

**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**  
**«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ»**

**Тема: «Оцінка ефективності застосування мульти-GNSS як основного технічного засобу RNAV та PBN»**

**Виконав: \_\_\_\_\_ Р. Ю. Лавренчук**

**Керівник: \_\_\_\_\_ О. П. Сушич**

**Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Г.Ф. Аргунов**

**Київ 2023**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра аеронавігаційних систем  
Навчальний ступінь «Магістр»  
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»  
Освітньо-професійна програма «Обслуговування повітряного руху»

### **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В.Ю. Ларін

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2023 р.

### **ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

**Лавренчука Ростислава Юрійовича**

- 1.** Тема дипломної роботи: «Оцінка ефективності застосування мульті-**GNSS** як основного технічного засобу **RNAV** та **PBN**». Затверджена наказом ректора від "22" жовтня 2023 р. № 1443/ст
- 2.** Термін виконання проекту: 23.10.2023 – 26.12.2023
- 3.** Вихідні дані до проекту: порівняння систем навігації.
- 4.** Зміст пояснювальної записки: огляд сучасного стану авіаційної навігації. Формулювання основних задач дослідження. Огляд існуючих систем та технологій, що використовуються. Практичне впровадження та реалізація.
- 5.** Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: ілюстрації пояснювальних матеріалів.
- 6.** Календарний план-графік

Завдання	Терміни виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу «Теоретичні аспекти використання мульті-GNSS в RNAV та PBN.»	<b>23.10 – 01.11</b>	
Підготовка та написання 2 розділу «Практична реалізація мульті-GNSS у системах RNAV та PBN.»	<b>05.11 – 15.11</b>	
Підготовка та написання 3 розділу «Практичне впровадження мульті-GNSS у системи RNAV та PBN.»	<b>19.11 – 26.11</b>	
Підготовка та написання 4 розділу «Стратегічні цілі.»	<b>01.12 - 10.12</b>	
Оформлення пояснювальної записки.	<b>12.12 – 20.12</b>	
Підготовка презентації та доповіді.	<b>10.12 – 25.12</b>	

7. Дата видачі завдання: «\_23\_» \_ жовтня \_ 2023 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Сушич олексій Петрович

(підпис керівника)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Лавренчук Ростислав Юрійович

(підпис студента)

(прізвище, ім'я, по батькові)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оцінка ефективності застосування мульті-GNSS як основного технічного засобу RNAV та PBN»

**Мета роботи** – Оцінка ефективності застосування мульті-GNSS як основного технічного засобу RNAV та PBN.

**Метод дослідження** – теоретичні методи.

Дипломна робота зосереджена на проведенні аналізу інтеграції мульті-GNSS в RNAV та PBN. Результати дослідження вказують на те, що мульті-GNSS ідеально підходить для підтримки RNAV та PBN, оскільки забезпечує високу точність та надійність навігації. Інтеграція мульті-GNSS дозволяє створювати оптимальні маршрути, підтримувати креативні підходи та забезпечувати точність при підходах до аеродрому.

## **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

<b>СПИСОК АБРЕВІАТУР .....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>12</b>
<b>РОЗДІЛ 1:.....</b>	<b>14</b>
<b>Теоретичні аспекти використання мульті-GNSS в RNAV та PBN. ..Ошибкка! Закладка не определена.</b>	
1.1    Визначення основних термінів та понять. ....	14
1.2    Історія та розвиток RNAV та PBN.....	21
1.3    Попередні дослідження.....	22
1.4    Огляд технологій мульті-GNSS. ....	22
1.5    Вимоги RNAV та PBN до навігації.....	23
<b>Висновок до розділу 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>РОЗДІЛ 2:.....</b>	<b>30</b>
<b>Практична реалізація та впровадження мульті-GNSS у системах RNAV та PBN. ....</b>	<b>30</b>
2.1    Технічний аспект використання мульті-GNSS.....	30
2.2    Впровадження мульті-GNSS у авіаційну практику. ....	31
2.3    Виклики та переваги використання мульті-GNSS в RNAV та PBN. ....	32
2.4    Технічні аспекти інтеграції мульті-GNSS у сучасні авіаційні системи:.	32
2.5    Ефективність та переваги використання мульті-GNSS:.....	33
<b>Практична частина.....</b>	<b>35</b>
Обладнання що застосовувалось. ....	64
GPS-703-GGG-HV .....	64
PwrPak7.....	65
<b>Висновок до розділу 2 .....</b>	<b>66</b>
<b>РОЗДІЛ 3: Стратегічні цілі .....</b>	<b>67</b>
3.1    Стратегічний план розвитку мульті-GNSS в Україні.....	67
3.2    Стратегія розвитку. ....	68
<b>Висновок до розділу 3 .....</b>	<b>70</b>
<b>РОЗДІЛ 4: СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ....</b>	<b>71</b>
<b>ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТІ-GNSS .....</b>	<b>71</b>

4.1. Багатокритеріальна оцінка мульті-GNSS .....	71
<b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....</b>	<b>81</b>
<b>Розділ 5: .....</b>	<b>82</b>
<b>Охорона праці та вплив використання на навколишнє середовище в контексті використання мульті-GNSS. ....</b>	<b>82</b>
5.1 Введення в охорону праці.....	82
5.2 Мульті-GNSS та безпека праці.....	82
5.3 Стандарти та рекомендації.....	83
5.4 Введення в екологічний аспект. ....	83
5.5 Оцінка ефективності та вплив на природу.....	84
5.6 Стратегії зменшення негативного впливу.....	84
<b>Висновок до розділу 5 .....</b>	<b>86</b>
<b>ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК .....</b>	<b>87</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>89</b>

## СПИСОК АБРЕВІАТУР

GNSS - Глобальна навігаційна супутникова система (Global Navigation Satellite System)

RNAV – Зональна навігація (Area Navigation)

PBN - Навігація на підставі характеристик (Performance-Based Navigation)

GPS - Система глобального позиціонування (Global Positioning System)

ГЛОНАСС - Глобальна навігаційна супутникова система (Global Navigation Satellite System)

Галілео - Європейська система глобального навігаційного супутникового позиціонування (Galileo)

ЦЗСС - Китайська навігаційна система (BeiDou Navigation Satellite System)

NextGen - Наступне покоління авіаційних систем в США (Next Generation Air Transportation System)

FAA - Федеральна авіаційна адміністрація (Federal Aviation Administration)

ICAO - Міжнародна організація цивільної авіації (International Civil Aviation Organization)

SBAS - Супутникова система доповнення (Satellite-Based Augmentation System)

GBAS - Наземна система посилення (Ground-Based Augmentation System)

RTK - Кінематика в реальному часі (Real-Time Kinematic)

RNP - Норма точності навігації (Required Navigation Performance).

WAAS - Система розширеної служби за супутниками (Wide Area Augmentation System).

EGNOS - Європейська геостаціонарна навігаційна орбітальна служба (European Geostationary Navigation Overlay Service).

GAGAN - Геостаціонарна агрегована навігаційна система (GPS Aided GEO Augmented Navigation).

IRNSS - Індійська регіональна навігаційна супутникова система (Indian Regional Navigation Satellite System).



CDI - Показчик індикатора курсу (Course Deviation Indicator).

FMS - Система управління польотом (Flight Management System).

ATC - Контроль повітряного руху (Air Traffic Control).

AIS - Система ідентифікації автоматичних суден (Automatic Identification System).

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

**Безпека польотів** - комплексна характеристика авіаційної системи, визначається як здатність виконувати польоти без загрози для життя і здоров'я людей, або властивість авіаційної системи запобігати авіаційним подіям.

**Експлуатаційний стан (operational status)** – категоризація ситуації застосування засобу чи обладнання за ступенем можливості їх експлуатації від повної операційної придатності до моменту призупинення використання;

**Навігація, заснована на характеристиках (performance-based navigation)** – зональна навігація, заснована на вимогах до характеристик ПС, що виконують політ за маршрутом ОПП, процедуру заходження на посадку за приладами або політ у межах визначеного повітряного простору. Вимоги до характеристик визначено у навігаційних специфікаціях (специфікація RNAV, специфікація RNP) з точки зору точності, цілісності, безперервності, готовності та функціональності, необхідних для виконання запланованого польоту в контексті концепції конкретного повітряного простору;

**Обслуговування повітряного руху** - загальний термін, що означає у відповідних випадках польотно-інформаційне обслуговування, аварійне сповіщення, консультативне обслуговування повітряного руху, диспетчерське обслуговування повітряного руху (районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування).

