацію про стан супутникової системи та її супутників. Основні аспекти споріднених повідомлень можуть бути описані наступним чином:

**1) Інформація про супутникову систему:** Споріднені повідомлення містять важливі дані щодо конфігурації та параметрів супутникової системи, такі як ідентифікаційні номери супутників, їхні орбітальні параметри (наприклад, висота орбіти, ексцентриситет), корекції часу та інші важливі параметри.

**2) Інформація про супутники:** Кожне споріднене повідомлення містить інформацію про конкретний набір супутників, які складають супутникову систему. Ця інформація допомагає приймачам визначати, які супутники доступні для навігації в певний момент часу.

**3) Альманах:** Основною частиною споріднених повідомлень є альманах, який представляє собою таблицю з інформацією про всі супутники системи. Ця таблиця містить прогнози орбітальних параметрів, що допомагають приймачам точно розраховувати положення супутників у просторі протягом певного часу

вперед.

**4) Оновлення інформації:** Інформація в споріднених повідомленнях регулярно оновлюється, оскільки орбітальні параметри супутників постійно змінюються. Приймачі повинні отримувати свіжі споріднені повідомлення для точних обчислень.

**5) Користувачі:** Споріднені повідомлення використовуються користувачами навігаційних систем, такими як GPS, для позиціонування та визначення часу. Приймачі отримують ці дані від супутників та використовують їх для вибору найкращих супутників для навігації.

**Коррекційні повідомлення (Correction Messages)** представляють собою дані, які надсилаються користувачам навігаційних систем з метою виправлення або покращення точності позиціонування та часу, отриманих приймачами від навігаційних супутників, таких як GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou. Основні аспекти корекційних повідомлень можуть бути описані наступним чином:

**1) Корекція часу:** Одні з основних даних, які містяться в корекційних повідомленнях, - це корекції часу. Точний час є важливим для навігації, і корекції допомагають уточнити час, який приймач отримує від супутників.

**2) Орбітальні корекції:** Корекційні повідомлення також містять дані для виправлення орбітальних параметрів супутників. Орбітальні параметри можуть змінюватися під впливом гравітації, атмосферного тиску і інших факторів, і корекції допомагають визначити точніше положення супутників у просторі.

**3) Корекція затримки сигналу:** Сигнали навігаційних супутників можуть зазнавати затримки при проходженні через атмосферу Землі. Корекційні повідомлення містять дані про затримку сигналу, що допомагають приймачам уточнити власну позицію.

**4) Корекція іоносферної впливу:** Іоносфера Землі може впливати на швидкість поширення сигналів від супутників, що також може впливати на точність позиціонування. Корекційні повідомлення містять дані про іоносферний вплив, які допомагають коригувати сигнали для досягнення більшої точності.

**5) Режими та типи корекцій:** Коррекційні повідомлення можуть включати різні типи корекцій, такі як кодові, фазові, диференціальні тощо. Вони також можуть бути призначені для різних режимів роботи, включаючи режим реального часу та післязбірковий режим.

**6) Оновлення корекцій:** Дані в корекційних повідомленнях регулярно оновлюються, оскільки параметри супутників та атмосферні умови можуть змінюватися. Приймачі повинні отримувати свіжі корекційні повідомлення для підтримки точності.

**7) Користувачі:** Корекційні повідомлення використовуються користувачами навігаційних систем, такими як GPS, для покращення точності позиціонування та часу. Вони допомагають виправити помилки, які можуть виникнути при отриманні сигналів від супутників.

**Повідомлення про час (Time Message)** - це один із видів навігаційних повідомлень, які транслюються від навігаційних супутників до приймачів у системах позиціонування, таких як GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou і інших. Воно містить інформацію про точний час, який супутники виміряли на орбіті, і дозволяє приймачам синхронізувати свій власний годинник з часом супутників. Основні риси повідомлень про час:

**1) Точність часу:** Повідомлення про час містить високоточну інформацію про час. Супутники обладнані атомними годинниками, що дозволяє вимірювати час з великою точністю, і цей час передається приймачам.

**2) Вимірювання затримки:** Повідомлення про час також може включати дані про затримку сигналу від супутників до приймача. Ця затримка може виникати через різницю в швидкості поширення сигналу в просторі.

**3) Синхронізація приймача:** Приймачі використовують інформацію про час з повідомлення для синхронізації свого внутрішнього годинника. Це дозволяє приймачам точно визначити момент часу, коли був отриманий сигнал від супутників.

**4) Положення супутників:** Повідомлення про час може також містити інформацію про положення супутників на орбіті в момент відсилання

повідомлення. Ця інформація може бути використана для покращення точності позиціонування.

**5) Часовий пояс:** Повідомлення про час може включати інформацію про часовий пояс, в якому вимірюється час супутників. Це важливо для коректного визначення місцевого часу в різних частинах світу.

**6) Оновлення часу:** Повідомлення про час регулярно оновлюються і відсилаються супутниками, оскільки точний час є критичним для навігаційних обчислень.

**Повідомлення про статус (Status Message)** - це складова навігаційних повідомлень, які надсилаються від навігаційних супутників до приймачів у системах позиціонування, таких як GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou та інші. Ці повідомлення містять інформацію про статус роботи окремих супутників і загальний стан супутникової констеляції. Головні характеристики повідомлень про статус:

**1) Інформація про стан супутників:** Повідомлення про статус надають інформацію про робочий стан кожного окремого супутника. Ця інформація включає в себе ідентифікаційний номер супутника, статус супутника (наприклад, активний, недоступний, відсутній) та інші параметри, які характеризують стан супутника.

**2) Статус констеляції:** Повідомлення про статус також містять інформацію про загальний стан супутникової констеляції. Це включає в себе кількість активних супутників, кількість супутників у резервному стані, кількість супутників, які відсутні або недоступні, та інші параметри, які описують роботу всієї констеляції.

**3) Інша діагностична інформація:** Повідомлення про статус можуть містити додаткову діагностичну інформацію, таку як інформацію про затримки сигналів, статус супутникових годинників, антенну конфігурацію та інші параметри, які можуть бути важливими для правильної роботи приймача.

**4) Оновлення статусу:** Повідомлення про статус регулярно оновлюються і



передаються супутниками, оскільки інформація про статус може змінюватися внаслідок різних факторів, таких як технічні проблеми, зміна орбітального стану супутників і інше.

**5) Діагностика та відладка:** Повідомлення про статус важливі для діагностики роботи навігаційних систем і можуть використовуватися для відладки приймачів та забезпечення їх правильної роботи.

### 3.4. Дані для вирішення навігаційної задачі

Дані для вирішення навігаційних завдань за допомогою GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS формуються в навігаційному приймачі і записуються в один файл. Зміст файлу можна розкрити за допомогою програми від компанії Novatel, "NovAtel Convert (OEM6 / OEM7), Windows 7/10, Версія 2.6.5 (02.11.2020)" (рис.1).

Input						
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	INPUT FILE	SIZE	ASCII	BIN	DURATION	
Click Here to Open New File						
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	All 01-04-20...	45.3...	0	27261	02:31:26	
	Loqs					
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>ALL LOGS</b>			<b>BINARY</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>+ RANGE</b>			9087		
<input checked="" type="checkbox"/>	SATXYZ2			9087		
<input checked="" type="checkbox"/>	TIME			9087		
<input type="checkbox"/>	Sample Pe...					
<input type="checkbox"/>	Time					

Рисунок 3.5 - Зміст експериментальних даних

Файл містить наступні повідомлення:

(Повідомлення ID: 43 RANGE), в якому записані фазові та кодові псевдодальності, доплерівська частота, відношення сигнал/шум (див. розділ 3.146 RANGE додатка 1).

(Повідомлення ID: 1451 SATXYZ2), в якому записані координати супутників, іоносферні, тропосферні та часові корекції (див. розділ 3.178 SATXYZ2 додатка 1).

(Повідомлення ID: 101 Time), в якому записані компоненти часу (див. розділ 3.204 TIME додатка 1).

Стандартний формат повідомлення 43 складається з заголовка (поле 1 RANGE, заголовок), змісту повідомлення (поля 2, 3, ..., 13) та перевіркового коду (поле змінної довжини, 32-бітний CRC).

Заголовок повідомлення наведено в розділі 1.3 Vinarі (Таблиця 4), додатка

Компоненти заголовка (див. додаток 2), на які слід звернути увагу при декодуванні: номер повідомлення (поле 5, Message ID, після розшифрування повинно бути число 43), номер тижня GPS (поле 12, Week), час GPS (поле 13, мс, при розшифруванні час переводиться в секунди).

Основні компоненти повідомлення 43 (див. додаток 1). У полі 2 (#obs від слова спостереження) записується загальна кількість спостережень з інформацією для аналізу, у полі 3 (PRN/slot) номери супутників, у полі 4 (glofreq) записуються частоти (слоти) ГЛОНАСС, у полі 5 (psr) – кодова псевдодальність, у полі 6 (psr  $\sigma$ ) – середньоквадратичне відхилення кодової псевдодальності, у полі 7 (adr) - фазова псевдодальність, у полі 8 (adr  $\sigma$ ) - середньоквадратичне відхилення фазової псевдодальності, у полі 9 (dopp) – доплерівська частота, у полі 10 (dopp) – відношення сигнал/шум, поле 12 (ch-tr-status) – статус відстеження каналу. Деталі про цей параметр можна знайти в керівництві.

"ОЕМ7 Команди та Посібник по Журналам, версія 18А", липень 2021, стор. 781 та в Додатку 1 (Рисунок 15: Приклад відстеження каналу, Таблиця 160: Статус відстеження каналу).

Стандартний формат повідомлення 1451 складається з заголовка (поле 1 SATXYZ2, заголовок), змісту повідомлення (поля 2, 3, ..., 12) та перевіркового коду (поле 14, 32-бітний CRC).

Заголовок повідомлення наведено в розділі 1.3 Vinarі (Таблиця 4), Додаток

Компоненти заголовка (див. Додаток 2), на які слід звернути увагу при декодуванні: номер повідомлення (поле 5, Message ID, після розшифрування

повинно бути число 1451), номер тижня GPS (поле 12, Week), час GPS (поле 13, мс, при розшифруванні час переводиться в секунди.

Основні компоненти повідомлення 1451 (див. Додаток 1). У полі 2 (#sat) записується загальна кількість супутників, які перебувають у зоні видимості на момент вимірювань, у полі 3 (System) записується код системи, дані якої будуть записуватися в поля 4, 5, ..., 12. Кодування систем зазначено в Таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Кодування системи

Binary Value	ASCII Mode Name
0	GPS
1	GLONASS
2	SBAS
5	Galileo
6	BeiDou
7	QZSS
9	NavIC

У поле 4 (Ідентифікаційний номер супутника) записується ідентифікаційний номер супутника системи, код якої вказаний у полі 3.

У полях 5, 6, 7 записуються координати X, Y, Z відповідного супутника в системі координат ECEF.

У полях 8, 9, 10 записуються часові корекції, іоносферні та тропосферні затримки відповідно.

По мірі накопичення приймачем інформації про координати та корекції дані зчитуються у масиви, які після декодування використовуються для подальших досліджень.

Стандартний формат повідомлення 101 складається з заголовка (поле 1 Time, заголовок), вмісту повідомлення (поля 2, 3, ..., 12) та перевіркового коду (поле 14, 32-бітний CRC). Заголовок повідомлення приведено в розділі 1.3 **Binari (Table 4)**, приложения 2.

Компоненти заголовка (див. додаток 2), на які слід звернути увагу при декодуванні: номер повідомлення (поле 5, Message ID, після розшифрування повинно бути число 101), номер тижня GPS (поле 12, Week), час GPS (поле 13, мс, після розшифрування час переводиться в секунди).

Докладну інформацію про вміст повідомлення 101 Time можна знайти на веб-сайті:

<https://docs.novatel.com/OEM7/Content/Logs/TIME.htm> і в документі:

«OEM7 Commands and Logs Reference Manual v18A», July 2021.

### 3.5. Програмний код для моделювання

Узагальнену характеристику програмного коду проілюструємо на прикладі розв'язання навігаційної задачі для п'яти систем: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS.

Зміст програми у вигляді функцій і виконавчого файлу зображено на рис.3.6

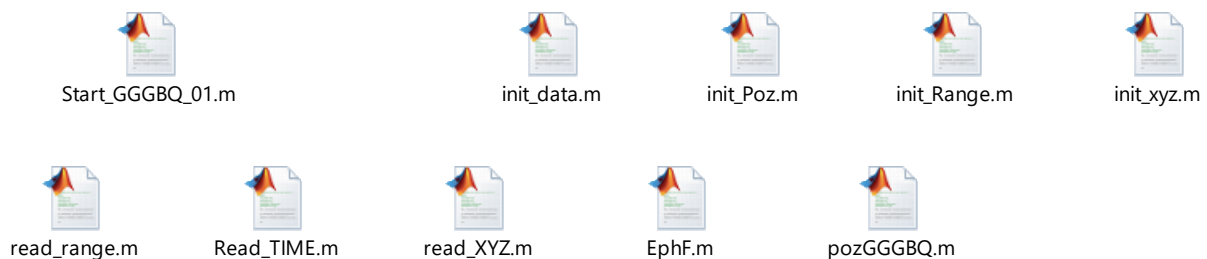


Рисунок 3.6 Зміст програмного коду

Start\_GGGBQ\_01 – стартовий файл;

init\_data.m, init\_Poz.m, init\_Range.m, init\_xyz.m – функції обнулення масивов;

read\_range.m – чтение и декодирование псевдодальностей (Message\_ID=43, Range);

Read\_TIME.m – чтение и декодирование времени (Message\_ID= 101, Time);

read\_XYZ.m – чтение декодирование эфемерид спутников (Message\_ID= 1451

SATXYZ2);

EphF.m – функция для синхронизации псевдодальностей, эфемерид спутников, ионосферных, тропосферных и временных коррекций;

rozGGGBQ – функция для расчета позиции и геометрического фактора методом наименьших квадратов.

### Висновок до розділу 3

Прогрес глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) визначається використанням сукупностей супутників з різних систем для ефективного вирішення навігаційних задач. Важливі параметри, такі як точність, цілісність, неперервність обслуговування та експлуатаційна готовність, є критеріями оцінки якості функціонування ГНСС, і вони визначаються ймовірнісними характеристиками.

Точність вимірювань у ГНСС визначається як відхилення між вимірним і фактичним місцезнаходженням, і вимога до надійності її повинна становити не менше 95%. Цілісність відображає ступінь довіри до інформації системи та включає своєчасні та достовірні попередження. Неперервність обслуговування визначає здатність системи працювати без перерв протягом запланованої операції, а експлуатаційна готовність характеризується часом надання надійної навігаційної інформації.

Геометричний фактор зменшення точності вимірювань, який враховує геометричний аспект розташування супутників, відіграє важливу роль у визначенні точності. Робота детально розглядає метод оцінки позиції користувача та геометричного фактора в системі MultiGNSS, яка використовує дані з різних навігаційних систем одночасно, щоб підвищити точність та стійкість до ускладнень.

Використані приймачі NovAtel OEM7 та SMART2, які підтримують різні формати повідомлень, такі як скорочений ASCII, ASCII, бінарний, RTCMV3, NOVATELX та NMEA, що забезпечує гнучкість та зручність в обміні даними.

Також розглядаються різні формати обміну даними, такі як скорочений ASCII, стандартний ASCII та бінарний, та підкреслюють їхні переваги та обмеження, зазначаючи, що вибір формату залежить від конкретних вимог та умов застосування.

Досліджено важливість повідомлень про час та статус у забезпеченні ефективності та надійності навігаційних систем. Повідомлення про час визначає точний момент часу отримання сигналу від супутників, а

повідомлення про статус надають інформацію про стан супутників та їхню констеляцію.

Загальна інформація про навігаційні повідомлення, споріднені повідомлення та корекційні повідомлення визначає їхню ключову роль у забезпеченні точності та ефективності навігаційних систем, таких як GPS. Ці повідомлення забезпечують важливі дані для функціонування приймачів та компенсації різних впливів на сигнали. Підкреслюється важливість правильного обміну даними та регулярного оновлення інформації для забезпечення точності та надійності навігаційних систем у різних умовах та ситуаціях.

## РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ РІШЕНЬ НАВІГАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

### 4.1. Проведення експерименту

Для початку проведення експерименту потрібно отримати та записати «свіжі» дані в лабораторії. Записи були отримані в лабораторії Національного Авіаційного Університету на професійному обладнанні, за допомогою стаціонарної антени ,що встановлено на даху корпусу.

Інформація, що отримується з антенного приймача в лабораторії(рис 4.1) має записувалася декілька годин для отримання більш якісних результатів.



Рисунок 4.1. – Лабораторія



Після успішної отримання та запису, наступним кроком буде обробка інформації записаної на файл за допомогою програми Novatel Converter що дозволить подальше опрацювання з файлами в середовищі Matlab

NovAtel Convert є програмним забезпеченням для попередньої обробки даних ГНСС-вимірювань.

Процес конвертування проходить так:

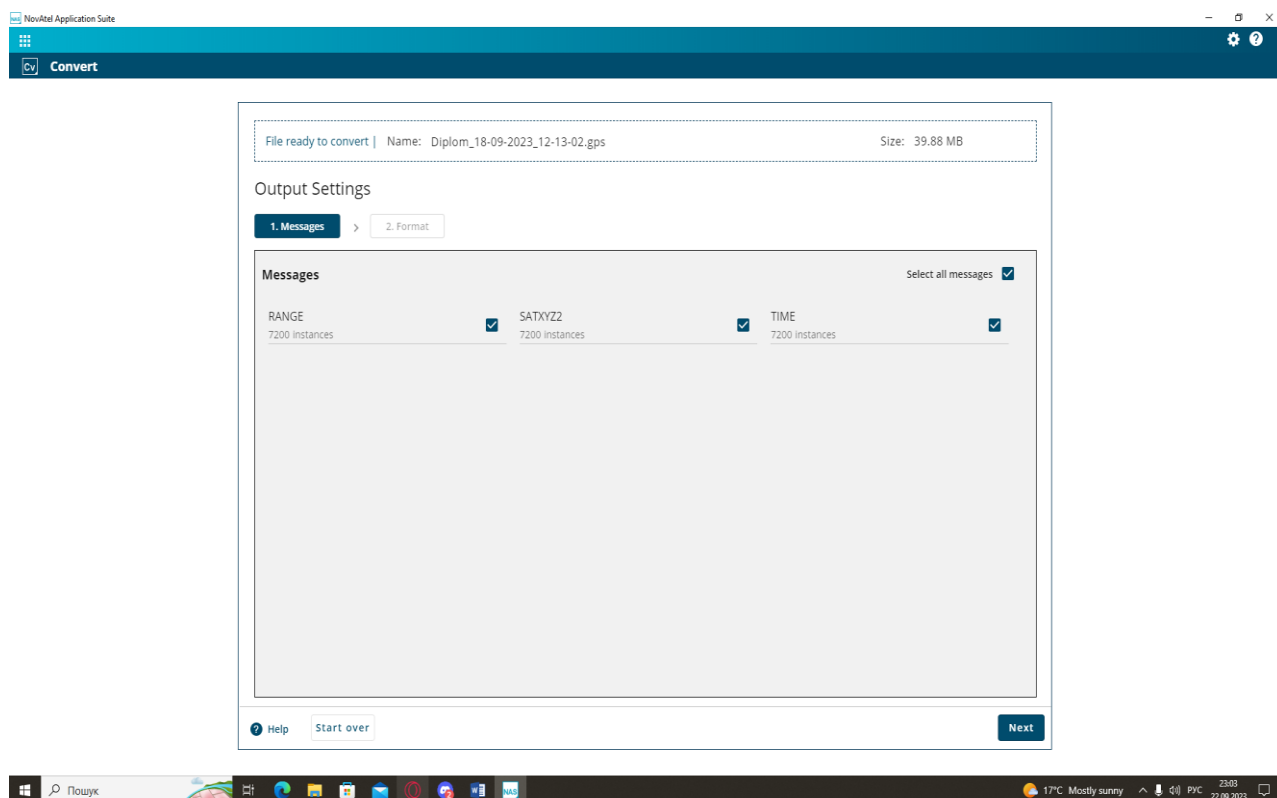


Рисунок 4.2. – Процес конвертування

Виділяємо файл який маємо конвертувати, потім вибираємо повідомлення які містяться в файлі потрібно обробити, тобто інші повідомлення що містяться але не відмічені не будуть записані.

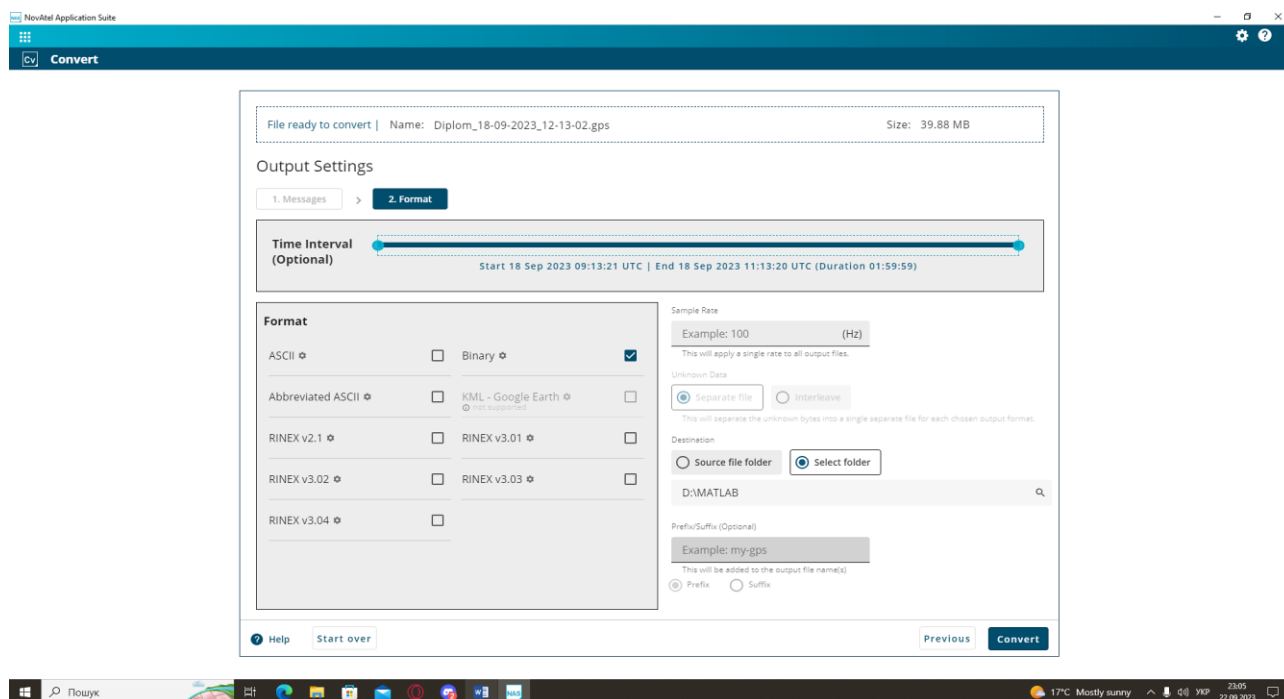


Рисунок 4.3. – Процес конвертування

Потім потрібно виконати налаштування конвертації щоб конвертування пройшло в бінарному форматі та вказати куди вивантажити файл в обрану папку.

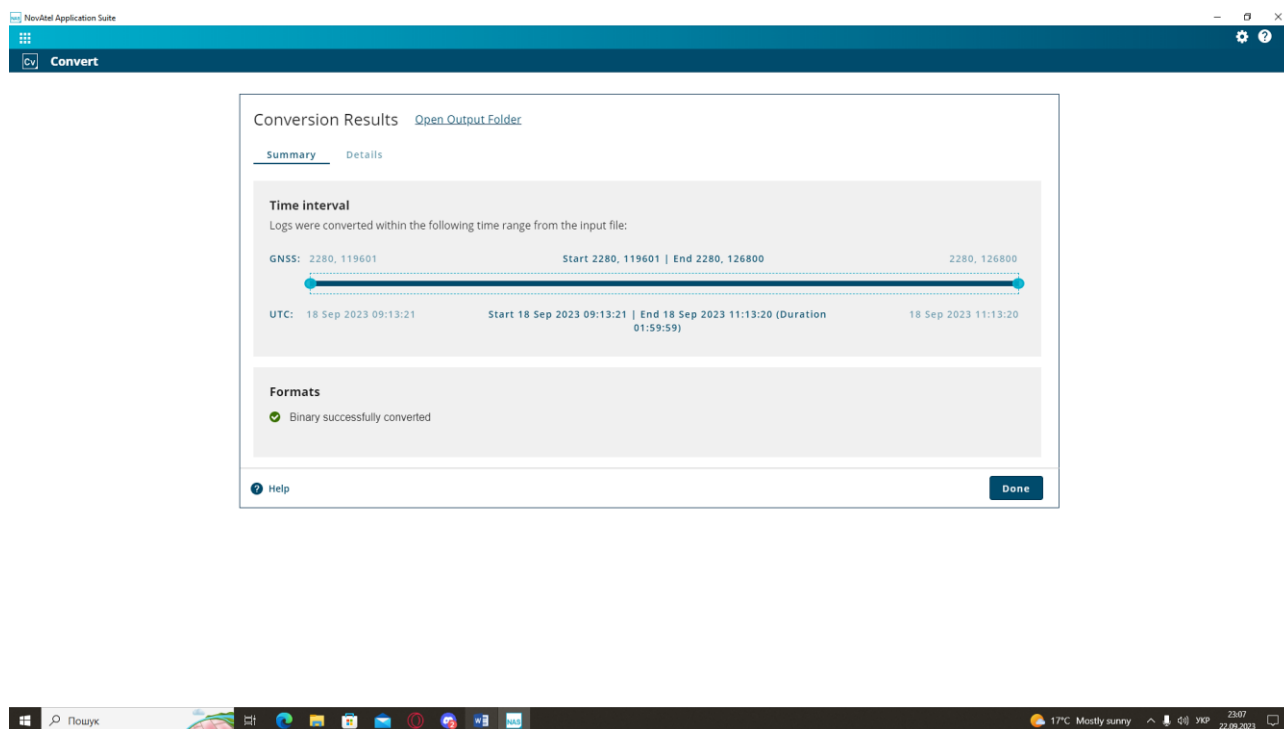


Рисунок 4.4. – Процес конвертування

Маємо успішну конвертацію файлу, перевіримо чи всі обрані повідомлення конвертованні

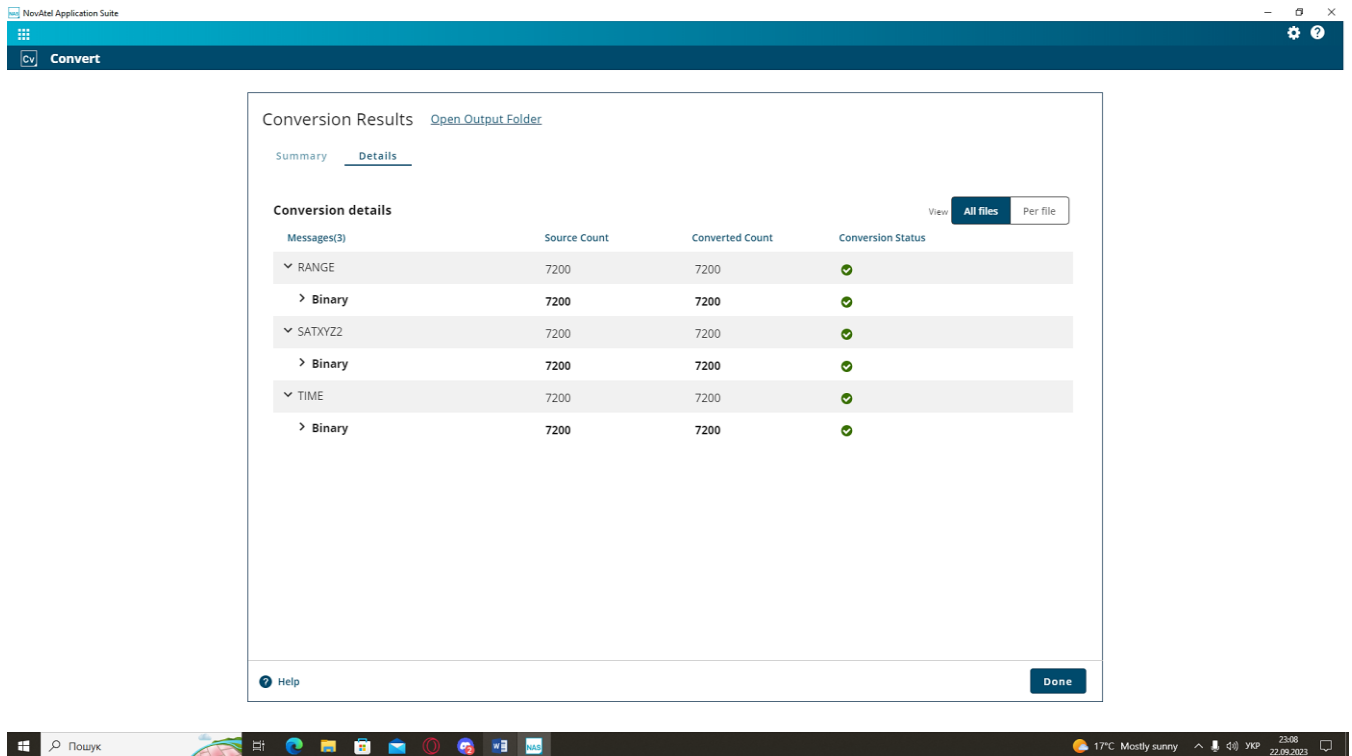


Рис.4.5 Процес конвертування

Після цього ми маємо дані готові для роботи в середовищі MATLAB в якому ми проведемо фінальну частину та зможемо проаналізувати дані та оцінити різницю отриманих результатів на точність вимірювання між однією навігаційною системою та комбінації різних ГНСС для вирішення навігаційної задачі.

## 4.2. Дослідження навігаційної системи GPS

Отримані дані ми використаємо для проведення дослідження роботи навігаційних систем окремо та в кооперативному режимі, проаналізуємо отриманні дані щоб зробити висновки про роботу мульти-ГНСС

Переглянути програму що використовується можна в додатку до дипломної роботи

Після обробки ми отримали такі результати:

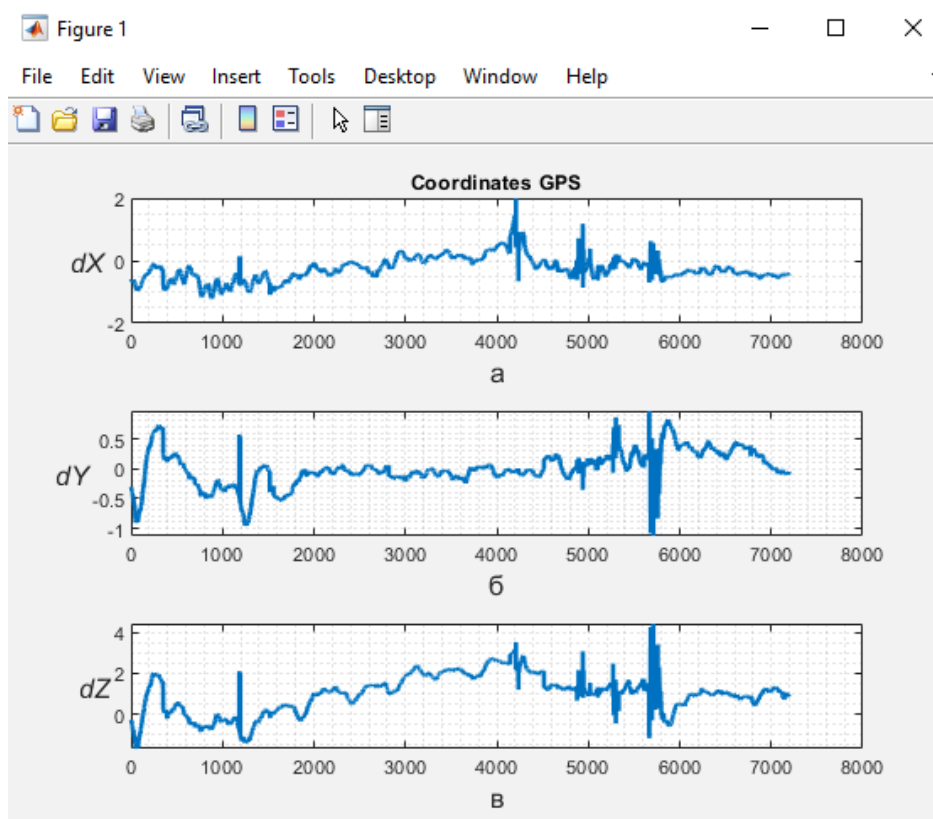


Рисунок 4.6. – Графіки значень похибок для XYZ

На рисунку зображено графіки вибірок по значенням похибок супутників системи GPS

$dX$  min 0.0399  $dX$  max 1.9905

$dY$  min 0.0189  $dY$  max 1.1273

$dZ$  min 0.0249  $dZ$  max 4.4235

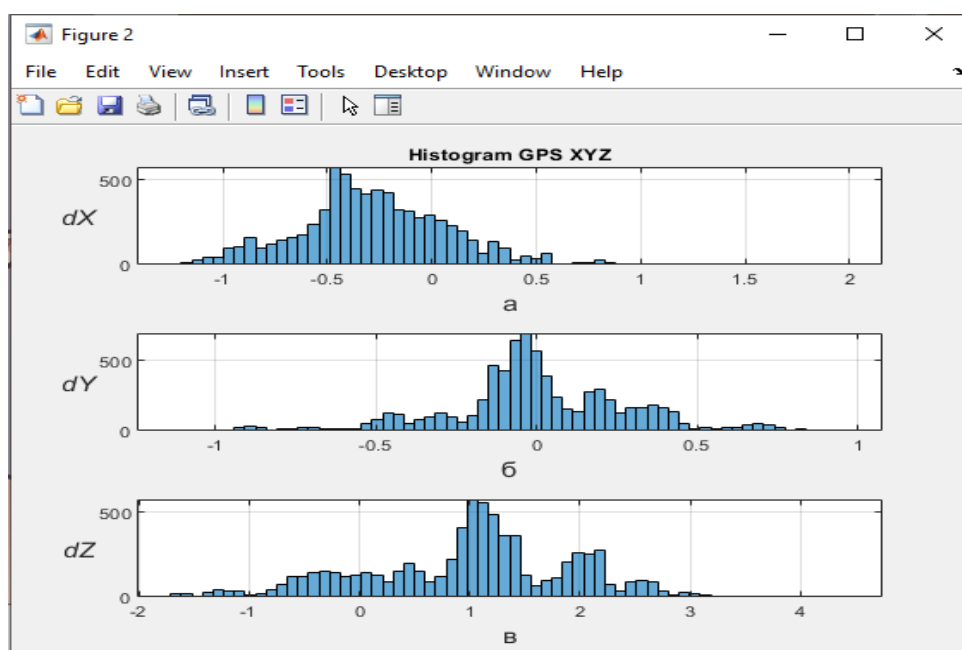


Рисунок 4.7. – Графік вибірки похибок

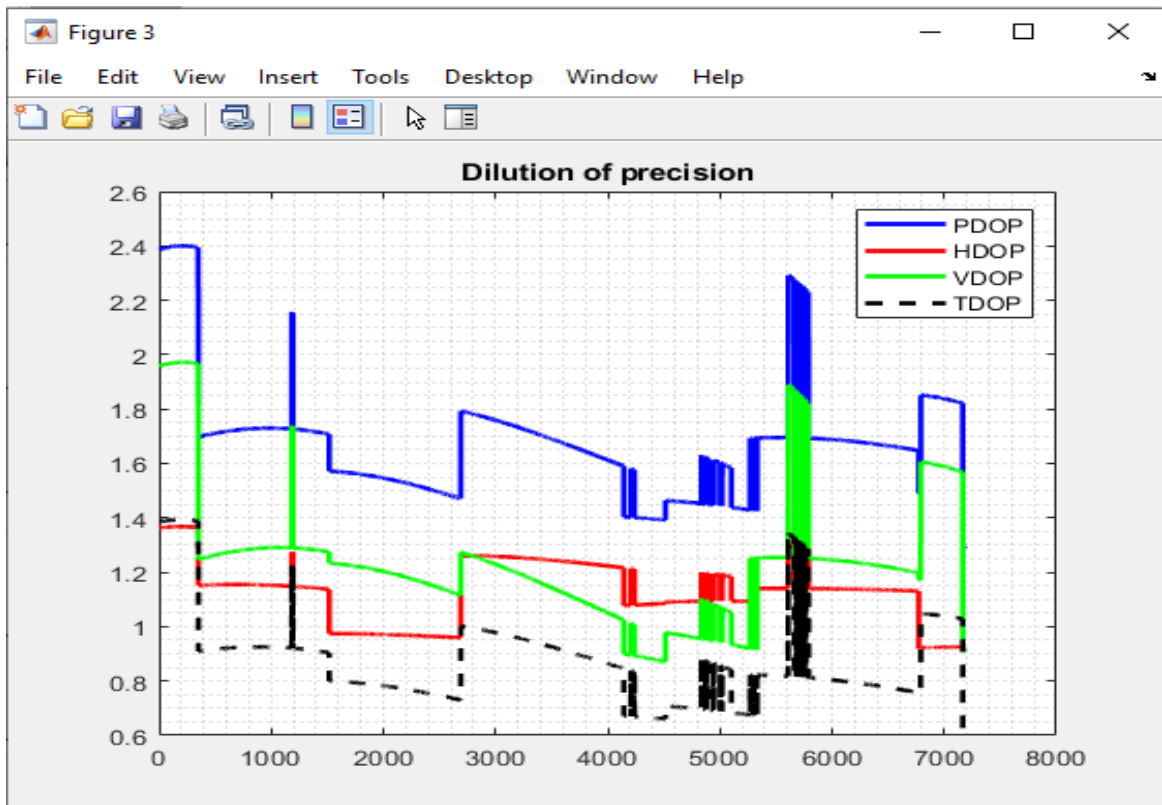


Рисунок 4.8. – DOP GPS

Та отримали DOP "Dilution of Precision", яка використовується в глобальних навігаційних системах (GNSS) для оцінки точності позиціонування приймача. DOP - це числовий коефіцієнт, який допомагає визначити, наскільки точно приймач GNSS може визначити свої координати в даний момент часу. Високі значення DOP вказують на низьку точність, а низькі значення DOP вказують на високу точність.

Існує кілька різних видів DOP, включаючи:

**Position Dilution of Precision (PDOP):** PDOP оцінює точність визначення тривимірних координат (широти, довготи та висоти) приймача. Він залежить від геометрії видимих супутників на небосхилі. Чим більше видимих супутників, тим нижчий PDOP і, отже, точніше визначення координат.

**Horizontal Dilution of Precision (HDOP):** HDOP фокусується лише на горизонтальних координатах (широті та довготі). Цей показник враховує тільки видимих супутників, які знаходяться ближче до горизонту, тому що їх сигнали мають більший вплив на горизонтальну точність.

**Vertical Dilution of Precision (VDOP):** VDOP оцінює вертикальну точність (висота над рівнем моря). Це важливо, наприклад, при навігації у гірських місцевостях. VDOP також залежить від положення видимих супутників.

**Time Dilution of Precision (TDOP):** TDOP пов'язані з визначенням часу. Він використовується в деяких додатках, де точні знання часу критичні.

Інтерпретація DOP така:

Якщо значення DOP низьке (зазвичай менше 2), це вказує на хорошу точність розташування.

Якщо значення DOP високе (зазвичай більше 6 або навіть 10), це вказує на низьку точність розташування.

Для підвищення точності розташування GNSS-приймачі прагнуть мінімізувати DOP. Для цього вони вибирають супутники з найкращою геометрією (наприклад, супутники, які знаходяться високо в небі та рівномірно рознесені по горизонту).

Облік DOP важливий для різних програм, таких як автомобільна навігація, геодезія, авіація та багато інших, де точність розташування відіграє ключову роль.

З вище наданої інформації ми можемо зробити висновок що DOP не перевищував 2.4 і це гарний результат

### **4.3. Дослідження навігаційної системи Glonass**

ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система) - це система супутникового позиціонування та супутникової навігації, розроблена і введена в експлуатацію Російською Федерацією. ГЛОНАСС створено з метою надання точних та надійних даних щодо місцезнаходження і часу в будь-якій точці Землі або навколо неї, незалежно від погодних умов і у режимі реального часу.

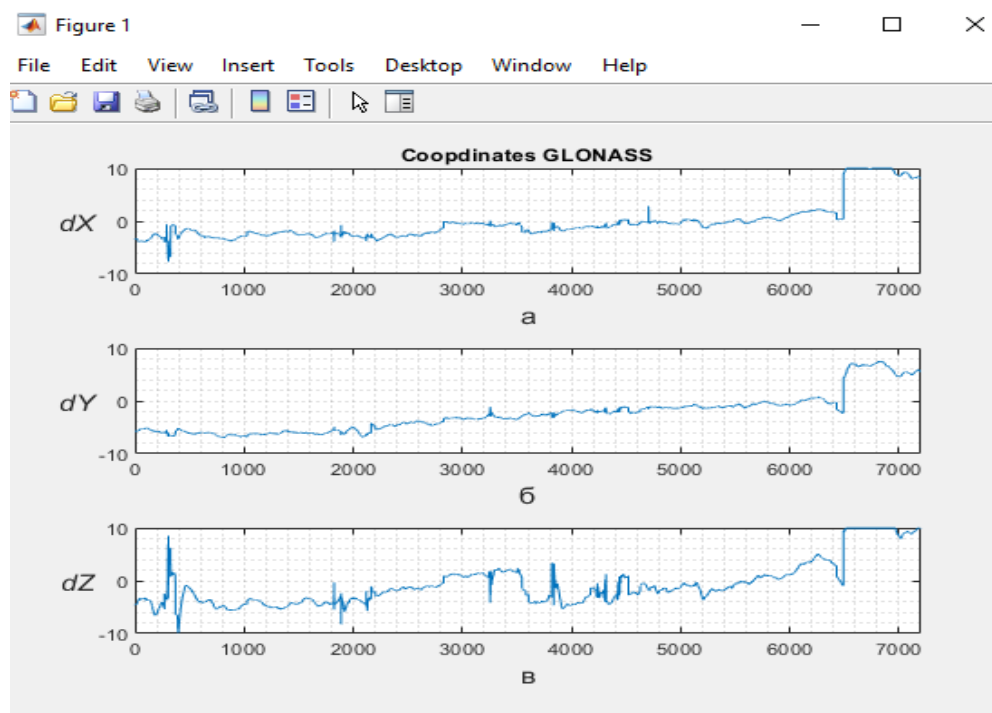


Рисунок 4.9. – Графік значень похибок для XYZ

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок Glonass

$dX$  min 0.1546  $dX$  max 9.55595

$dY$  min 0.6461  $dY$  max 7.4996

$dZ$  min 0.2922  $dZ$  max 11.3245

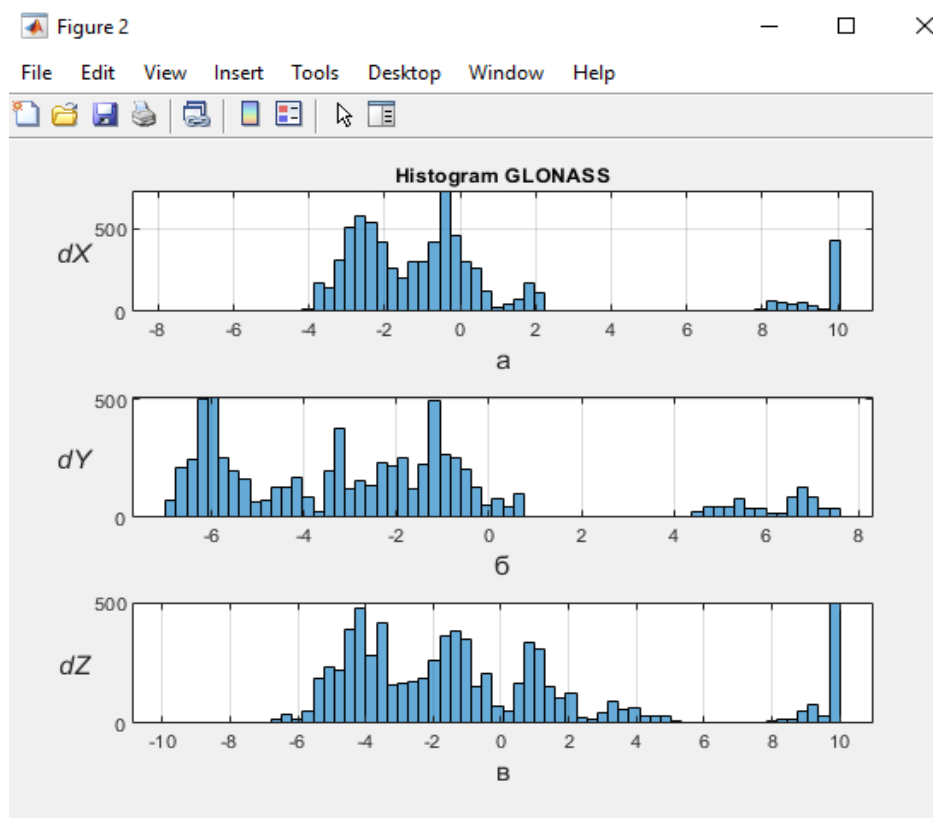


Рисунок 4.10. – Гістограма Glonass

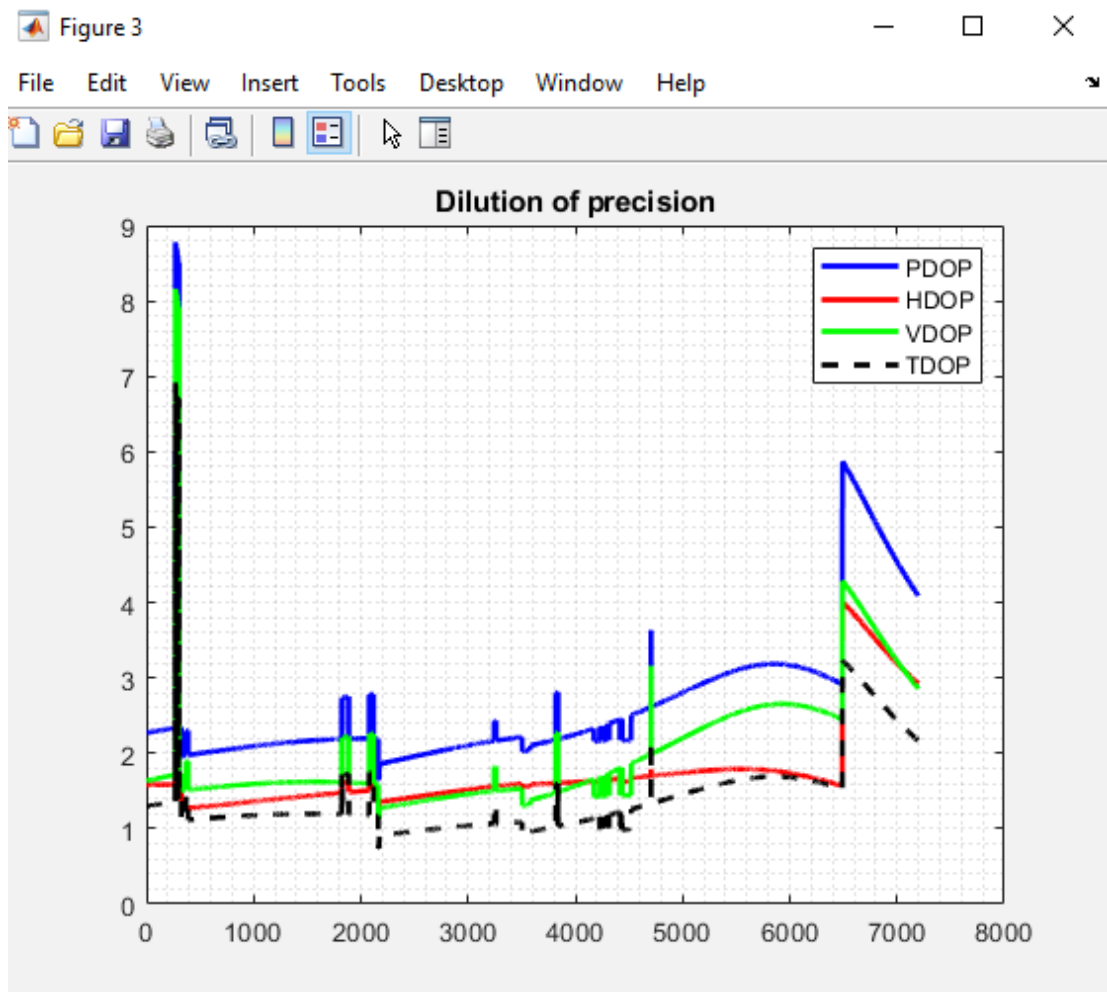


Рисунок 4.11. – DOP Glonass

З цього малюнку ми можемо оцінити DOP, тут ми бачимо тимчасове доволі сильне погіршення DOPу, що доволі сильно впливає на результат, але з часом результат стає краще але Glonass надав гірші результати ніж GPS.