**Обробка даних (data processing)** – систематична послідовність операцій з даними. Прикладами операцій з даними є об'єднання, сортування, обчислення або будь-яке інше перетворення, перегрупування з об'єктом вилучення, перегляд або зміна подання інформації;

**Повітряне судно** — апарат, що підтримується в атмосфері у результаті його взаємодії з повітрям, відмінної від взаємодії з повітрям, відбитим від земної поверхні.

**Система спостереження ОПП (ATS surveillance system)** – загальний

термін, який означає у відповідних випадках ADS-B, ПОРЛ, ВОРЛ, MLAT або будь-яку іншу порівняну з ними систему наземного базування, що дає змогу ідентифікувати ПС. Порівняна система наземного базування – це система, яка за результатами порівняльної оцінки або іншої застосованої методології демонструє рівень безпеки та характеристики, що еквівалентні або кращі, ніж у моноімпульсного вторинного радіолокатора.

**Специфікація характеристик зв'язку, що вимагаються (required communication performance specification)** – набір вимог до забезпечення ОПР і пов'язаного із цим наземного обладнання відповідно до можливостей ПС та виконання польотів, потрібних для підтримання зв'язку, заснованого на характеристиках.

## ВСТУП

Урбанізація, глобалізація та стрімкий розвиток транспортних систем накладають високі вимоги до точності, ефективності та безпеки повітряних та космічних перевезень. У цьому контексті системи навігації відіграють ключову роль у забезпеченні точного визначення положення та маршрутного планування повітряних суден. За останні десятиліття висувається особлива увага до систем зонової навігації (RNAV) та систем базованої на продуктивності (PBN), які визначають нові стандарти в галузі авіаційної навігації.

В цьому контексті виникає необхідність вивчення та оцінки технічних засобів, що забезпечують функціональність цих систем. Однією з перспективних технологій, що значно впливає на точність та ефективність навігації, є мульти-глобальна навігаційна супутникова система (мульти-GNSS).

Важливо врахувати, що високоточність та надійність навігаційних систем є необхідними умовами для забезпечення безпеки та оптимізації використання повітряного простору. Отже, розуміння та оцінка ефективності мульти-GNSS стає актуальним завданням, яке може визначити подальший розвиток авіаційних технологій.

У світлі вищезазначеного, ця дипломна робота розглядається як спроба внесення вагомого вкладу у розуміння впливу мульти-GNSS на системи навігації, сприяючи розвитку сучасної авіаційної та космічної індустрій. Метою цієї дипломної роботи є аналіз використання мульти-GNSS в контексті RNAV та PBN, вивчення впливу цих технологій на ефективність та безпеку авіаційного руху, а також надання рекомендацій щодо оптимального використання мульти-GNSS у повітряній навігації.

Завдання:

- Огляд сучасних систем навігації: Провести детальний аналіз сучасних систем навігації, зокрема систем RNAV та PBN, та визначити їхню роль у підтримці повітряних та космічних перевезень.

- Мульти-GNSS та його роль у навігації: Розглянути основні

характеристики та переваги мульті-GNSS як ключового технічного засобу для забезпечення точності та ефективності навігації.

- Оцінка ефективності мульті-GNSS для RNAV: Здійснити аналіз використання мульті-GNSS у системах RNAV, визначивши переваги та можливі обмеження.

- Оцінка ефективності мульті-GNSS для PBN: Вивчити вплив мульті-GNSS на ефективність та точність системи PBN, розглядаючи технічні аспекти та вимоги продуктивності.

- Аналіз впливу ефективної навігації на безпеку та ефективність повітряних та космічних перевезень: Оцінити загальний вплив застосування мульті-GNSS у системах RNAV та PBN на безпеку та ефективність повітряних та космічних перевезень.

- Рекомендації для подальших досліджень та вдосконалення систем навігації: Надати пропозиції щодо подальших досліджень у цій області та вдосконалення систем навігації на основі отриманих результатів.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТІ-GNSS В RNAV ТА PBN

### 1.1 Визначення основних термінів та понять.

У сучасній авіації, концепції RNAV та PBN відіграють важливу роль у впровадженні оптимальних маршрутів, зменшенні витрат пального та забезпеченні безпеки авіаційного руху. Під RNAV розуміється метод навігації, який дозволяє повітряним суднам прокладати маршрути, використовуючи точки в просторі, задані координатами, замість традиційних навігаційних азимутів і відстаней. PBN включає в себе конкретні вимоги до точності навігації та здатності до виконання точних підходів до аеродрому в будь-яких умовах.

Мульті-GNSS є технологією, яка об'єднує різні глобальні навігаційні системи, такі як GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО, та інші, для забезпечення точності навігації повітряних суден. Мульті-GNSS використовує сигнали від супутників для визначення координат та точного положення в просторі, надаючи навігаційну точність на рівні метрів.

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) виявляє значний вплив на обслуговування повітряного руху, перетворюючи ключові аспекти авіаційних операцій. Мульті-GNSS, зокрема, виступає як технологічна основа для покращення ефективності, безпеки та точності в усіх аспектах авіаційного руху.

Однією з основних переваг використання мульті-GNSS є покращена навігація та вища точність визначення місцезнаходження. Це забезпечує як пілотам, так і автоматизованим системам, можливість надійно визначати положення повітряних суден в режимі реального часу. Точні дані про місцезнаходження є ключовими для безпечного та ефективного УПР.

Оптимізація маршрутів та ресурсів стає можливою завдяки розробці оптимальних маршрутів. Мульті-GNSS дозволяє автоматизованим системам та пілотам мінімізувати час в польоті та економити пальне, сприяючи тим самим підвищенню загальної ефективності авіаційних операцій.

З погляду підвищення безпеки повітряного руху, використання мульті-GNSS визначається надійністю та точністю навігаційних даних. Пілоти можуть точно дотримуватися маршрутів та взаємодіяти з іншими повітряними суднами, уникати конфліктів та забезпечувати безпеку польотів на високому рівні.

Важливим аспектом є інтеграція мульті-GNSS у високоточні процедури зльоту та приземлення (RNP/RNAV). Це надає можливість використовувати високоточні навігаційні процедури, що сприяє підвищенню точності та надійності авіаційних операцій (рис. 1.1.).

Глобальне покриття мульті-GNSS гарантує його успішне використання в будь-якій частині світу. Це стає важливим для міжнародних польотів та робить систему ефективною та універсальною для всіх областей авіаційної діяльності.



Рисунок 1.1. Розташування космічного сегменту

Успіх впровадження мульти-GNSS також обумовлений його автономністю та резервуванням. Це означає, що повітряні судна можуть ефективно визначати своє положення, навіть у випадку втрати зв'язку з іншими навігаційними джерелами, забезпечуючи стабільну та безпечну авіаційну навігацію.

Усі ці аспекти роблять мульти-GNSS не просто технологічним засобом, але ключовим елементом, який визначає майбутнє ОПП.

**GPS** є системою глобального позиціонування, яка складається з супутників, наземних станцій та приймачів. Система призначена для визначення точного місця розташування об'єктів на землі або в просторі. Основні характеристики GPS включають:

Супутники: GPS використовує мережу супутників, розташованих у геостаціонарній та низькоземній орбітах, щоб передавати сигнали сигналами до приймачів на Землі.

- Приймачі: Приймачі GPS - це пристрої, які отримують сигнали від супутників та визначають своє місцезнаходження. Це можуть бути GPS-навігатори в автомобілях, смартфони, спеціалізовані пристрої для навігації в повітряному та морському транспорті, або інші пристрої.

- Триангуляція: Принцип роботи полягає в триангуляції - отриманні сигналів від різних супутників і визначенні точного місцезнаходження на основі часу затримки сигналів.

- Часовий сигнал: Точний вимір часу є критичним для визначення відстані між приймачем і супутниками.

GPS широко використовується в різних сферах, таких як автомобільна навігація, геодезія, військове застосування, мореплавство, туризм та інші. Система надає надійний та точний спосіб визначення місцезнаходження в реальному часі (рис. 1.1).



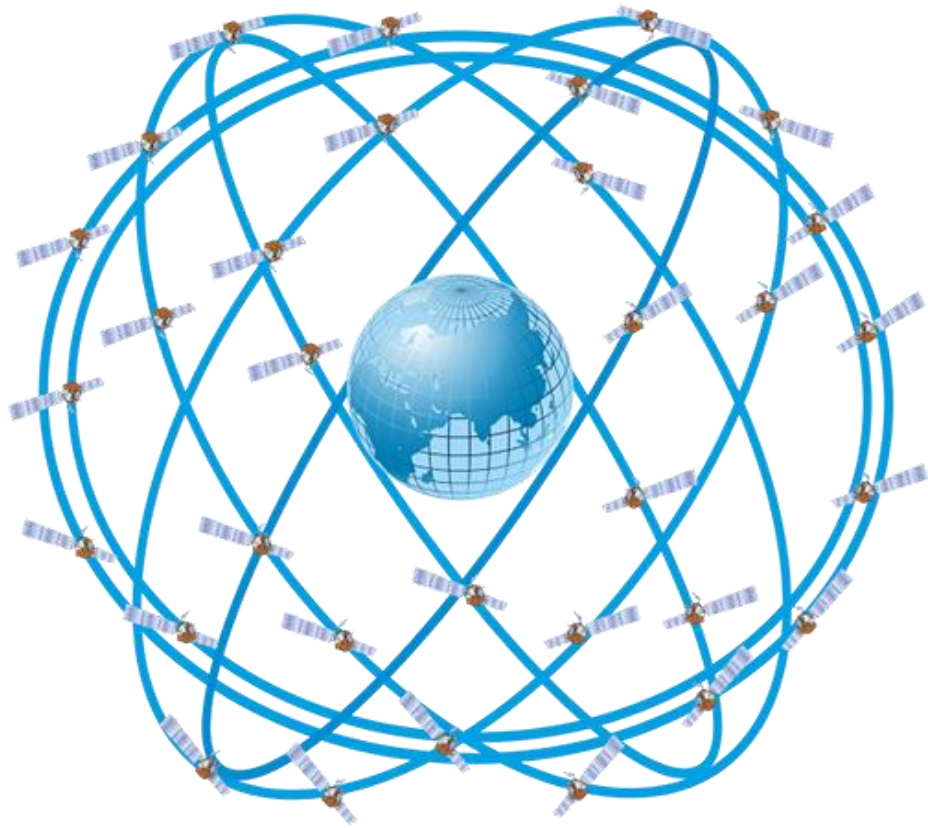


Рисунок 1.1 – Супутникове угруповання GPS

**GLONASS** (ГЛОНАСС) - це система глобального навігаційного супутникового позиціонування, створена Російською Федерацією. Аббревіатура "GLONASS" походить від слів "Глобальная навигационная спутниковая система" (Global Navigation Satellite System).

Основні характеристики GLONASS:

- Супутники: Система включає групу супутників, розташованих у різних орбітальних площинах, для покриття всієї поверхні Землі.

- Триангуляція: Принцип роботи аналогічний іншим системам навігації, включаючи GPS. Визначення місцезнаходження здійснюється шляхом триангуляції сигналів від різних супутників.

- Незалежність від інших систем: GLONASS створювалася для

незалежного використання та функціонує паралельно з іншими системами глобального позиціонування, такими як GPS (США), Galileo (Європейський Союз) та BeiDou (Китай).

- Геостаціонарні та низькоземні супутники: Система включає як геостаціонарні, так і низькоземні супутники, що забезпечує оптимальну покриття для користувачів на різних широтах.

- Використання у цивільних та військових цілях: GLONASS використовується не тільки для цивільних, але й для військових потреб, забезпечуючи точність та надійність у вимірах.

GLONASS володіє важливою роллю в глобальних системах навігації та забезпечує російським користувачам та користувачам у багатьох інших країнах доступ до надійного супутникового позиціонування. (рис. 1.2)

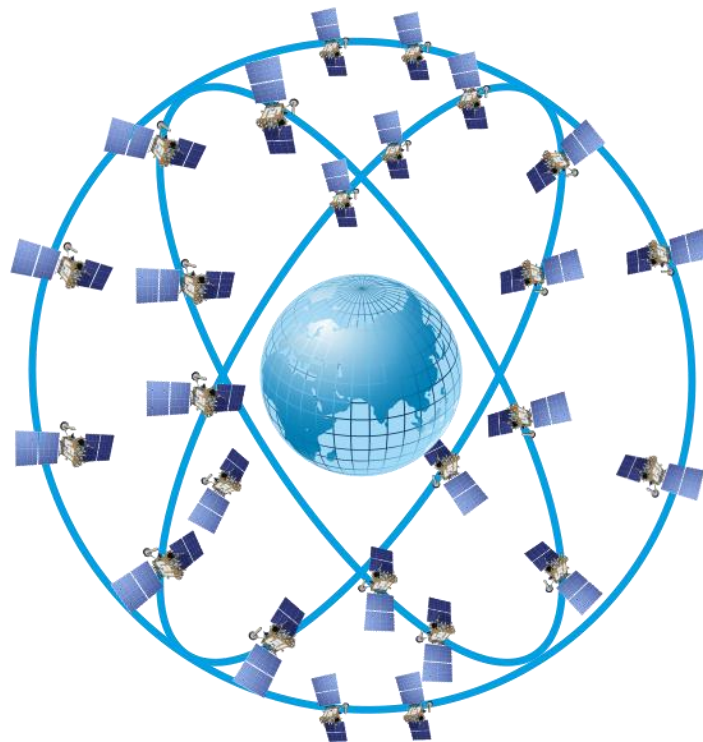


Рисунок 1.2 – Супутникове угруповання GLONASS

**Galileo** - це система глобального навігаційного супутникового позиціонування, розроблена Європейським Союзом (ЄС) та Європейським космічним агентством (ESA). Ця система створена для незалежного надання глобальних послуг навігації та позиціонування, конкуруючи з іншими системами, такими як GPS (США), GLONASS (Росія) та BeiDou (Китай).

Основні характеристики Galileo:

- Супутники: Система має мережу супутників, які обертаються навколо Землі та надають послуги з позиціонування, навігації та синхронізації.

- Незалежність та автономність: Galileo розроблено як незалежна система, спроможна працювати автономно чи разом з іншими системами глобального позиціонування.

- Висока точність та надійність: Мета Galileo - забезпечити високу точність визначення місцезнаходження та надійність навігаційних послуг.

- Цивільні та військові застосування: Galileo призначено для широкого спектру застосувань, включаючи цивільні та військові. Вона може бути використана в автомобільній навігації, авіації, судноплавстві, телекомунікаціях та інших галузях.

- Відкритий доступ: Система Galileo надає відкритий доступ до своїх сигналів для всіх користувачів, що дозволяє широке використання її послуг.

Galileo представляє собою стратегічний проект Європейського Союзу з метою створення конкурентоспроможної та незалежної системи навігації, спроможної забезпечувати високі стандарти якості та точності глобального позиціонування.