#### 4.4. Дослідження навігаційної системи BEIDOU

BEIDOU (Бейдоу) - це система глобальної навігації та супутниковий навігаційний стандарт, розроблений та експлуатований Китаєм. Вона також відома як BDS, що є скороченням від BeiDou Navigation Satellite System (Система навігаційних супутників BeiDou)



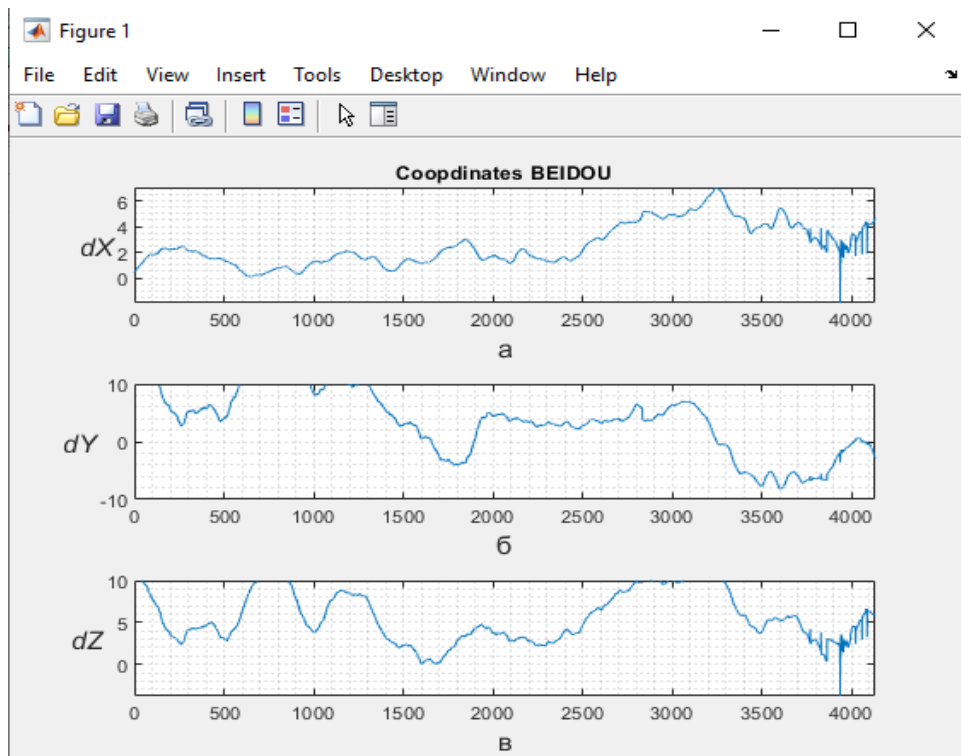


Рисунок 4.12. – Графік значень похибок для XYZ

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок Beidou

$dX \min 0.1262$   $dX \max 1.9230$   
 $dY \min 0.1295$   $dY \max 9.9905$   
 $dZ \min 0.0118$   $dZ \max 9.9141$

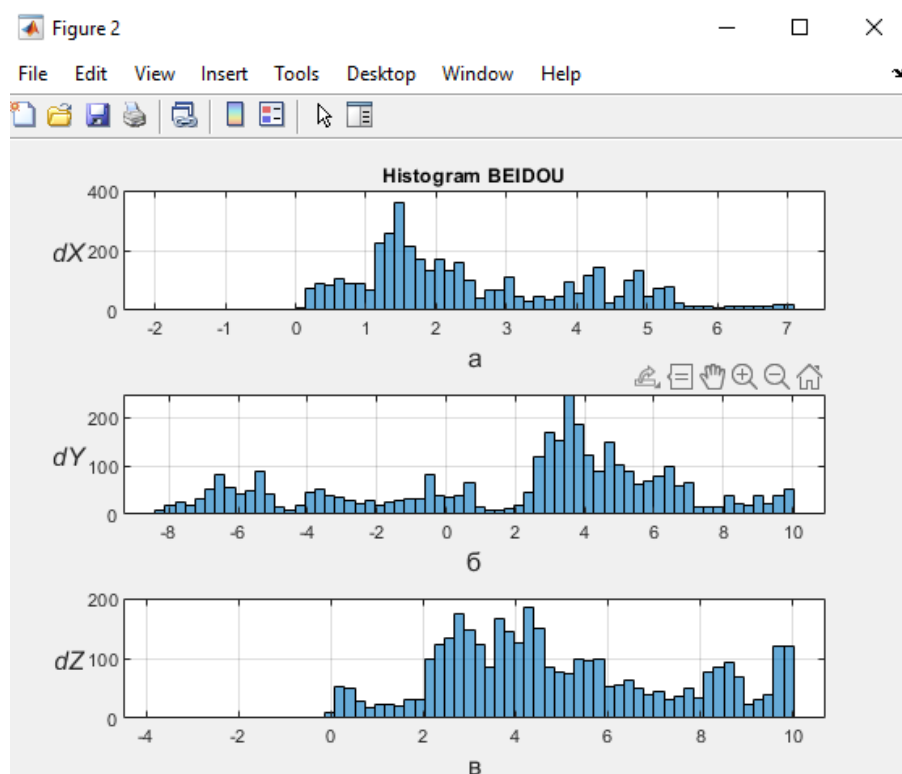


Рисунок 4.13. – Гістограма Beidou

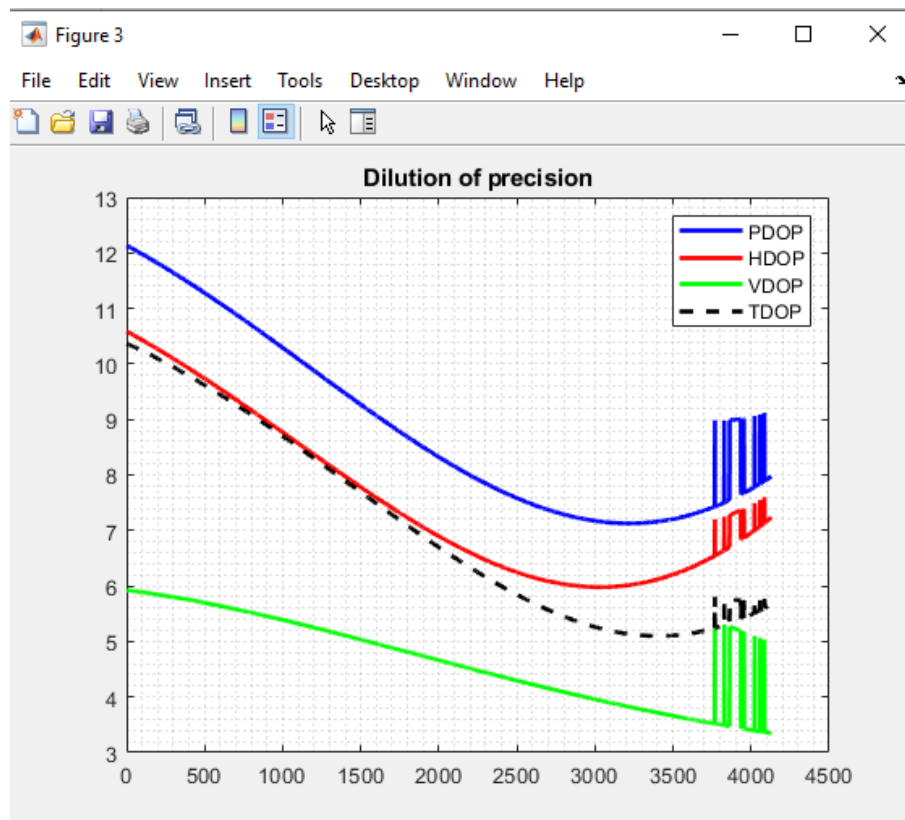


Рисунок 4.14. – DOP BeiDou

DOP BeiDou продемонстрував найгірший результат з середнім DOP 8 але, такий результат зумовлений малою кількістю супутників що знаходилось над антенною, використання BeiDou як основну навігаційну систему на території України є поганим рішенням через дуже низьку точність, малу кількість супутників в зоні досягаємості та якість сигналу.

#### 4.5. Дослідження навігаційної системи Galileo

"Galileo"-це європейська система глобальної навігації, аналогічна американській GPS, російській ГЛОНАСС та китайській BeiDou

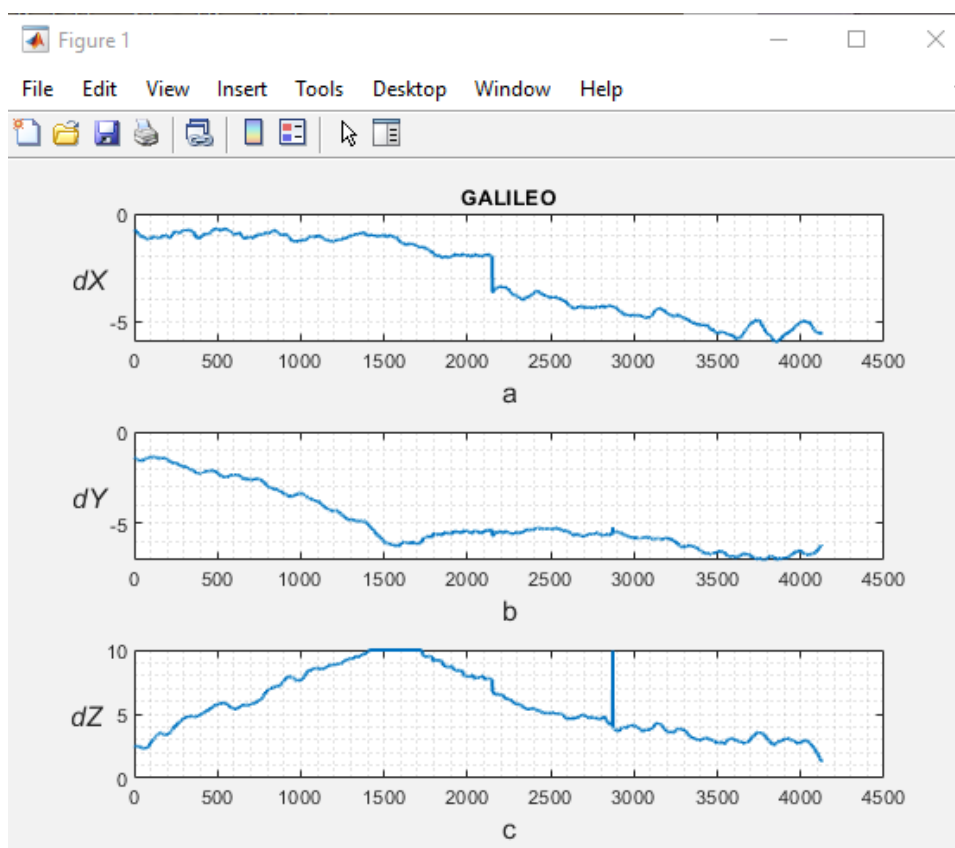


Рисунок 4.15. – Графік значень похибок для XYZ

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок Galileo

dX min 0.7413 dX max 5.9316  
dY min 1.4611 dYmax 7.0271  
dZ min 1.2784 dZ max 9.9924

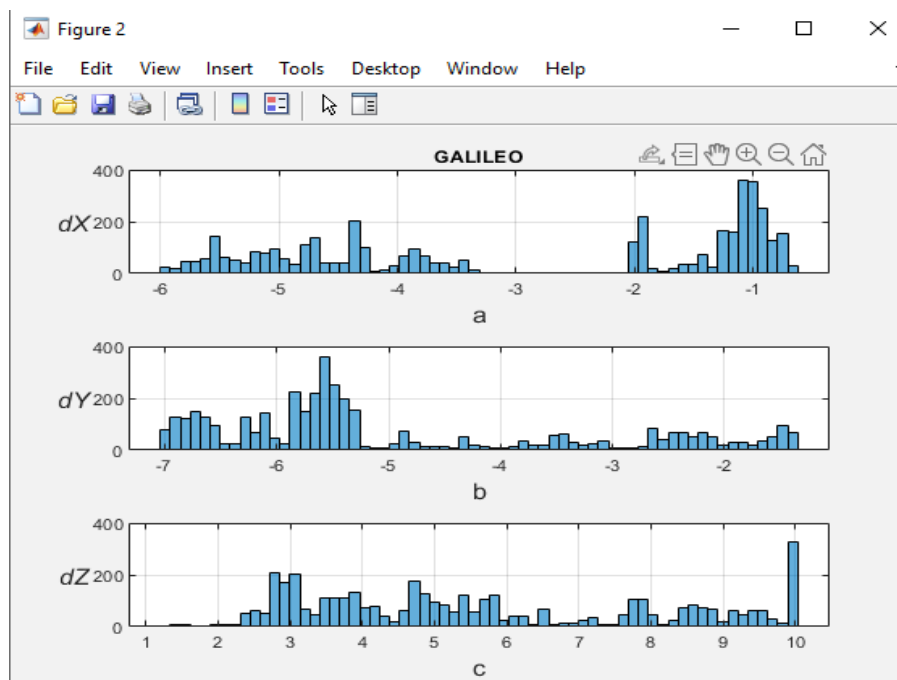


Рисунок 4.16. – Гістограма Galileo

Зображено координати супутників системи Galileo в системі координат X Y Z у вигляді гістограми.

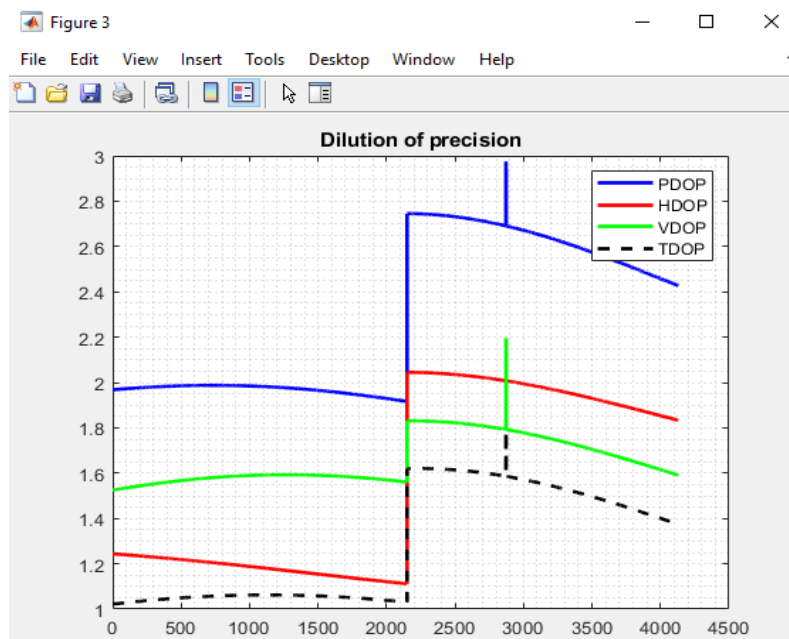


Рисунок 4.17. – DOP Galileo

DOP Galileo має гарні результати у вигляді максимального 2, але з часом він погіршився до 3, це може бути викликано зменшенням кількості супутників доступних на час запису.