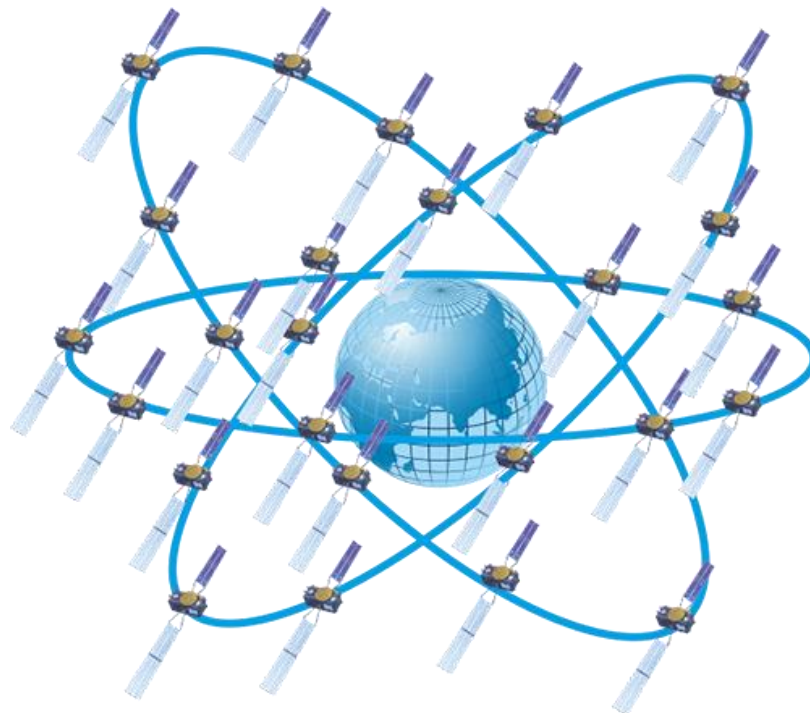


Рисунок 1.3 – Супутникове угруповання Galileo

**BeiDou** (Бейдоу) - це система глобального навігаційного супутникового позиціонування, розроблена і впроваджена Китайською Народною Республікою. BeiDou також відома як Compass (Компас) у світовій практиці. Ця система призначена для надання послуг навігації та позиціонування на глобальному рівні, конкуруючи з іншими системами, такими як GPS (США), GLONASS (Росія) та Galileo (Європейський Союз).

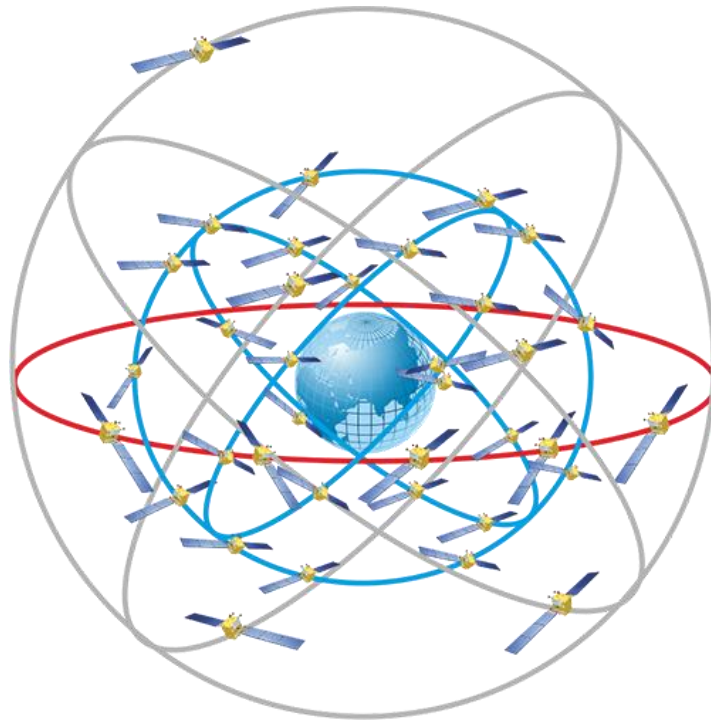


Рисунок 1.1 – Супутникове угруповання Бейдоу

Основні характеристики BeiDou:

- Супутники: BeiDou використовує групу супутників, які обертаються навколо Землі та надають сигнали для позиціонування та навігації.

- Система з трьох частин: BeiDou має три частини - Beidou-1, Beidou-2 і Beidou-3. Beidou-1 була ранньою версією з геостационарними та низькоземними супутниками. Beidou-2 - це система з міжконтинентальними та регіональними супутниками. Beidou-3 - це система з глобальними та територіальними супутниками.

- Точність та надійність: BeiDou призначено для надання точних та надійних глобальних послуг позиціонування, включаючи високу точність для різних застосувань.

- Кількісні сигнали: Система BeiDou надає кілька різних сигналів, що може

бути використано для різноманітних задач, включаючи цивільні та військові.

- Глобальний охоплення: BeiDou розроблено з урахуванням глобального охоплення, щоб задовольнити потреби користувачів у будь-якій точці земної поверхні.

BeiDou представляє собою стратегічний крок для Китаю у сфері космічних та навігаційних технологій, а також надає можливість для глобального позиціонування та навігації для широкого кола користувачів.

## **1.2 Історія та розвиток RNAV та PBN**

Історія RNAV та PBN - навігація на основі показників продуктивності) в авіації показує важливий шлях у розвитку навігаційних технологій.

RNAV з'явилася як концепція у 1960-х роках, коли авіаційні інженери почали думати про те, як можна вдосконалити систему навігації для літаків. До цього часу літаки оперували за допомогою радіонавігаційних засобів та наземних знаків, але це було обмеженням для їхньої точності та можливостей.

Перші системи RNAV використовували інерціальні платформи та електронні засоби для визначення місцезнаходження літака. Однак, справжній стрибок у розвитку RNAV відбувся з появою GPS. GPS дозволила точно визначати місцезнаходження літаків та прокладати більш ефективні маршрути, що значно полегшило авіаційну навігацію.

PBN, в основному, є розширенням концепції RNAV, визначене міжнародною організацією ICAO в 2006 році. Вона базується на використанні конкретних показників ефективності для навігації. Одним із ключових аспектів PBN є здатність створювати гнучкі траєкторії для літаків, що дозволяє оптимізувати маршрути та зменшувати витрати пального.

Ці технології стали основою сучасної авіаційної навігації, полегшуючи процес польотів, знижуючи витрати пального та покращуючи безпеку повітряних перевезень. Більш точні та ефективні системи навігації дозволяють літакам мінімізувати час польоту, що стає ключовим фактором в підвищенні ефективності авіаперевезень та зменшенні впливу на довкілля.

### **1.3 Попередні дослідження.**

Багато досліджень фокусуються на використанні мульті-GNSS в авіації. Наприклад, дослідження від Кевіна МакМануса та співавторів, опубліковане в "Journal of Navigation", розглядає точність та надійність сигналів мульті-GNSS у різних атмосферних умовах. Їхнє дослідження показало, що використання мульті-GNSS може бути відносно стабільним навіть у складних погодних умовах, що є критичним для авіаційної безпеки.

Крім того, робота Марка Сміта та колег, опублікована в "IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems", зосереджується на ефективності мульті-GNSS для виконання RNAV та PBN. Їхнє дослідження показало, що система мульті-GNSS забезпечує достатню точність та надійність для виконання таких завдань у різних сценаріях польоту.

Також, робота Ханса Шмідта та його групи, яка була опублікована в "Navigation", досліджує технічні можливості та обмеження мульті-GNSS. Вони досліджують чутливість системи до перешкод, її можливості управління сигналом та можливість використання в різних умовах польоту, що стає важливим аспектом для розробки надійних систем навігації.

Ці дослідження не лише визначають потенціал мульті-GNSS у відношенні до авіаційних систем, а й допомагають зрозуміти його обмеження та можливості для подальшого вдосконалення.

### **1.4 Огляд технологій мульті-GNSS.**

Мульті-GNSS є передовою технологією, яка використовується для отримання точних географічних координат шляхом одночасного використання декількох систем навігаційних супутників. Ця технологія базується на роботі різних глобальних систем супутникової навігації, таких як GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou, які надають сигнали для визначення точного положення на поверхні Землі.

Для отримання інформації від супутників та визначення місцезнаходження використовуються спеціальні приймачі GNSS. Ці приймачі можуть бути двочастотними, що дозволяє одночасно отримувати сигнали від більш ніж

однієї частоти супутникових сигналів, або точними приймачами RTK, які забезпечують високоточні результати в реальному часі.

Основні методи обробки сигналів включають трилатерацію, що ґрунтується на вимірюванні відстані від трьох і більше супутників для визначення місцезнаходження, та метод диференційної корекції, який використовує додаткові дані чи станції для підвищення точності GNSS.

Крім того, існують системи корекції сигналів GNSS, такі як SBAS та GBAS, які надають корекції сигналів для підвищення їхньої точності та надійності. Інтеграція мульти-GNSS з іншими технологіями, такими як інерціальні системи навігації (INS), розширює можливості для покращення точності та стійкості навігації.

Оцінка ефективності використання мульти-GNSS у RNAV та PBN включає аналіз різних аспектів, таких як точність, доступність супутників, вартість та вплив на сучасні технічні засоби навігації. Вона може розглядати плюси та мінуси використання цієї технології відносно інших ідентифікованих систем, а також потенційні обмеження чи переваги її застосування в конкретних сценаріях.

## **1.5 Вимоги RNAV та PBN до навігації.**

### **-RNAV**

1. Точність: RNAV вимагає високої точності навігації. Навігаційні системи повітряних суден повинні забезпечувати точність визначення положення в межах встановлених стандартів. Точність визначення положення включає в себе горизонтальну та вертикальну точність.

2. Надійність: Навігаційні системи повітряних суден повинні бути надійними та здатними працювати без перерв у різних умовах. Вони повинні бути стійкими до впливів різних факторів, таких як перешкоди, інтерференція, атмосферні умови і т. д.

3. Здатність до виконання точних маневрів: RNAV вимагає від навігаційних систем здатності забезпечувати точність виконання різних маневрів та підходів до аеродрому. Це включає в себе точні підходи до точок на

маршруті, точне керування на різних етапах польоту та інші маневри.

4. Здатність до роботи в різних режимах: RNAV повинна бути здатною працювати в різних режимах навігації, включаючи відкритий польот (En Route), підходи до аеродрому (Approach), а також дотримання заданих маршрутів та процедур.

### **-PBN**

1. Точність і надійність: PBN встановлює вимоги до точності і надійності навігації на рівні RNP (Required Navigation Performance). RNP визначає допустимі похибки визначення положення, які не повинні бути перевищені визначеною ІКАО вимогою.

2. Здатність до точних підходів: PBN вимагає здатності до точних підходів до аеродрому. Це включає в себе можливість точного керування під час підходу, щоб дотримуватися заданих маршрутів та процедур підходу.

3. Дотримання заданих маршрутів та процедур: PBN вимагає дотримання заданих маршрутів та процедур навігації. Це може включати в себе точне виконання маршрутів, курсів і підходів до аеродрому з високою точністю.

4. Здатність до роботи в різних умовах: Навігаційні системи повітряних суден повинні бути здатними працювати в різних погодних умовах та на різних висотах.

### **1.6. Розвиток та кооперація систем спостереження**

Прийняття рішення по вибору системи спостереження, яка буде адаптована до вашого середовища, вашого трафіку (поточного та прогнозованого) та вашого бюджету досить складне. Рішення, готове задовольнити потоки транспорту завтрашнього дня, водночас задовольняючи ваші завдання щодо підвищення безпеки, підвищення ефективності та зниження витрат ще складніше. Необхідно аналізувати різні технології, які існують; що вони роблять добре, а в чому менш вправні, подивитися, як деякі країни вже використовують найкраще для себе спостереження.

### **Глобальне спостереження**

Центр автоматизації АТС повинен приймати інтегровані дані, надіслані



численними датчиками спостереження.

Мета системи відстеження полягає в обробці та уніфікації всіх типів даних спостереження, щоб надати об'єднану інформацію для систем візуалізації та мереж безпеки. Визначення нового набору стандартів спостереження привело до появи пострадарної інфраструктури на основі технології передачі даних.

Інтеграція цієї нової технології в архітектуру «від стоянки до стоянки» має, зокрема, наступні цілі:

- мінливий повітряний рух, який постійно зростає,
- підвищення безпеки, пов'язаної з експлуатацією повітряних суден,
- зниження глобальних витрат (вартість палива швидко зростає, і це, здається, довгострокова тенденція), і
- зменшення радіовипромінювання та покращення екологічної ситуації.

Система Multi Sensor Tracking об'єднує отримані дані, що стосуються одного літака, в єдиний трек спостереження, використовуючи найкращий внесок від кожного джерела спостереження та усуваючи вплив їхніх відповідних недоліків (рис. 1.5). [15-20]

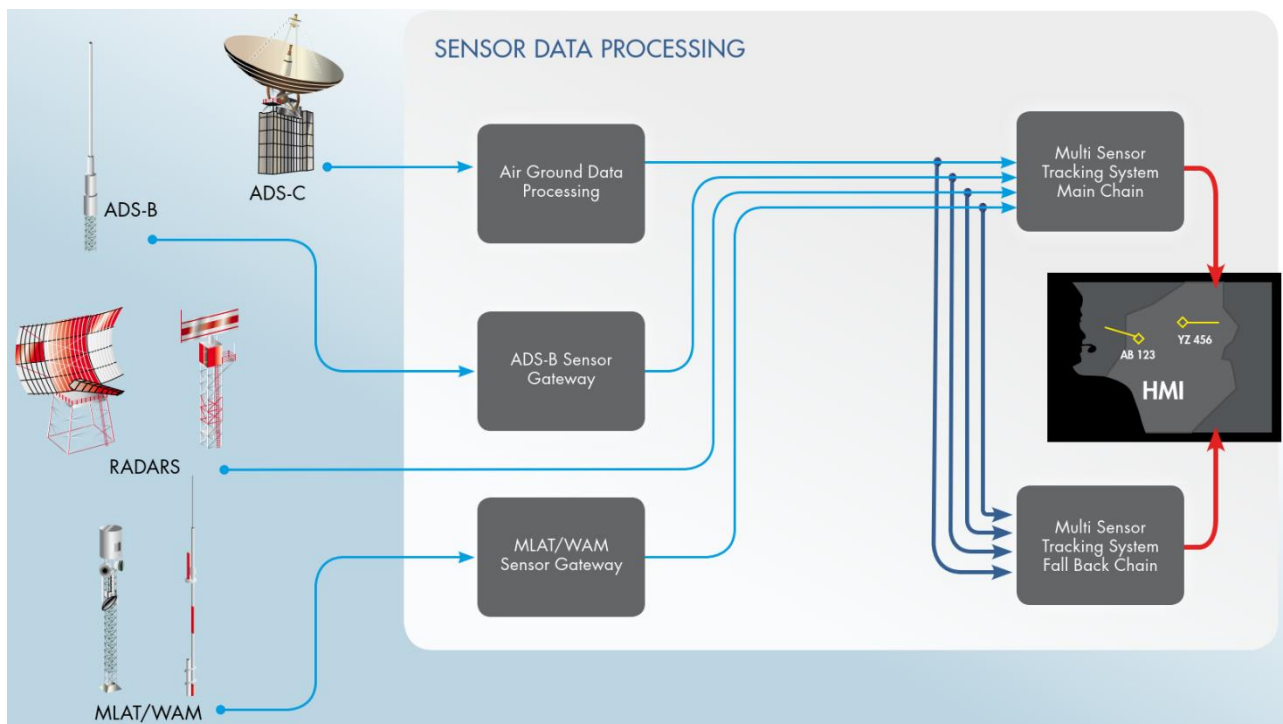


Рисунок 1.5. – Оброблення інформації від різних датчиків [16]

ПАНО сьогодні стикаються з дилемою: вибір між звичайними технологіями

спостереження та новими технологіями спостереження (рис. 1.6.)

З одного боку, звичайні технології, як правило, первинні та вторинні радари, є дуже зрілими, широко розгорнутими та постійно вдосконалюються.

З іншого боку, нові технології відеоспостереження, такі як ADS-B, ADS-C і мультилатерація, розвиваються разом зі збільшенням оперативного розгортання.



Рисунок 1.6. – Розвиток систем спостереження [16]

Інфраструктура спостереження має забезпечити необхідну функціональність і продуктивність для підтримки безпечної, ефективної та рентабельної служби управління повітряним рухом.