#### 4.6. Дослідження навігаційних систем GPS+GLONASS

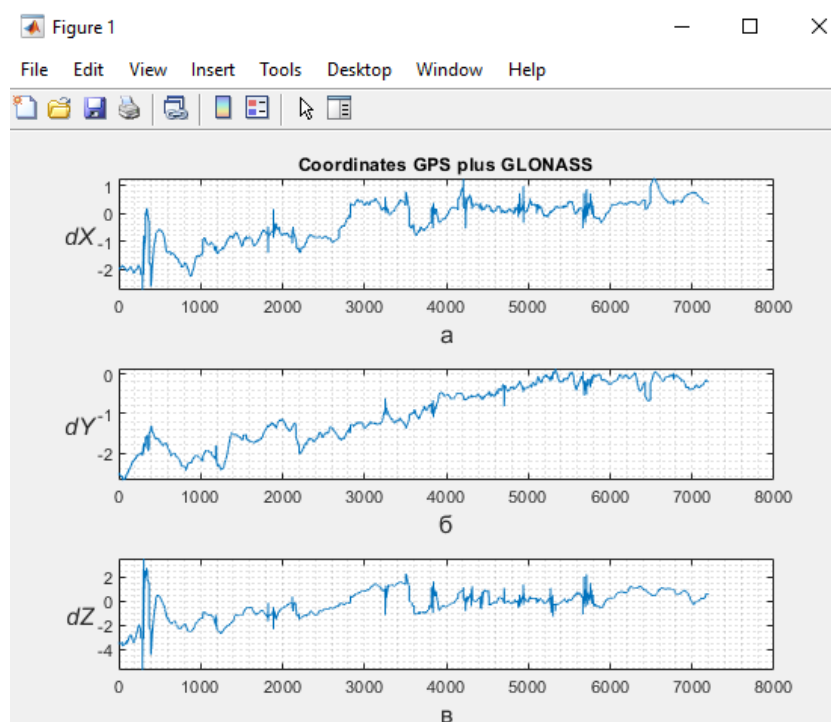


Рисунок 4.18. – Графік значень похибок для XYZ GPS+GLONASS

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок GPS+GLONASS

$dX$  min 0.0068  $dX$  max 2.7575

$dY$  min 0.0060  $dY$  max 2.6788

$dZ$  min 5.6923  $dZ$  max 5.6923

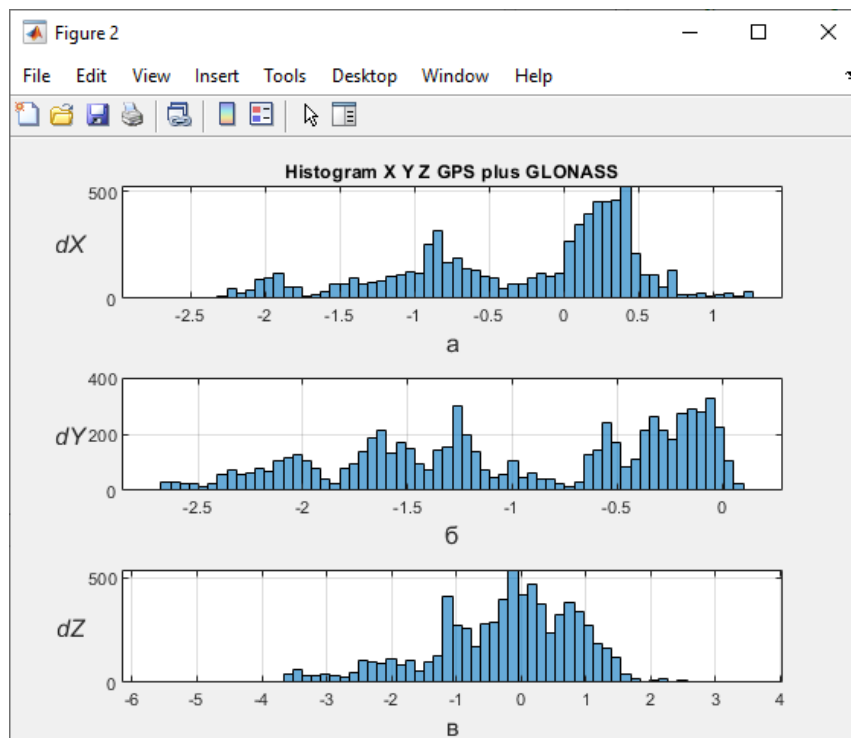
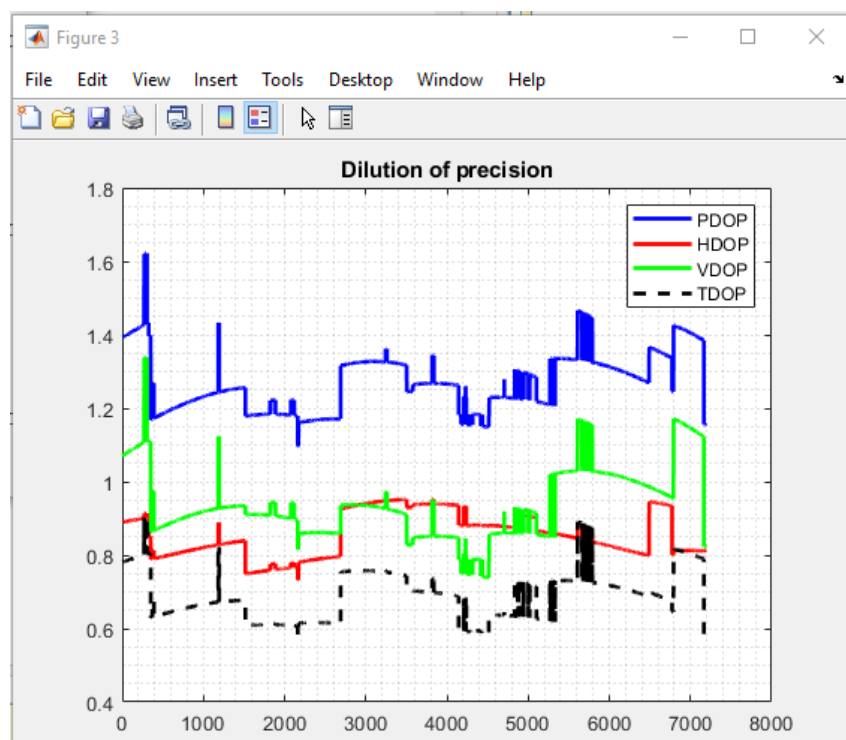


Рисунок 4.19. – Гістограма GPS+GLONASS



### Рисунок 4.20. – DOP GPS+GLONASS

DOP при кооперації навігаційних систем GPS та GLONASS, максимальний DOP який ми можемо 1.8, це вказує на високу якість отриманих даних та низькі похибки які було допущено при роботі.

## 4.7 Дослідження навігаційних систем GPS+GLONASS+GALILEO

### Дослідження систем навігації GPS+GLONASS+GALILEO

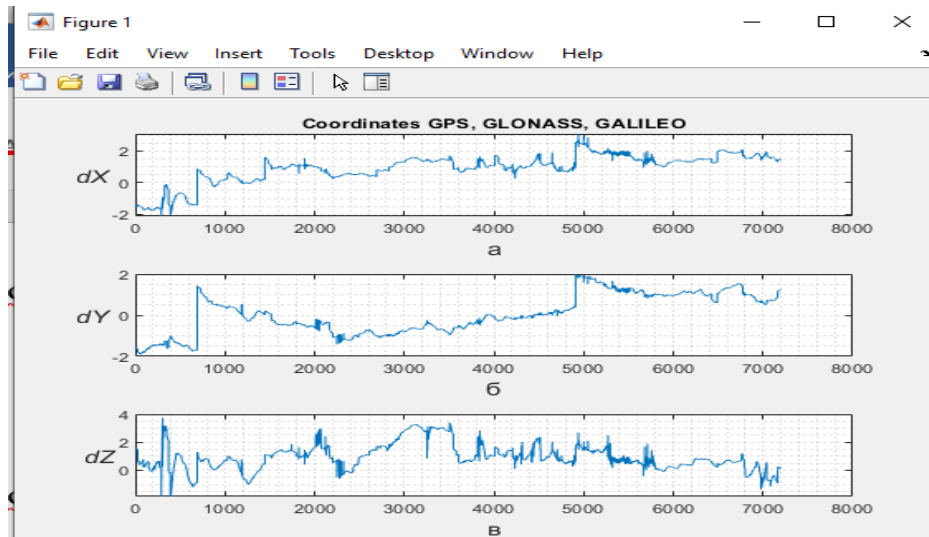


Рисунок 4.21. – Графік значень похибок для XYZ GPS+GLONASS+GALILEO

$dX \min 0.0376$   $dX \max 3.0717$

$dY \min 0.0379$   $dY \max 1.9982$

$dZ \min 0.0067$   $dZ \max 3.7288$

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок GPS+GLONASS+GALILEO

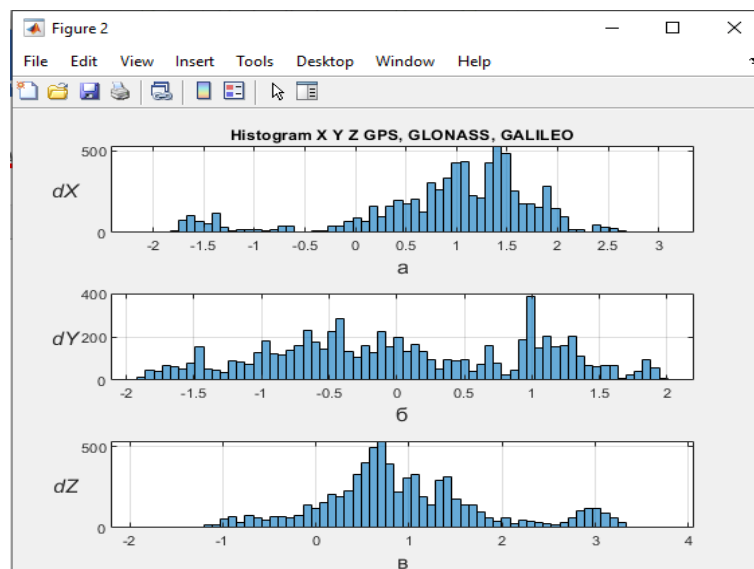


Рисунок 4.22. – Гістограма GPS+GLONASS+GALILEO

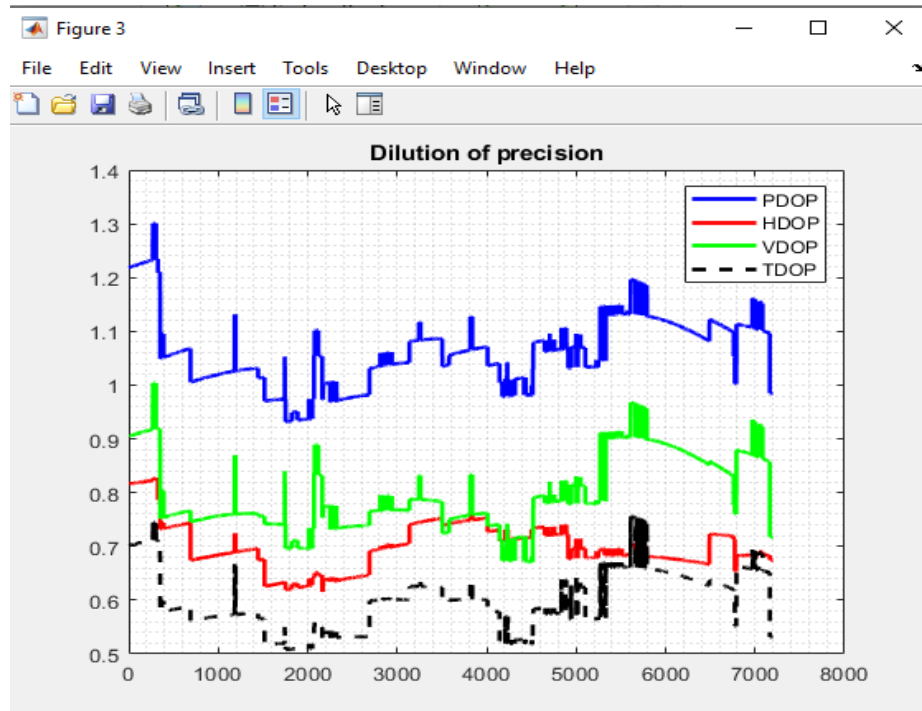


Рисунок 4.23. – DOP GPS+GLONASS+GALILEO

Кооперація систем GPS+GLONASS+GALILEO надає (1.3)кращі результати DOP ніж кооперація попередніх двох систем(1.4), з цього ми можемо зробити висновок що результати DOP залежить від кількості супутників що знаходяться в полі роботи супутникової антени,

#### 4.8. Дослідження навігаційних систем GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU

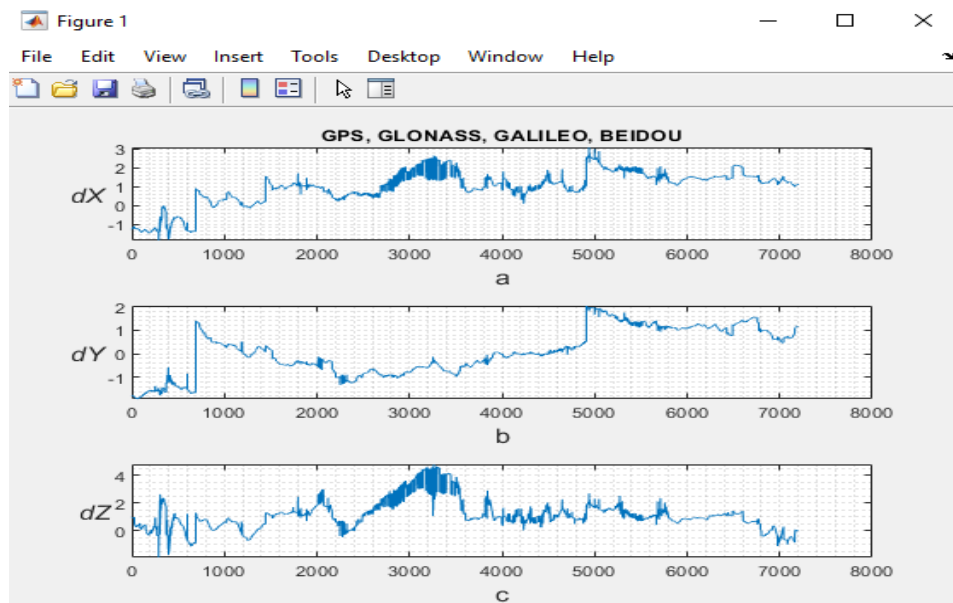


Рисунок 4.24. – Графік значень похибок для XYZ GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU

На рисунку ми бачимо графіки вибірок по значенням похибок

$dX$  min 0.0004  $dX$  max 3.0790

$dY$  min 0.0078  $dY$ max 1.9982

$dZ$  min 0.0026  $dZ$  max 4.7985

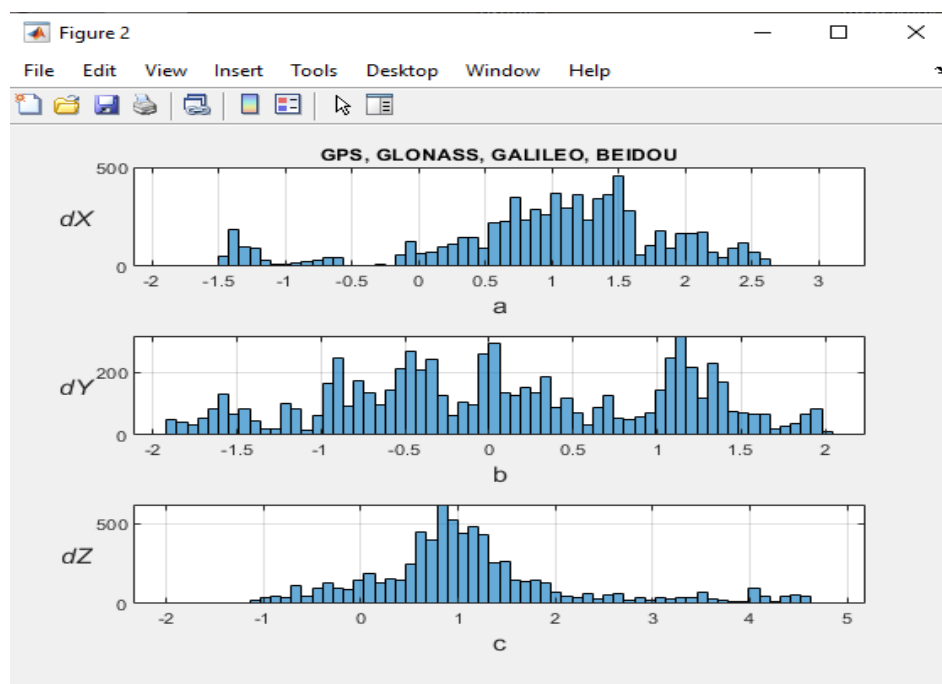


Рисунок 4.25. – Гістограма GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU

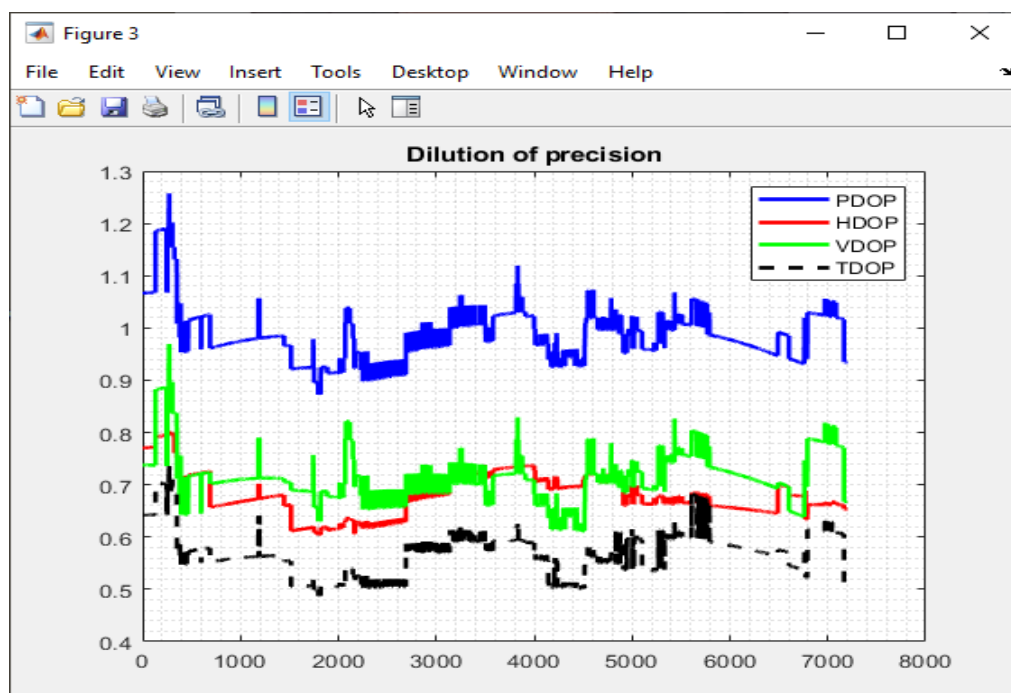


Рисунок 4.26. – DOP GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU



Тепер після отриманих даних ми можемо порівняти результати за допомогою таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Результати експерименту з навігаційними системами(DOP)

Супутникова навігаційна система	Середній DOP	Максимальний DOP
GPS	1.4	2.4
Glonass	2.5	8.9
Beidou	8	12
Gallileo	2	3
GPS+GLONASS	1	1.8
GPS+GLONASS+GALILEO	0.8	1.3
GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU	0.7	1.25

Таблиця 4.2 Результати експерименту з навігаційними системами(помилки)

GNSS	dX	dX	dY	dY	dZ	dZ
	min	max	min	max	min	max
GPS	0.0399	1.9905	0.0189	1.1273	0.0249	4.423
Glonass	0.1546	9.5595	0.6461	7.4996	0.2922	11.324
Gallileo	0.7413	5.9316	1.4611	7.0271	1.2784	9.9924
Beidou	0.1262	1.9230	0.1295	9.9905	0.0118	9.9141
GPS+GLONASS	0.0068	2.7575	0.0060	2.6788	5.6923	5.6923
GPS+GLONASS+GALILEO	0.0376	3.0717	0.0379	1.9982	0.0067	3.7288
GPS + GLONASS+GALILEO + BEIDOU	0.0004	3.0790	0.0078	1.9982	0.0026	4.7985

Гps має дуже гарні результати маючи дуже малі діапазони помилки в місцеположенні об'єкту на площинах dX dY dZ.

Гlonass має погані результати маючи великі діапазони помилки в місцеположенні об'єкту на площинах dX dY ++dZ.

Gallileo має дуже гарні результати доволі великі діапазони помилки в місцеположенні об'єкту на площинах dX dY dZ.

Beidou має погані результати маючи великі діапазони помилки в місцеположенні об'єкту на площинах dX dY dZ.

Результати показують , що комбінації різних супутникових систем можуть забезпечити зниження DOP та суттєво зменшити розмір діапазону помилок що виникають під час роботи супутникових навігаційних систем , це сприяє покращенню точності навігації, особливо у режимі кооперації. Наприклад, GPS + Glonass + Galileo + Beidou має найменший середній та максимальний DOP та мають гарні результати дослідження помилок в місцезнаходженні об'єкту, що свідчить про високу точність в цій комбінації супутникових систем. Системи GPS та Gallileo показують високу точність результат при роботі в одиничному режимі

## **Висновок до розділу 4**

Дослідження роботи ГНСС (глобальної навігаційної супутникової системи) в одиночному та кооперативному режимах дозволило отримати важливі висновки щодо ефективності цієї технології в різних умовах та сферах застосування.

**Одиночний режим ГНСС:** У одиночному режимі ГНСС показує надзвичайну точність визначення місцезнаходження користувача в умовах відкритого неба. Використання більшої кількості супутників дозволяє покращити стабільність та надійність сигналу. Однак, в умовах затінення (наприклад, в глибоких долинах чи міських каньйонах) або при впливі електромагнітних перешкод, точність може значно падати.

**Кооперативний режим ГНСС:** У кооперативному режимі об'єднання даних з різних користувачів та використання додаткових джерел інформації, таких як інерційні сенсори чи внутрішні засоби комунікації, може значно підвищити точність та надійність навігації. Цей підхід особливо корисний в умовах обмеженої видимості супутників або у місцях зі значними перешкодами.

**Застосування:** ГНСС в одиночному режимі відмінно підходить для більшості ситуацій, де є доступ до сигналів супутників. В той час як кооперативний режим може бути вирішальним в критичних застосуваннях, таких як автономні автомобілі, беспілотні літальні апарати, армійські системи, де точність та надійність навігації є життєво важливими.

**Майбутнє розвитку:** З появою нових супутникових систем (наприклад, ГЛОНАСС, Бейдоу та інших) та розвитком технологій покращення сигналу і обробки даних, можливості ГНСС будуть продовжувати зростати як в одиночному, так і в кооперативному режимах.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **5.1. Вступні зауваження**

Складний взаємозв'язок між охороною праці та охороною навколишнього середовища становить ключовий аспект сталого і справедливого суспільства. Прагнення до економічного розвитку і збереження вразливих екосистем нашої планети не повинні виключати одне одного. Натомість вони можуть і повинні гармонійно співіснувати з метою забезпечення майбутнього, де процвітають як гідність людини, так і природне середовище.

За основний суб'єкт візьмемо інженера. Вибір посади і діяльності припадає на роботу з екранними пристроями та радіоприймачем які описані у цій роботі.

Суб'єкт проходить інструктаж перед початком роботи, а потім через кожні шість місяців(повторний інструктаж з охорони праці). Результати інструктажів заносять до «Журналу реєстрації інструктажів із питань охорони праці»

### **5.2. Охорона праці**

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- 1) Нерівномірність розподілу яскравості у полі зору
- 2) Напруга зору й уваги
- 3) Підвищена яскравість світлового зображення
- 4) Ураження електричним струмом
- 5) Тривалі статистичні навантаження
- 6) Падіння, протяги

Розрахунок організації робочого місця згідно зі стандартом НПАОП 0.00-1.28-10 "Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ", робочі місця повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити працівникові можливість змінювати своє робоче положення та здійснювати рухи з комфортом. Згідно цього документу, площа робочого місця не повинна бути меншою за 6 квадратних метрів, а об'єм приміщення - не менше 20 кубічних метрів.

Робоче місце повинно бути обладнане природним або штучним освітленням так, щоб створити контраст між екраном та навколишнім середовищем. Віконні відкриття мають бути обладнані регульованими пристроями для контролю освітленості. Освітленість на робочому місці повинна перебувати в діапазоні 300-500 люксів. У випадку потреби може використовуватися штучне освітлення, проте воно не повинно створювати блискіт, і яскравість екрану не повинна перевищувати 300 люксів.

Робоче місце повинне підтримувати мікроклімат на постійному рівні що зазначені в таблиці 5.1

Таблиця.5.1 Мікроклімат повітря

Температура повітря	22-24°
Відносна вологість повітря	40-60%
Швидкість руху повітря	Не більше 0.1 м\с

Робоче приміщення має бути обладнане системи опалення, кондиціонування повітря та вентиляцією.

#### **Вимоги до організації робочого простору**

1) Опалення, кондиціонування повітря та вентиляція повинні бути забезпечені в робочому приміщенні.

2) Ергономіка організації робочого місця передбачає мінімізацію фізичного та психологічного навантаження на працівника. Під час проектування робочого місця важливо враховувати:

- Оптимальну робочу позу працівника.
- Наявність простору для зміни робочого положення та рухів.
- Забезпечення можливості огляду робочого місця та оточуючого простору.
- Можливість зручної роботи з документами та обладнанням на робочому столі.

Враховуючи ці вимоги:

- Зменшується стомленість працівника.
- Забезпечується безпечні умови праці.
- Збільшується продуктивність бізнес-процесів.
- Підвищується загальний стан здоров'я працівника.
- Можливе збільшення продуктивності на 20-30%.

3) Розташування обладнання не повинно перешкоджати рухам та переміщенню під час роботи з приладами. Головне обладнання повинно бути розташоване в центральній частині на оптимальній відстані, де забезпечується найбільший та тривалий зоровий контакт з огляду на тип приладу та характер робіт.

4) Робочий стіл повинен мати достатні розміри та мати матову поверхню, яка дозволяє гнучке розміщення обладнання та документів.

5) Клавіатура повинна бути розташована від 10 до 30 см від краю столу з боку працівника. Положення клавіатури та її кут нахилу мають бути в межах 5-15 градусів, і не допускається коливання клавіатури. Крісло повинно бути стійким, легко рухатися та підтримувати зручне положення. Крісло також має підтримувати спину працівника під кутом 90 градусів.

б) Для забезпечення раціональної пози під час роботи, важливо враховувати:

- Торкання спини до спинки стільця, вертикально та розслаблено.
- Ступні на підлозі або на підставці для ніг.
- Стегна розташовані горизонтально, так щоб коліна були на одному рівні зі стегнами або трохи нижче.
- Верхні частини рук вертикальні.
- Кут ліктьового суглоба в межах 70-90 градусів.
- Зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 градусів.
- Нахил голови в межах 15-20 градусів.
- Клавіатура розташована перед працівником і по центру екрана.

-Між клавіатурою та краєм столу є достатня відстань для відпочинку зап'ястя.

-Монітор розташований перед працівником, по центру, на відстані витягнутої руки.

#### 7) Вимоги до екранних пристроїв

Екранні пристрої не повинні створювати ризику для здоров'я. Всі види випромінювання, окрім видимої частини електромагнітного спектру, повинні бути зведені до мінімуму з урахуванням безпеки та охорони здоров'я. Символи на екрані повинні бути чіткими та відповідного розміру. Зображення мають бути стабільними, без мерехтіння або інших видів нестабільності. Яскравість та контрастність повинні бути легко регульовані, і сам екран має бути обраним так, щоб він повертався відповідно до потреб користувача. Екран не повинен блищати або відбивати світло, щоб уникнути дискомфорту під час роботи.

#### 8. Вимоги перед початком роботи

-Оглянути робоче місце і переконатися, що воно вільне від сторонніх предметів.

-Очистити екран від забруднень.

-Переконатися в підключенні робочих електронних пристроїв до мережі живлення.

-Забороняється торкатися дротів та електроніки мокрими руками.

-Перевірити загальний стан обладнання та стан електропроводки.

#### 9. Пожежна безпека

У випадку нагрівання чи плавлення розетки, живильного кабелю, викиду диму або пахучого запаху, слід негайно відключити ПК та інше обладнання від мережі живлення.

У випадку пожежі екранного пристрою, системного блоку тощо, слід негайно відключити їх від електромережі та намагатися загасити вогонь, використовуючи вогнегасники з вуглекислотою або порошкового типу.

У разі виникнення пожежі і надзвичайної ситуації слід діяти наступним чином:

- Викликати пожежну службу за номером телефону "101".
- Повідомити про пожежу черговому охоронцю та керівнику.
- При можливості вжити заходів щодо евакуації людей.



## **Висновок до розділу 5**

Мікроклімат у робочому приміщенні є важливим елементом для забезпечення комфорту та продуктивності працівників. Вимоги до температури, вологості та швидкості руху повітря повинні дотримуватися відповідно до таблиці 5.1.

Опалення, кондиціонування повітря та вентиляція обов'язкові для забезпечення комфорту та безпечних умов праці.

Організація робочого простору має включати ергономічні рішення, які допомагають зменшити фізичне та психологічне навантаження на працівників, підвищити їх продуктивність і підтримати загальний стан здоров'я.

Розташування обладнання, робочих столів та аксесуарів має бути відповідно до ергономічних вимог, щоб забезпечити зручність роботи та збільшити продуктивність.

Екранні пристрої повинні відповідати вимогам безпеки та забезпечувати чітке та стабільне зображення.

Перед початком роботи слід виконати певні перевірки та забезпечити безпеку працівників, включаючи пожежну безпеку.

Забезпечення безпеки та здоров'я працівників є важливим аспектом сталого розвитку суспільства. Розвиток економіки не повинен суперечити збереженню природи і здоров'ю людей, а має відбуватися в гармонії з цими цілями.

Інженер, який працює з екранними пристроями та радіоприймачем, піддається певним небезпечним і шкідливим виробничим факторам, таким як нерівномірність розподілу яскравості, напруга зору, вплив електричного струму та інші.

Для забезпечення безпеки і комфорту роботи інженера важливо дотримуватися вимог охорони праці та стандартів щодо організації робочого місця. Це включає в себе відповідне освітлення, розміри робочого місця, а також регулярний інструктаж з охорони праці.

Організація робочого місця і виконання вимог охорони праці мають на меті зменшення ризику виникнення травм і захворювань у працівника та забезпечення його комфорту та продуктивності.

## **РОЗДІЛ 6. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **6.1. Важливість навколишнього середовища**

Людина, як частина природи, завжди була взаємопов'язаною з навколишнім середовищем. Наша існування і розвиток залежать від природних ресурсів і екосистем, які оточують нас. Отже, важливість захисту навколишнього середовища стає очевидною через цю взаємодію.

Природа надає нам повітря для дихання, воду для пиття, їжу для харчування та багато інших ресурсів, які потрібні для нашого виживання та комфортного існування. Ми також користуємося природними середовищами для відпочинку, рекреації та духовного вдосконалення.

Однак, на жаль, діяльність людини часто призводить до забруднення, знищення і виснаження природних ресурсів та екосистем. Викиди токсичних речовин у повітря і воду, надмірне вирубування лісів, перенапруження водних ресурсів і знищення біорізноманіття - це лише деякі наслідки недбалого ставлення до природи.

Позитивний вплив природи на психічне і фізичне здоров'я людини також добре відомий. Зелені зони, відкритий простір і природна краса мають терапевтичний ефект і сприяють нашому фізичному і емоційному благополуччю.

Отже, розуміння того, що людина є частиною природи, і визнання важливості захисту навколишнього середовища стають необхідними для забезпечення нашої власної добробуту та довгострокової стійкості планети. Наша відповідальність полягає в тому, щоб розвивати способи взаємодії з природою, які б дозволили нам існувати в гармонії з навколишнім середовищем і забезпечувати його збереження для майбутніх поколінь.

### **6.2. Основні причини важливості захисту навколишнього середовища**

Захист навколишнього середовища є надзвичайно важливою сферою діяльності з кількох важливих причин:

**Збереження природних ресурсів:** Земля є обмеженим ресурсом, і багато природних ресурсів, таких як вода, повітря, ґрунти, ліси та мінерали, є необхідними для життя людей та функціонування господарства. Захист природних ресурсів допомагає забезпечити їхню сталу доступність для поточних і майбутніх поколінь.

**Здоров'я і безпека людей:** Забруднення повітря, води і ґрунту може призвести до серйозних загроз для здоров'я людей, включаючи хвороби дихальних шляхів, отруєння та інші захворювання. Екологічний захист допомагає знизити ці ризики і зберегти здоров'я.

**Збереження біорізноманіття:** Біорізноманіття є ключовим фактором для стійкого розвитку планети. Знищення природних середовищ, знищення природних місць мешкання і виведення видів до вимирання може призвести до порушення екосистем та погіршення якості життя людей.

**Мінімізація змін клімату:** Забруднення та викиди парникових газів в атмосферу сприяють зміні клімату, що може призвести до екстремальних погодних умов, підвищення рівня моря і інших серйозних наслідків. Захист навколишнього середовища включає в себе зусилля по зменшенню цих викидів і адаптацію до зміни клімату.

**Сталість економіки:** Економіка тісно пов'язана з природним середовищем. Зниження якості повітря, води та ґрунту може вплинути на сільське господарство, риболовлю, лісову промисловість і багато інших галузей. Захист навколишнього середовища допомагає забезпечити сталість економічного розвитку.

**Відповідальність перед майбутніми поколіннями:** Захист навколишнього середовища є моральною та етичною обов'язковістю перед майбутніми поколіннями. Збереження природи і надання їм можливості насолоджуватися природними ресурсами є нашою відповідальністю.

### **6.3. Шкода що наноситься навколишньому середовищу при запуску супутників в космос**

**Викиди ракетних двигунів:** Під час запуску ракети в атмосферу

викидаються великі кількості токсичних газів, таких як оксиди вуглецю і азоту, а також інших реактивних хімічних сполук. Ці викиди можуть призвести до забруднення атмосфери та потенційно шкодити клімату.

**Сміття в космосі:** Запуски супутників супроводжуються створенням космічного сміття, такого як використані ракетні частини і відпрацьовані супутники. Це сміття може залишитися на орбіті Землі і представляти загрозу для інших космічних об'єктів і супутників.

**Вплив на клімат:** Запуски ракет можуть впливати на атмосферу і клімат через викиди газів та теплові випромінювання. Хоча вплив окремих запусків зазвичай невеликий, але масштабна кількість запусків може сприяти змінам в атмосфері.

**Втрата природних ресурсів:** Виробництво і запуск супутників вимагає великих кількостей енергії та ресурсів, таких як метали та паливо. Видобуток і використання цих ресурсів може мати негативний вплив на довкілля.

**Ризик аварійних ситуацій:** Аварійні ситуації під час запуску ракет або функціонування супутників можуть вести до викиду токсичних речовин і паління ракетного палива, що може завдати шкоди природному середовищу.

Для зменшення негативного впливу космічних дій на навколишнє середовище, проводяться заходи з екологічної оцінки та вдосконалення технологій запусків. Також проводяться розробки методів очищення космічного сміття але повністю прибрати шкоду від запуску майже неможливо в найближчому майбутньому

#### **6.4 Проблема космічного сміття**

Космічне сміття - це все, що колись було запуснено в космос людиною, але вже не несе жодної користі. За думкою деяких експертів, наразі в космосі загалом перебуває близько 300 тисяч або навіть більше штучних об'єктів загальною масою, приблизно, п'ять тисяч тонн. Лише близько 5 відсотків цих об'єктів не є сміттям, тобто 95 відсотків - це космічне сміття.

Важливо розуміти, що небезпека, яку представляє космічне сміття,

варіюється залежно від контексту. Для земної поверхні, людей, які проживають на Землі, і наземних об'єктів ця небезпека не така велика, оскільки наша планета захищена атмосферою, яка надає надійний захист від космічного сміття. Більшість об'єктів, що виходять із орбіти та їх уламки, згорають при входженні в густі шари атмосфери і не досягають поверхні Землі. Однак великі об'єкти, такі як вийшовші з ужитку космічні станції, іноді можуть повернутися на Землю у вигляді уламків.