У недавньому минулому інфраструктура спостереження складалася з первинного та вторинного радіолокаторів. Вимоги до інфраструктури ґрунтувалися на використанні радарів. Нещодавно такі технологічні розробки, як ADS-B і MLAT, досягли зрілості для оперативного розгортання програм спостереження та відповідно були визначені стандарти. Через природу цих нових технологій технічні вимоги не можуть і надалі виражатися в термінах вимог до характеристик радіолокатора. [16 – 20]

Паралельно в рамках ініціатив Єдиного європейського неба впливають нові цілі ефективності та відповідні експлуатаційні вимоги. Середовище, в якому ПАНО надають послуги спостереження, в усіх відношеннях знаходиться під постійним тиском. Є багато факторів, які можна враховувати в рамках будь-

якої раціоналізації роботи.

Було розроблено методологію та інструменти для підтримки ПАНО у прийнятті рішень та оптимізації інфраструктури спостереження щодо атрибутів різних технологій спостереження: це концепція глобального рішення для спостереження.

Глобальний постачальник рішень для відеоспостереження об'єднає найсучасніші технології, щоб знайти комплексне рішення для відеоспостереження, яке найкраще відповідатиме потребам постачальників аеронавігаційного обслуговування.

Незалежно від географічних обмежень або рівня трафіку, ПАНО повинні мати максимально адаптовані можливості спостереження:

- Спочатку зосередьтеся на потребах, а не на продуктах;
- Необхідно розглянути повну пропозицію безпеки повітряного простору від землі до маршруту;
- Досконала продуктивність і ефективність витрат через оптимізоване рішення є обов'язковими;
- Потрібні кілька виходів для полегшення інтерфейсу будь-якої системи АТМ;
- Спеціально розроблені та протестовані інструменти моделювання та перевірки кількох датчиків допомагають оптимізувати дизайн системи.

Постачальник рішень Global Surveillance повинен допомогти клієнтам визначити найкраще рішення для задоволення їхніх вимог (рис. 1.7).

- Визначення бажаного охоплення відеоспостереження
- Визначення обмежень, пов'язаних із місцем розташування: складне покриття – обмеження на місцевості
- Визначення операційних обмежень: доступність розташування, існуючі системи, обмежена комунікація
- Моделювання інфраструктури спостереження для покриття нових маршрутів.



Рисунок 1.7. – Використання спостереження в різних зонах ОПР [18]

Щоб забезпечити оптимальне рішення, необхідно враховувати кілька критеріїв, наприклад, експлуатаційні вимоги, середня/пікова щільність трафіку, бюджет (поточний і майбутній), навколишнє середовище (рельєф місцевості, поширення...), а також безпеку та цілі безпеки.

Оптимізація системи Global Surveillance базується на кількох оцінках:

- Індекси продуктивності (ймовірність виявлення/правильна ідентифікація, точність локалізації)
- Оцінка витрат (придбання обладнання, експлуатація, технічне обслуговування)
- Зовнішній слід (спектральне заповнення, вплив на навколишнє середовище).

Глобальні системи відеоспостереження є ефективним способом поєднання різних технологій і розподілу між рівнями спостереження частини тягаря «допоміжних», таких як:

- Інфраструктура (вежа, щогли, ...)
- Джерела енергії (електроживлення,...)
- Комунікаційні зв'язки

## Висновок до розділу 1

**Висновок:** розділ "Теоретичні аспекти використання мульті-GNSS в RNAV та PBN" надає огляд технічних аспектів використання мульті-глобальної навігаційної системи (GNSS) в рамках систем RNAV (Area Navigation) та PBN (Performance-Based Navigation). Під час проведеного дослідження ми розглянули ключові аспекти функціонування GNSS, а також специфікації, що регулюють RNAV та PBN, і як ці системи використовуються в авіаційній практиці.

## **РОЗДІЛ 2: ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИ-GNSS У СИСТЕМАХ RNAV ТА PBN**

### **2.1 Технічний аспект використання мульті-GNSS**

У цьому розділі ми розглянемо технічні аспекти використання мульті-GNSS у системах RNAV та PBN. Однією з ключових переваг мульті-GNSS є можливість використання сигналів від різних глобальних навігаційних систем, таких як GPS, ГЛОНАСС та ГАЛІЛЕО, що забезпечує вищу точність та надійність.

Аспекти технічної реалізації:

- **Обладнання і супутникові системи:** використання мульті-GNSS вимагає відповідного обладнання у повітряних суднах. Сучасні системи включають в себе приймачі, які можуть працювати з сигналами від супутників різних глобальних навігаційних систем.

- **Алгоритми обробки сигналів:** для досягнення високої точності та стабільності, використовуються складні алгоритми обробки сигналів. Ці алгоритми дозволяють компенсувати помилки, пов'язані з розповсюдженням сигналів у повітряному просторі та з інтерференцією.

- **Технічні характеристики приймачів:** різні приймачі мульті-GNSS мають різні технічні характеристики, такі як чутливість до сигналів, частотний діапазон та можливість корекції помилок. Важливо враховувати ці характеристики при виборі обладнання.

- **Чутливість сигналу:** Мульті-GNSS системи відрізняються високою чутливістю до сигналів, що дозволяє визначати місцезнаходження з великою точністю, навіть у важких умовах.

- **Швидкодія:** Швидкість відновлення сигналу грає важливу роль у миттєвому визначенні зміни місцезнаходження. Це особливо важливо для ефективної роботи RNAV та PBN.

- **Множинні супутникові системи:** Мульті-GNSS використовує сигнали з різних супутникових систем, що розширює географічний охоплення та забезпечує надійність у різних частинах світу.

- Синхронізація: Технічні характеристики мульти-GNSS дозволяють синхронізувати інформацію від різних супутникових систем, покращуючи точність та стабільність навігаційних розрахунків.

## **2.2 Впровадження мульти-GNSS у авіаційну практику.**

Впровадження мульти-GNSS у системи RNAV та PBN є важливим кроком для покращення навігації в авіації. Декілька прикладів та програм впровадження цієї технології в авіаційну практику:

### **Сполучені Штати:**

У США впровадження системи мульти-GNSS у системи RNAV та PBN відбувається через програму NextGen. Ця програма охоплює кілька ключових напрямів, таких як використання ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), оптимізація маршрутів, покращення точності та надійності навігації. Впровадження мульти-GNSS дозволяє удосконалювати польоти за новими трасами, зменшує затримки, вдосконалює точність та стійкість польотів.

### **Європейський простір:**

В Європі процес інтеграції мульти-GNSS у системи RNAV та PBN здійснюється через програму SESAR (Single European Sky ATM Research). Ця програма створює та впроваджує нові концепції управління повітряним простором, оптимізуючи використання мульти-GNSS для підвищення точності, надійності та ефективності польотів. Європейська авіаційна система активно використовує мульти-GNSS для розробки та реалізації нових процедур RNAV та PBN, зокрема для підходів до аеродромів та маршрутизації, що сприяє покращенню авіаційної інфраструктури.

### **Україна:**

В Україні інтеграція мульти-GNSS у системи RNAV та PBN також є пріоритетною. Зокрема, в Україні активно розвиваються програми модернізації авіаційного управління з використанням мульти-GNSS для поліпшення точності навігації, розробки нових процедур RNAV та PBN для забезпечення безпеки та оптимізації польотів. Українська авіаційна індустрія активно співпрацює з

міжнародними партнерами та органами з питань авіації для впровадження сучасних стандартів та технологій.

### **2.3 Виклики та переваги використання мульті-GNSS в RNAV та PBN**

При використанні мульті-GNSS у системах RNAV та PBN виникають певні виклики та переваги:

- Виклики: Один з головних викликів полягає в забезпеченні надійності супутникового зв'язку, оскільки інтерференція або втрати сигналу можуть вплинути на точність. Додатково, існують проблеми з геостаціонарними супутниками та точністю висоти.

- Переваги: Використання мульті-GNSS дозволяє підвищити точність, зменшити витрати пального, покращити ефективність авіаційних операцій та забезпечити високий рівень безпеки. Мульті-GNSS також дозволяє скорочувати час підготовки та виконання польотів, що є важливим для авіаперевізників і авіаційних організацій.