У відміну від цього, в космосі ситуація набагато серйозніша і погіршується з часом. Варто пам'ятати, що об'єкти в космосі рухаються з величезною швидкістю, перша космічна швидкість становить майже 8 км в секунду. Це дозволяє їм залишатися на орбіті і не падати на Землю під дією гравітації. Однак такі об'єкти можуть становити серйозну небезпеку, якщо зіштовхнуться з іншими активними космічними апаратами, включаючи космічні кораблі з екіпажем на борту.

На низькій орбіті навколо Землі космічне сміття обертається із швидкістю близько 7-8 кілометрів на секунду. Проте середня швидкість зіткнення між об'єктами становить приблизно 10-15 кілометрів на секунду, що в 10 разів більше, ніж швидкість кулі. Отже, навіть найменші фрагменти випромінюють значну кількість енергії.

Космічні апарати постійно вражаються надзвичайно малими об'єктами на орбіті, розмір яких може досягати лише міліметра. Проте фрагменти розміром у міліметр чи більше представляють великий ризик. Крім того, з часом багато зіткнень призводять до пошкодження частин космічних апаратів.

Найбільше пошкодження зазнають сонячні панелі, які постійно вражаються найдрібнішими частинками, неможливими для відстеження. Наприклад, космічний телескоп "Габбл"**[Ошибка! Источник ссылки не найден.]** також піддається впливу цих уламків. У 2002 році Європейське космічне агентство замінило сонячні панелі телескопа і прибрало одну з них на Землю. На ній можна було чітко побачити сліди майже десятирічного обстрілу уламками різних розмірів. Ймовірність катастрофічного зіткнення з уламками

для "Габбла" становить приблизно 1 до 185, і вона зросла майже вдвічі з початку 2000-х.

Загроза зіткнення існує і для місій з екіпажем. Наприклад, уламки можуть вдарити у Міжнародну космічну станцію. Проте критично важливі її компоненти, такі як модулі для проживання та резервуари високого тиску, надійно захищені і можуть витримувати удари уламків діаметром до 1 сантиметра. Однак якщо ймовірність зіткнення перевищує 1 до 10 тисяч, МКС виконує маневр ухилення, що стає досить часто, в середньому, принаймні, раз на рік.

Починаючи з 1961 року, вчені[29] зафіксували 560 подій, коли об'єкти на орбіті розпадалися, і лише сім з них були в результаті зіткнень. Проте в майбутньому основними подіями, що спричинять утворення космічного сміття, передбачається будуть саме зіткнення. Шанси на випадкове зіткнення двох великих об'єктів (діаметром більше десяти сантиметрів) дуже малі, але вони існують.

Перша з таких подій була зафіксована у 1996 році, коли уламок ступеня європейської ракети "Аріан", запущеної десять років раніше, врізався у французький мікросупутник. Мікросупутник зазнав певних пошкоджень, але продовжив свою роботу.

10 лютого 2009 року стався найгірший подібний інцидент, коли зіткнулися американський супутник "Іридіум-33" і російський "Космос-2251", який був вже поза роботою. Це сталося на висоті 776 кілометрів над Сибіром, апарати зіткнулися один з одним зі швидкістю 11,7 кілометрів на секунду. Обидва супутники були зруйновані і створили близько 2300 фрагментів, які можна було відслідковувати. Деякі з них вже потрапили в атмосферу та згоріли.

Крім того, деякі країни проводили тести з протиракетної зброї, яка спрямована проти супутників. Наприклад, у 2007 році Китай знищив свій метеорологічний супутник під час тестування такої зброї. Ця подія сама по собі збільшила кількість відстежуваного космічного сміття на 25%, створивши більше трьох тисяч фрагментів, які залишатимуться на орбіті протягом багатьох

років.

Кількість супутників на орбіті продовжує зростати, так як компанії, такі як SpaceX і Amazon, планують створити "мегасузір'я" з тисяч супутників для покриття Інтернетом. Це збільшення об'єктів на орбіті неминуче приведе до збільшення кількості космічного сміття. Існує загроза спричинення ланцюгової реакції, відомої як "синдром Кесслера". Уламки супутників, зіткнувшись з іншими об'єктами в космосі, можуть створювати ще більше фрагментів. За оцінками, подвоєння кількості космічного сміття може призвести до збільшення ризику зіткнення у чотири рази. У кінцевому підсумку це може призвести до неможливості використовувати навколоземну орбіту.



## **Висновок до розділу 6**

З кожним роком проблема космічного сміття стає все більш серйозною і актуальною. З огляду на низьку орбіту навколо Землі, на якій зосереджується багато супутників і космічних апаратів, кількість космічного сміття і можливість зіткнень зростає з кожним запуском. Висока швидкість об'єктів на орбіті робить навіть найменші уламки небезпечними, і ця проблема негативно впливає на надійність і безпеку космічних місій.

Основні висновки щодо проблеми космічного сміття:

**Зростаюча кількість сміття в космосі:** За даними експертів, на орбіті навколо Землі перебуває понад 300 тисяч штучних об'єктів загальною масою приблизно 5 тисяч тонн, і 95% з них можна вважати космічним сміттям.

**Загроза для космічних апаратів:** Космічні апарати, такі як супутники і космічні телескопи, постійно внаслідок зіткнень з уламками і фрагментами стають предметом пошкоджень. Це особливо стосується сонячних панелей, які можуть витримувати невеликі удари, але не обмінюються на фрагменти.

**Загроза для місій з екіпажем:** Міжнародна космічна станція (МКС) і інші місії з екіпажем також піддаються ризику зіткнення з уламками. Проведення маневрів ухилення стає необхідністю для уникнення таких зіткнень.

**Зіткнення в космосі:** Існує ризик зіткнень між великими об'єктами на орбіті, що може призвести до утворення ще більше космічного сміття. Такі події реальні і можуть загрожувати навколораземній орбіті.

**Збільшення кількості супутників:** Постійний запуск нових супутників і створення "мегасузір'я" з тисячами супутників для Інтернет-покриття зростає кількість об'єктів на орбіті і спричинює збільшення космічного сміття. Це може спричинити ланцюгову реакцію і зростання ризику зіткнення.

Усі ці факти свідчать про те, що проблема космічного сміття потребує серйозної уваги та дій з боку міжнародної спільноти. Необхідно розробити стратегії для активного видалення сміття з орбіт і обмеження його подальшої нагромадження, щоб забезпечити безпеку космічних місій і довгострокову стабільність навколораземної орбіти.

## **Загальних висновок**

Навігаційні системи, що працюють на основі супутників, лишаються надзвичайно важливими та необхідними технологіями у сучасному світі завдяки їх широкому застосуванню, постійним технологічним покращенням, глобальному охопленню та розвитку нових можливостей. Вони мають ключове значення для забезпечення точного позиціонування і навігації, що є критичним для безпеки та ефективності у багатьох галузях життя та промисловості.

Важливо відзначити значення дослідження різних аспектів супутникової навігаційної системи (НСС), включаючи космічний та наземний сегменти, їх ролі в системі, принципи роботи, переваги та недоліки. Також варто відзначити вивчення різних технологій використання, таких як RTK, GPS-A і LBS.

Дослідження роботи глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) у різних режимах підкреслює її важливість у різних умовах і сферах застосування. В одиночному режимі ГНСС має високу точність в умовах відкритого неба, але її ефективність може бути обмежена в умовах затінення та електромагнітних перешкод. Кооперативний режим, який використовує спільні дані та інші джерела інформації, може підвищити точність та надійність навігації, особливо у критичних ситуаціях та обмежених умовах видимості.

Були проведенні дослідження супутникових навігаційних систем та характеристик точності. Це дослідження показало що використання ГНСС в одиночному режимі підходить для більшості ситуацій з доступом до сигналів супутників, тоді як кооперативний режим надзвичайно важливий у критичних застосуваннях, таких як автономні автомобілі, безпілотні літальні апарати і військові системи, де точність та надійність є критичними.

З розвитком нових супутникових систем і технологічними покращеннями у сферах покращення сигналу і обробки даних можна очікувати подальшого зростання можливостей ГНСС як в одиночному, так і в кооперативному режимах, що робить їх ще більш важливими та корисними для різних галузей та застосувань.

Вимоги до організації робочого місця за комп'ютером є важливими для

забезпечення комфорту, ефективності та безпеки працівника під час роботи з комп'ютером. Ергономічний дизайн та правильна організація робочого простору, включаючи належне розміщення монітора, клавіатури та миші, належне освітлення, вентиляцію та температурні умови, організація робочого простору та введення регулярних перерв і фізичної активності сприяють якості роботи, здоров'ю та задоволенню працівників. Ці заходи є важливими для створення продуктивного та безпечного робочого середовища, що сприяє загальному успіху та добробуту організації.

Проблема космічного сміття є актуальною та серйозною загрозою для космічних місій, супутників, МКС та земного середовища. Збільшення обсягу сміття на орбіті та потенційні небезпеки, які воно створює, підкреслюють важливість досліджень та міжнародної співпраці для розв'язання цієї проблеми. Розробка технологій для очищення орбіти та зменшення утворення сміття в майбутньому є необхідною для забезпечення безпеки та сталого використання космічного простору.

### Використанні джерела

1. A Review on Multi-GNSS for Earth Observation and Emerging Applications by Shuanggen Jin ,Qisheng Wang ,Gino Dardanelli [Електронний ресурс] / MDPI // Режим доступу :\www/ URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/16/3930>
2. Experimental Investigation of Multi-GNSS in Static Mode Conference: 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC) Authors: Валерий Конин ,Oleksandr Kutsenko ,Е.О.Lukianenko [Електронний ресурс] / ResearchGate // Режим доступу \www/ URL: [https://www.researchgate.net/publication/329748883\\_Experimental\\_Investigation\\_of\\_Multi-GNSS\\_in\\_Static\\_Mode](https://www.researchgate.net/publication/329748883_Experimental_Investigation_of_Multi-GNSS_in_Static_Mode)
3. APPLICATION MULTI – GNSS TO DETERMINE OBJECTS COORDINATES AND EVALUATION OF ACCURACY Tarasevych S.M [Електронний ресурс] / Репозитарій Національного Авіаційного Університету // Режим доступу \www/ URL: <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/50567/1/Tarasevych.pdf>
4. Автопилот. Беспилотный автомобиль [Електронний ресурс] / Tadviser // Режим доступу \www/ URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Автопилот\\_\(беспилотный\\_автомобиль\)#.D0.9E.D0.B1.D1.89.D0.B8.D0.B5\\_.D0.BF.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF.D1.8B\\_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B\\_.D0.B1.D0.B5.D1.81.D0.BF.D0.B8.D0.BB.D0.BE.D1.82.D0.BD.D0.BE.D0.B3.D0.BE\\_.D0.B0.D0.B2.D1.82.D0.BE.D0.BC.D0.BE.D0.B1.D0.B8.D0.BB.D1.8F](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Автопилот_(беспилотный_автомобиль)#.D0.9E.D0.B1.D1.89.D0.B8.D0.B5_.D0.BF.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF.D1.8B_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B_.D0.B1.D0.B5.D1.81.D0.BF.D0.B8.D0.BB.D0.BE.D1.82.D0.BD.D0.BE.D0.B3.D0.BE_.D0.B0.D0.B2.D1.82.D0.BE.D0.BC.D0.BE.D0.B1.D0.B8.D0.BB.D1.8F)
5. Self-driving car (autonomous car or driverless car) [Електронний ресурс] / TechTarget Network // Режим доступу \www/ URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/driverless-car>
6. Tracking Drone Orientation with Multiple GPS Receivers. Mahanth Gowda, Justin Manweiler, Ashutosh Dhekne, Romit Roy Choudhury and Justin D. Weisz [Електронний ресурс] / ACM // Режим доступу \www/ URL: <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/2973750.2973768>

7. Кас'янов\_О.В.,\_"Детально\_про\_GPS" [Електронний ресурс] / GeoGuide // Режим доступу \www/ URL: <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gps&art=gpsnav03>
8. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТРОПОСФЕРНИХ ПАРАМЕТРІВ ІЗ СУМІСНИХ ДАНИХ GNSS І SLR СПОСТЕРЕЖЕНЬ А. Хоптар Національний університет "Львівська політехніка" [Електронний ресурс] / Електронний архів Національного університету «Львівська політехніка» // Режим доступу \www/ URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/b43b6f4c-e398-437f-84fe-f3bdaad4bc72/content>
9. Світові системи супутникової навігації. Електронний підручник [Електронний ресурс] / Агроосвіта // Режим доступу \www/ URL: [https://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Golub/супутники2016/teoria2.html](https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Golub/супутники2016/teoria2.html)
10. Навчальний посібник Сучасні методи геодезичних вимірів із використанням штучних супутників землі Видавництво Політехнічного Інституту 2009 Автори: Е.Б. Михаленко, Н.Н. Загрядская, Н.Д. Беляєв, В.В. Вилькевич, В.В. Петров, А.А. Смирнов [Електронний ресурс] / StudFiles // Режим доступу \www/ URL: <https://studfile.net/preview/6139153/>
11. Супутникова навігація: основні принципи роботи. Проблеми та методи їх вирішення [Електронний ресурс] / ОКО // Режим доступу \www/ URL: [https://око.укр/articles/GPS\\_GLONASS\\_AGPS\\_RTK/](https://око.укр/articles/GPS_GLONASS_AGPS_RTK/)
12. Современные методы геодезических измерений НБ 5 после правки. [Електронний ресурс] / StudFiles // Режим доступу \www/ URL: <https://studfile.net/preview/6139153/>
13. Материали супутника [Електронний ресурс] / PostNauka // Режим доступу \www/ URL: <https://postnauka.org/faq/97367>
14. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ GPS-НАВИГАТОРОВ [Електронний ресурс] / YUGCONTRACT // Режим доступу \www/ URL: <https://yugcontract.ua/news/articles/10567.html>

15. Забезпечення ідеальної привязки за часом [Електронний ресурс] /EcomGeo // Режим доступу\www/ URL: [http://www.ecomgeo.com/articles/about\\_gps\\_04.htm](http://www.ecomgeo.com/articles/about_gps_04.htm)

16. О.В. Евстафьев Наземнаа інфраструктура ГНСС для точного позиціонування / Под ред. В.В. Грошева.М.:ООО «Видавництво «Перспект», 2009. —

48 с.[Електронний ресурс] /Бібліотека науково технічного журналу по геодезії, картографії та навігації // Режим доступу \www/ URL: <http://www.geoprofi.ru/SerVICES/Doc/2960/39fc858572554b9bb7187ea378ee198c/Evstafiev--2009.pdf>

17. Що таке А-GPS [Електронний ресурс] / Inteli // Режим доступу \www/ URL: <https://intelli.com.ua/ru/informatsiya/chto-takoe-a-gps.html>

18. Хімік Виктор Авдеев о застосуванні вуглепластику в аерокосмічеської галузі [Електронний ресурс] / PostNauka // Режим доступу \www/ URL: <https://postnauka.org/faq/97367>

19. Недоліки супутникового зв'язку [Електронний ресурс] /Studbooks // Режим доступу \www/ URL: [https://studbooks.net/2357311/tehnika/nedostatki\\_sputnikovoy\\_svyazi](https://studbooks.net/2357311/tehnika/nedostatki_sputnikovoy_svyazi)

20. СТРУКТУРА НАВИГАЦІЙНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ GPS [Електронний ресурс] /StudRef // Режим доступу URL: [https://studref.com/320240/tehnika/struktura\\_navigatsionnogo\\_soobscheniya](https://studref.com/320240/tehnika/struktura_navigatsionnogo_soobscheniya)

21. Google Waymo. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс] / WayMo// Режим доступу \www/ URL: <https://waymo.com>

22. Авиационная электросвязь. Том I. Радионавигационные средства. Издание 6, июль 2006, Международная организация гражданской авиации. — 598 с.

23. Aeronautical Telecommunications. Volume I. Radio Navigation Aids. Sixth Edition, July 2006, International Civil Aviation Organization. — 578 p.

24. Standard positioning service performance specification, 2nd Edition, June 2, 1995.
25. Navstar gps user equipment introduction, SEPTEMBER 1996.
26. GLOBAL POSITIONING SYSTEM. Standard positioning service performance standard, 4th Edition, September 2008.
27. RTCA/DO-316. Minimum operational performance standards for global positioning system/aircraft based augmentation system airborne equipment, April 14, 2009.
28. Конин В. В., Харченко В. П. Системы спутниковой радионавигации. Киев: Холтех, 2010. – 510 с.
29. Що таке космічне сміття? [Електронний ресурс] / Наука// Режим доступу \www/ URL: <https://nauka.ua/card/zvidki-beretsya-kosmichne-smittya-chim-vono-zagrozhuye-yak-jogo-pibrati>

## Додаток А

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «СТАЛІЙ РОЗВИТОК ГЛОБАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ CNS/ATM» 23 – 25 ЛИСТОПАДА 2021р., НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, М. КИЇВ

**Павловський І.В.**, студент  
**Конін В.В.**, д.т.н., проф.  
Національний авіаційний університет, м. Київ

### МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Основною функцією супутникової навігаційної системи (СНР) безпілотного літального апарату (БПЛА) є визначення координат, швидкості та часу. Легкі БПЛА із злітною масою кілька десятків кг та дальністю польоту до 50 км можуть функціонувати в умовах сильно пересіченої місцевості та складної заводової обстановки. При визначенні координат по сигналах навігаційних супутників головним параметром у вирішенні навігаційної задачі є дальність (псевдодальність) кожного супутника у зоні видимості. На помилки визначення псевдодальності впливають ефемериди супутників, іоносфера та тропосфера, перешкодова обстановка, розташування супутників щодо БПЛА, маневрування БПЛА. У цій доповіді наводиться модель оцінки позиції БПЛА з урахуванням похибок псевдодальностей, які ставляться статистично.

В основу моделі покладено ітераційний метод оцінки координат [1], об'єднаний зі статистичною моделлю псевдодальностей, яка додається до правої частини

рівняння (4. 44) [1]. Статистична модель псевдодальності  $P(k)$  подається у вигляді

$$P(k) = p(k) + f(\mu, \sigma, k)P(k) = p(k) + f(\mu, \sigma, k),$$

де  $p(k)$  - виміряні псевдодальності до  $k$  супутників,  $f(\mu, \sigma, k)$  -

генератор випадкових чисел,  $\mu$  - середнє значення випадкового числа,  $\sigma$  - стандартне відхилення.

Вхідними даними для проведення досліджень за запропонованою моделлю є ефемериди навігаційних супутників, псевдодальності, параметри генератора випадкових чисел. Вихідними даними можуть бути статистичні характеристики позиції в тривимірному просторі. У модель закладено можливість формувати довільну комбінацію двох супутникових систем, змінювати кут маски, виводити графічні дані результатів моделювання. Для ілюстрації роботи моделі наведемо два сценарії з результатами моделювання.



Як вхідні дані використовуються експериментальні значення ефемерид і псевдодальностей GPS и ГЛОНАСС.

Матриця ефемерид для 15 супутників має наступний вигляд:

$$E_{ph} = \begin{bmatrix} 0.743969507931521 & 1.835943245181110 & 1.824205022459420 \\ 1.320239946541640 & 1.265473192832610 & 1.913643631443840 \\ -0.350453372350397 & 2.277674219512480 & 1.340534817502060 \\ -1.628294545094400 & -0.127069173493271 & 2.105294547927350 \\ 0.691073942467448 & -1.558169493777120 & 2.021021585506690 \\ 1.991453909131120 & 1.130942349856910 & 1.344546297508410 \\ 2.369773179922120 & -0.776041642074437 & 0.923392825341097 \\ 0.996656645967017 & -1.436313261124170 & 1.993763526256420 \\ -1.692888811957120 & 0.166788670427429 & 2.093755983709060 \\ 1.233256010182990 & 2.367700964106590 & -0.071202657299068 \\ -1.650996681268890 & 1.085295610289370 & 1.803466000115140 \\ -0.068190076000000 & -1.613435565000000 & 1.972099924000000 \\ -1.241174931000000 & 0.039757693000000 & 2.227131788000000 \\ 2.437598815000000 & 0.406305768000000 & 0.627283871000000 \\ 1.227906990000000 & 1.002612703000000 & 1.997446248000000 \end{bmatrix} \times 1.0e^{07}.$$

Рядки 1-11 відносяться до супутників GPS, рядки 12-15 відносяться до ГЛОНАСС. Координати X, Y, Z супутників записані 1, 2, 3 стовпці відповідно. Експериментальні псевдодальності для 15 супутників представлені як:

$$P(k) = \begin{bmatrix} 2.142845384907509 & 2.022384662092726 & 2.346550318782243 \\ 2.576093739823005 & 2.360811083746415 & 2.068520592366336 \\ 2.286996688983165 & 2.318862603028191 & 2.597968254419408 \\ 2.401345415616430 & 2.550376275571986 & 2.372087393068987 \\ 2.350164697835089 & 2.089354978646578 & 1.905754132867241 \end{bmatrix} \times 1.0e^{07} + \text{normrnd}(\mu, \sigma, k),$$

де `normrnd` – генератор нормального розподілу випадкових чисел MatLab.

На рис. 1 (сценарій 1) зображені гістограми відхилень координат від номінального значення при використанні 15 супутників для  $\sigma = 4.2 \text{ мс} = 4.2 \text{ м}$ , вугол маски рівен  $5^\circ$  и 1000 реалізацій генератора випадкових чисел.

На рис.2 (сценарій 2) наведено аналогічні результати для 5 супутників (1-GPS, 4-ГЛОНАСС). На рис.3 і рис.4 наведені відхилення координат по осях X, Y, Z в тривимірному просторі для цих сценаріїв.

На рис.3 і рис.4 наведені відхилення координат по осях X, Y, Z в тривимірному просторі для цих сценаріїв.

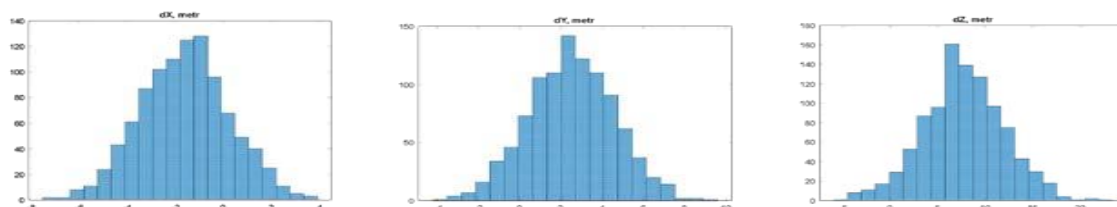


Рис. 1.

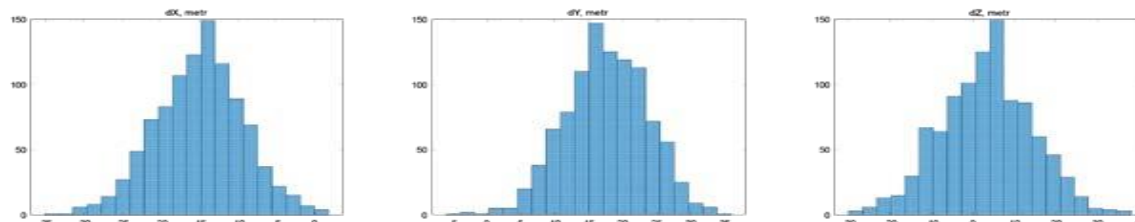


Рис. 2

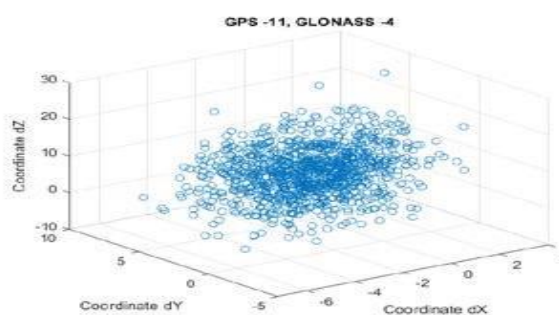


Рис. 3

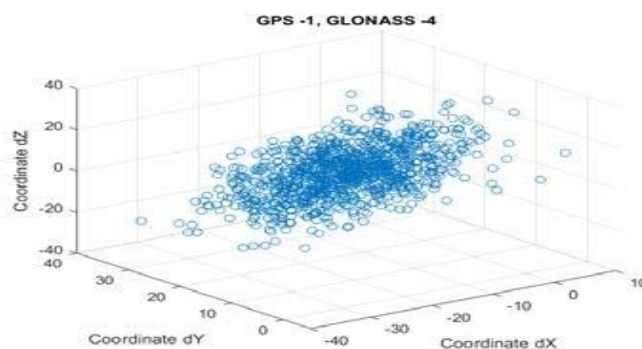


Рис. 4

Загалом запропонована модель є досить ефективною для дослідження можливостей навігації БПЛА у різних умовах.

Наприкінці зазначимо, що проект було виконано у лабораторії супутникової навігації НАУ у рамках дисципліни «Супутникова навігація».

Список використаних джерел

1. Конин В.В., Харченко В. П. Системы спутниковой радионавигации. – К.: Холтех, 210. – 520 с.

**Додаток Б**  
**«СТАЛИЙ РОЗВИТОК СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ,**  
**СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ**  
**ПОВІТРЯНОГО РУХУ CNS/АТМ - 2023» 29-30 листопада 2023 р.**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КООПЕРАЦІЇ ДЛЯ НАВІГАЦІЙНИХ**  
**СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ**

**Павловський І.В.**, студент  
**КОНІН В.В.**, *д.т.н. проф*  
*Національний авіаційний університет, Київ*

Сучасні супутникові системи відіграють важливу роль у великому спектрі діяльностей, від навігації та телекомунікацій до наукових досліджень та оборони. Однак, для забезпечення їхньої ефективності та точності, необхідно проводити інтенсивне тестування. У зв'язку з цим виникає питання ефективного використання ресурсів та підвищення об'єктивності процесу тестування. Однією зі стратегій, яка привертає увагу, є використання лише одного записаного файлу для тестування різних супутникових систем.

Цей підхід пропонує не лише спростити управління тестуванням, але й створити умови для об'єктивного порівняння різних систем, зберігаючи при цьому консистентність та ефективність аналізу результатів. У даній роботі розглядається переваги використання єдиного запису для тестування різних супутникових систем та аналізується його вплив на точність, об'єктивність та ресурсозбереження в процесі оцінки супутникових технологій.

**Ефективність ресурсів:** Замість того, щоб створювати та управляти окремими записами для кожної супутникової системи, ви можете зосередити зусилля на створенні і тестуванні одного універсального файлу. Це полегшує управління ресурсами та робить процес більш ефективним.

**Однакові умови для порівняння:** Використання одного файлу дозволяє вам тестувати різні супутникові системи в однакових умовах. Це забезпечує більш об'єктивні результати порівняння між різними системами, оскільки вони будуть оцінюватися в однакових умовах з однаковими вхідними даними.

**Зменшення ризику помилок:** Уникнення потреби в реєстрації та обробці різноманітних файлів може зменшити ризик помилок. Один універсальний файл спрощує управління даними, а отже, може знизити ймовірність виникнення помилок під час тестування.

**Зручність аналізу:** Використання єдиного файлу спрощує процес аналізу результатів тестування. Замість того, щоб проводити аналіз окремо для кожної системи, ви можете зосередитися на одному наборі даних, що полегшує порівняння та висновки.

**Зменшення обсягу зберігання даних:** Використання одного файлу може допомогти зменшити обсяг зберігання даних, оскільки вам не потрібно буде зберігати кожен запис окремо для кожної системи. Це може бути особливо важливим у випадках, коли обсяг даних є обмеженим чи цінним ресурсом.

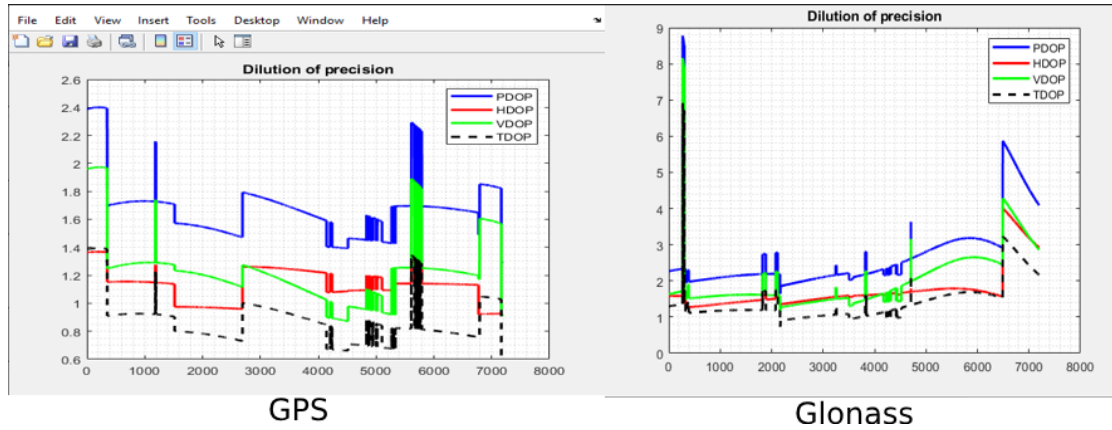


Рис.1

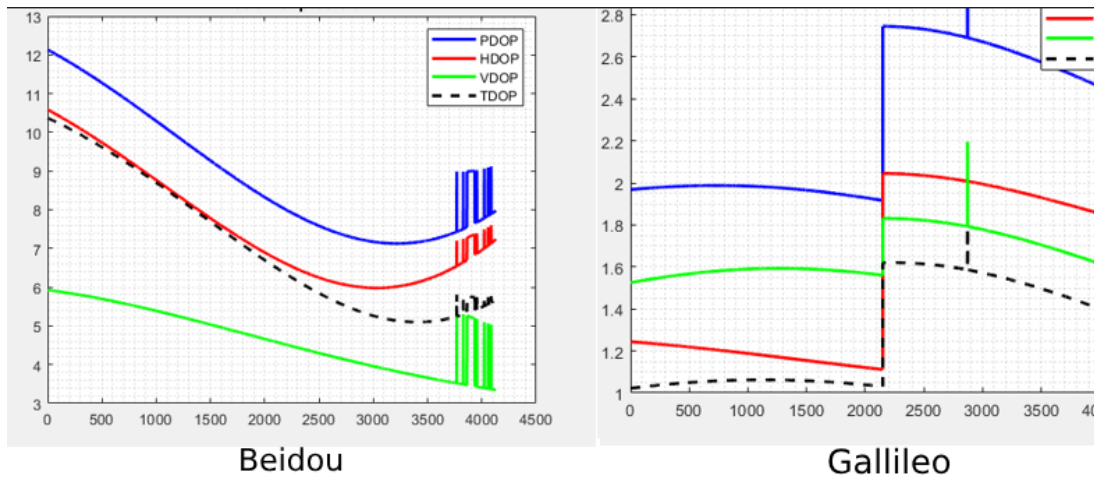


Рис.2

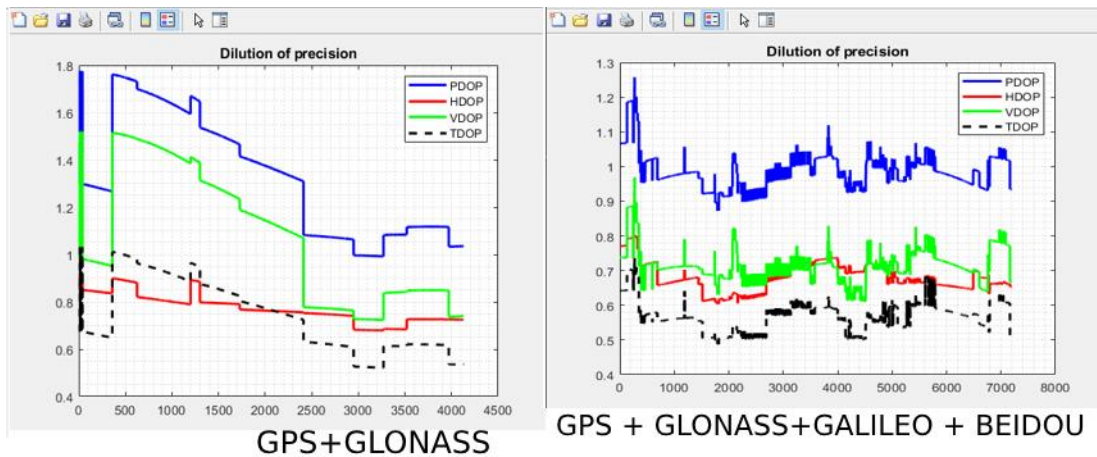


Рис.3

Дослідження функціонування ГНСС (глобальної навігаційної супутникової системи) у режимах одиночного та кооперативного використання призвело до отримання значущих висновків стосовно ефективності цієї технології в різноманітних умовах та сферах застосування.

У режимі одиночного використання ГНСС відзначається вражаючою точністю визначення місцезнаходження користувача в умовах відкритого неба. Збільшення кількості використовуваних супутників сприяє покращенню стабільності та достовірності сигналу. Тим не менше, у ситуаціях затінення,

таких як глибокі долини чи міські каньйони, або при електромагнітних перешкодах, точність може істотно знизитися.

У кооперативному режимі ГНСС об'єднання даних від різних користувачів та використання додаткових джерел інформації, таких як інерційні сенсори чи внутрішні засоби комунікації, може значно підвищити точність та надійність навігації. Цей підхід особливо корисний у ситуаціях обмеженої видимості супутників або в місцях із значними перешкодами.

Застосування ГНСС у режимі одиночного використання ідеально підходить для більшості сценаріїв, де доступно супутникове покриття. З іншого боку, кооперативний режим може бути вирішальним у критичних областях, таких як автономні автомобілі, беспілотні літальні апарати та армійські системи, де точність та надійність навігації є невід'ємною частиною життєво важливих функцій.