### **2.4 Технічні аспекти інтеграції мульті-GNSS у сучасні авіаційні системи**

1. Сумісність сигналів: Оскільки мульті-GNSS використовує сигнали з різних систем супутників (таких як GPS, ГЛОНАСС, Галілео, ЦЗСС), важливо забезпечити сумісність цих сигналів та їхню коректну обробку в системах RNAV та PBN.

2. Точність та стабільність сигналів: Різні супутникові системи можуть мати різну точність та стабільність сигналів у різних умовах. Інтеграція цих сигналів вимагає ретельного аналізу та урахування можливих варіацій у точності та стабільності.

3. Часові розбіжності та синхронізація: Синхронізація сигналів з різних систем може викликати виклики через різницю в часі між супутниками. Це може потребувати розробки алгоритмів або методів для забезпечення правильної синхронізації та уникнення часових розбіжностей.



4. Управління даними: Інтеграція мульті-GNSS у системи RNAV та PBN потребує ефективного управління отриманими даними. Це включає збір, обробку, трансформацію та аналіз даних з різних систем, а також їхнє подальше використання для навігації.

5. Сумісність з існуючими системами: При впровадженні мульті-GNSS важливо забезпечити сумісність та взаємодію з вже існуючими авіаційними системами навігації, щоб уникнути конфліктів або несправностей у роботі.

## **2.5 Ефективність та переваги використання мульті-GNSS**

1. Підвищена точність навігації: Використання сигналів з різних супутникових систем дозволяє отримувати більш точні дані про місцезнаходження повітряного судна. Це сприяє збільшенню точності прокладання маршрутів та виконання польотів.

2. Покращення надійності системи: Мульті-GNSS забезпечує більшу надійність в умовах обмеженого доступу до сигналів однієї системи, оскільки може використовувати сигнали з інших супутникових констеляцій для підтримки навігації.

3. Зменшення залежності від конкретної системи: Інтеграція різних супутникових систем дозволяє зменшити залежність від однієї конкретної системи (наприклад, GPS). Це важливо у випадку можливих відмов або інтерференцій з однією з систем.

4. Економія часу та пального: Покращена точність навігації дозволяє коротше проходити відстань, оптимізувати маршрути та планувати економію пального, що веде до зменшення витрат на пальне та оптимізації часу польоту.

5. Підвищення безпеки польотів: Збільшена точність та надійність навігації призводять до покращення безпеки польотів. Це дозволяє уникнути непередбачених ситуацій та забезпечити більш плавний та безпечний перебіг польотів.

6. Покращення можливостей для виконання різних типів польотів: Використання мульті-GNSS розширює можливості виконання різних типів польотів, включаючи польоти в умовах поганої видимості, в дальніх та низьких широтах тощо.

## 2.6. Системи функціональних доповнень глобальних навігаційних супутникових систем

Розвиток світових ГНСС йде шляхом підвищення точності та доступності позиціонування, забезпечення цілісності навігаційного поля, а також розширення доступних послуг. Сформувалося два напрями розвитку ГНСС, пов'язаних з підвищенням точності та надійності наданих ними навігаційних послуг:

- модернізація існуючих (ГЛОНАСС, GPS) та створення нових ГНСС (європейський проект ГАЛІЛЕО, китайський проект БЕЙДОУ);

- Розвиток функціональних доповнень (ФД). (рис. 2.1.)

Функціональні доповнення ГНСС надають споживачам додаткову інформацію, яка дозволяє підвищити точність та достовірність визначення просторових координат, швидкості руху та часу.

Вихідна інформація ФД доводиться до споживачів спеціальними каналами зв'язку. Вона зазвичай містить коригуючу інформацію (для усунення або зменшення похибок позиціонування споживачів) та інформацію про цілісність ГНСС (для забезпечення достовірності результатів місцевизначення).

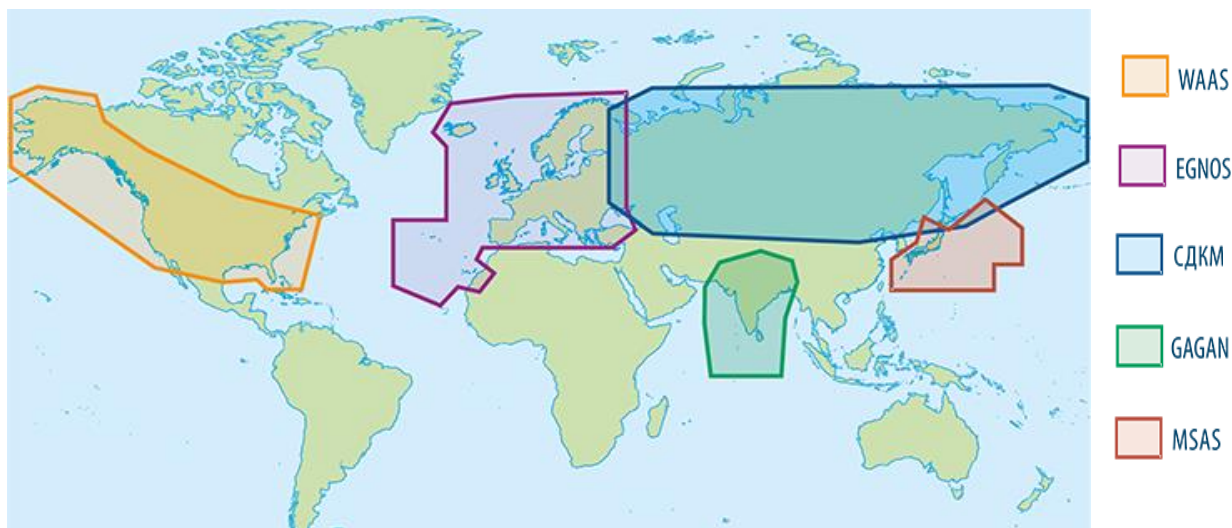
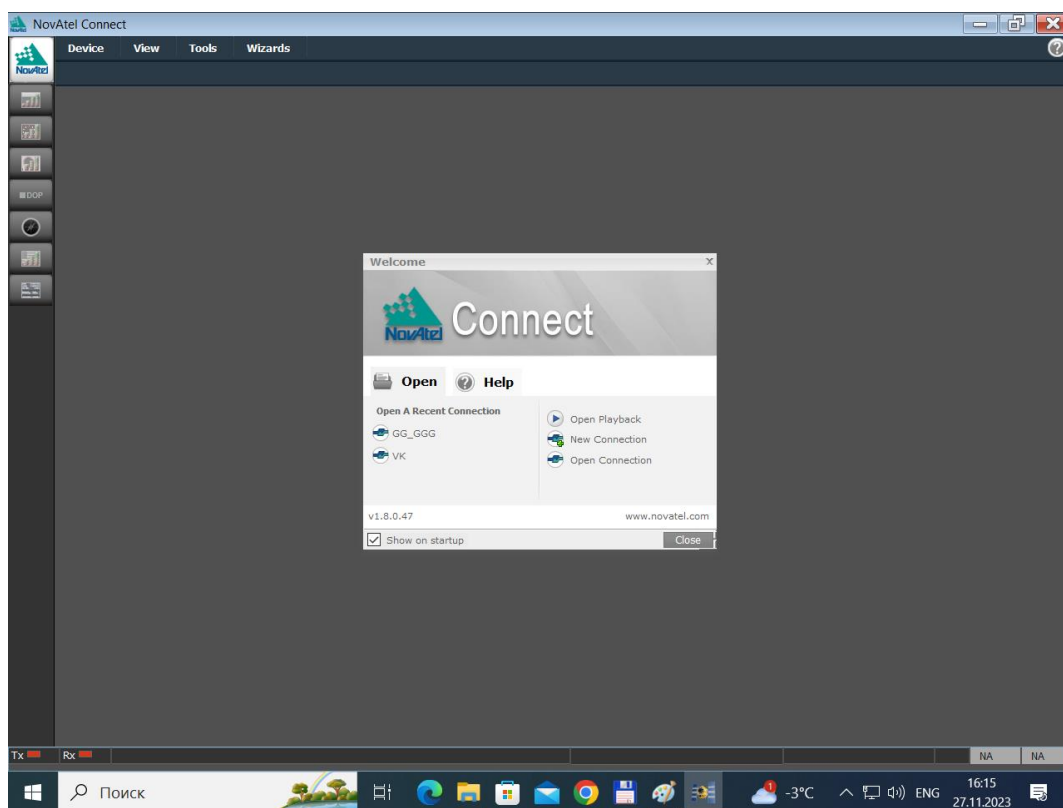


Рисунок 2.1. – Функціональні доповнення

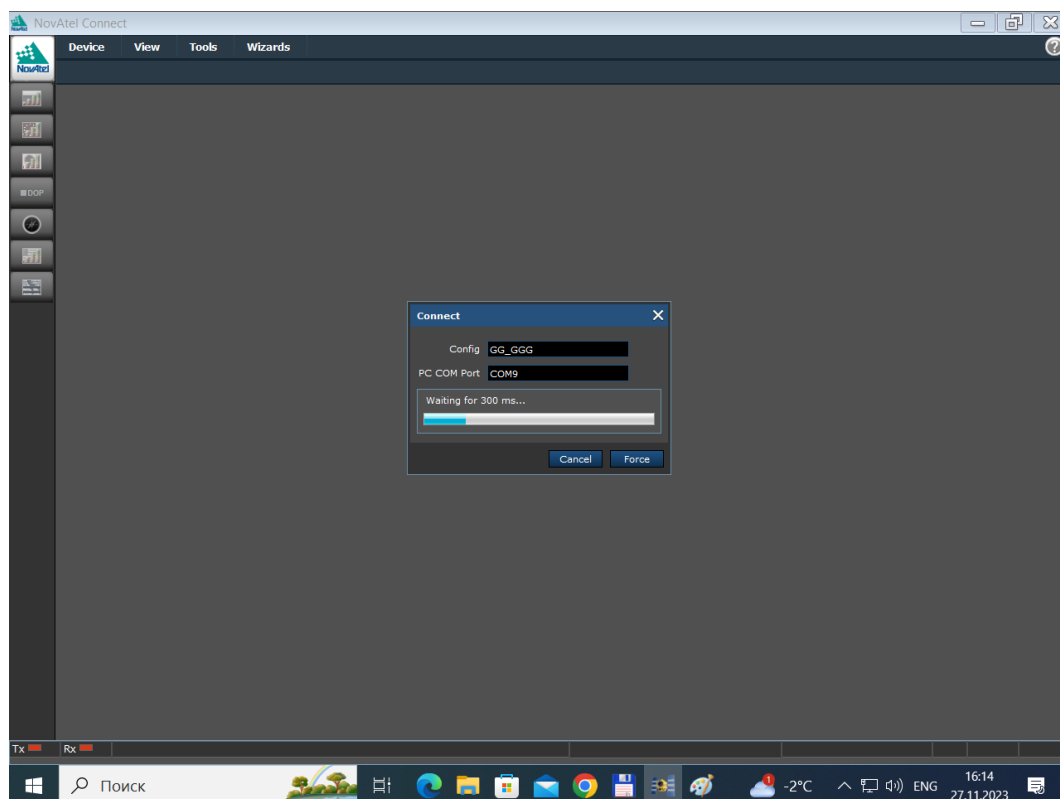
## Практична частина

Практична частина виконувалась у програмі NovAtel Connect.

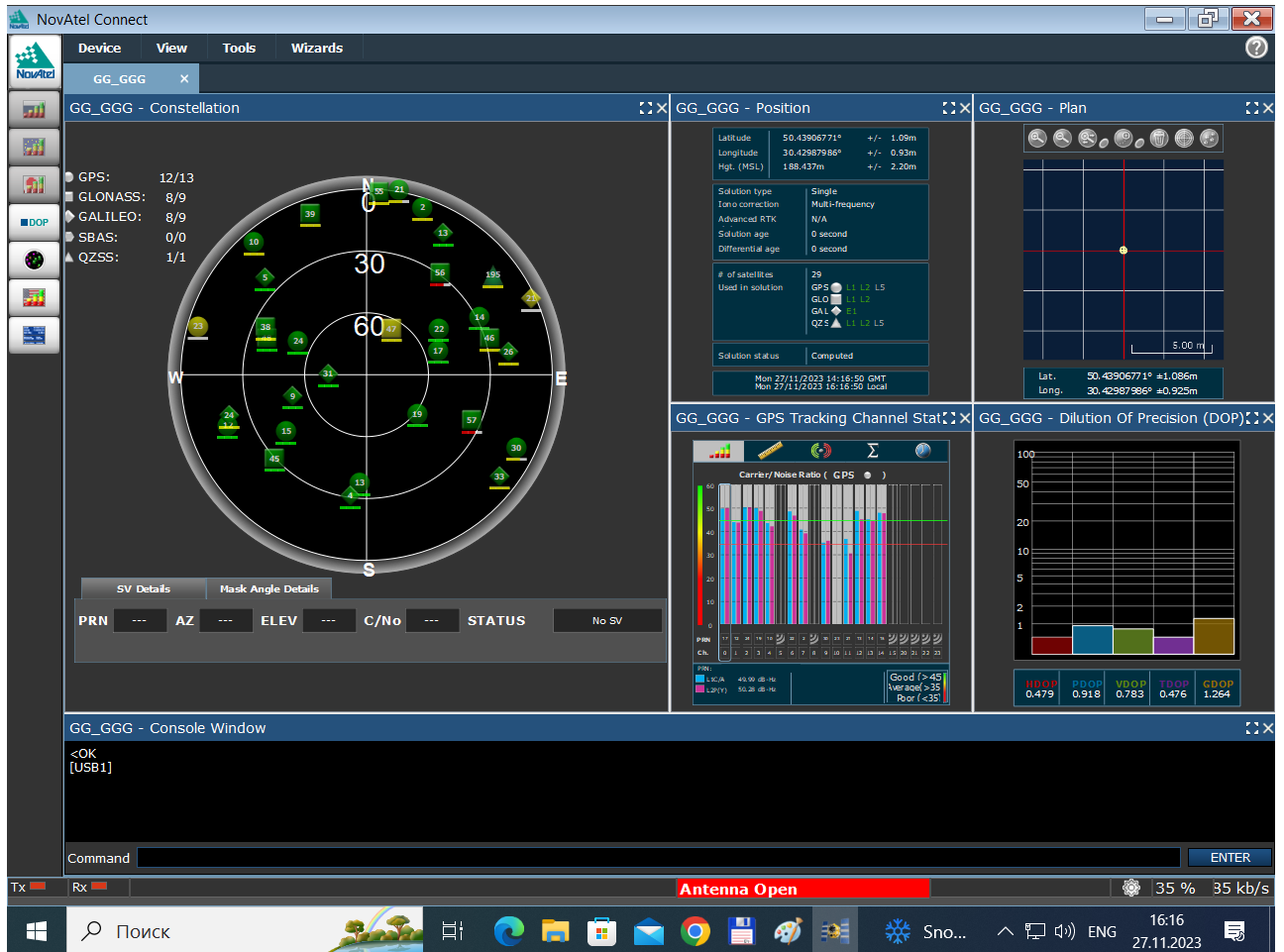
### 1. Підключення приймача.



### 2. Процес підключення.



## 3. Головне вікно.



На цьому слайді зображено головне меню програми NovAtel Connect. На радарі зліва зображено всі супутники в зоні видимості приймача. Сигнали отримуються від супутників GPS, GLONASS, GALILEO та QZSS. З правої сторони відображаються схеми отриманих даних які показують їхню точність, місце знаходження та відхилення у вимірюваннях.

#### 4. Точність вимірювання координат.



Тут ми бачимо показники точності вимірювання місцезнаходження приймача при всіх видимих супутниках. Відхилення становить не більше ніж 1.1м по довготі та широті та 2.25м по висоті.

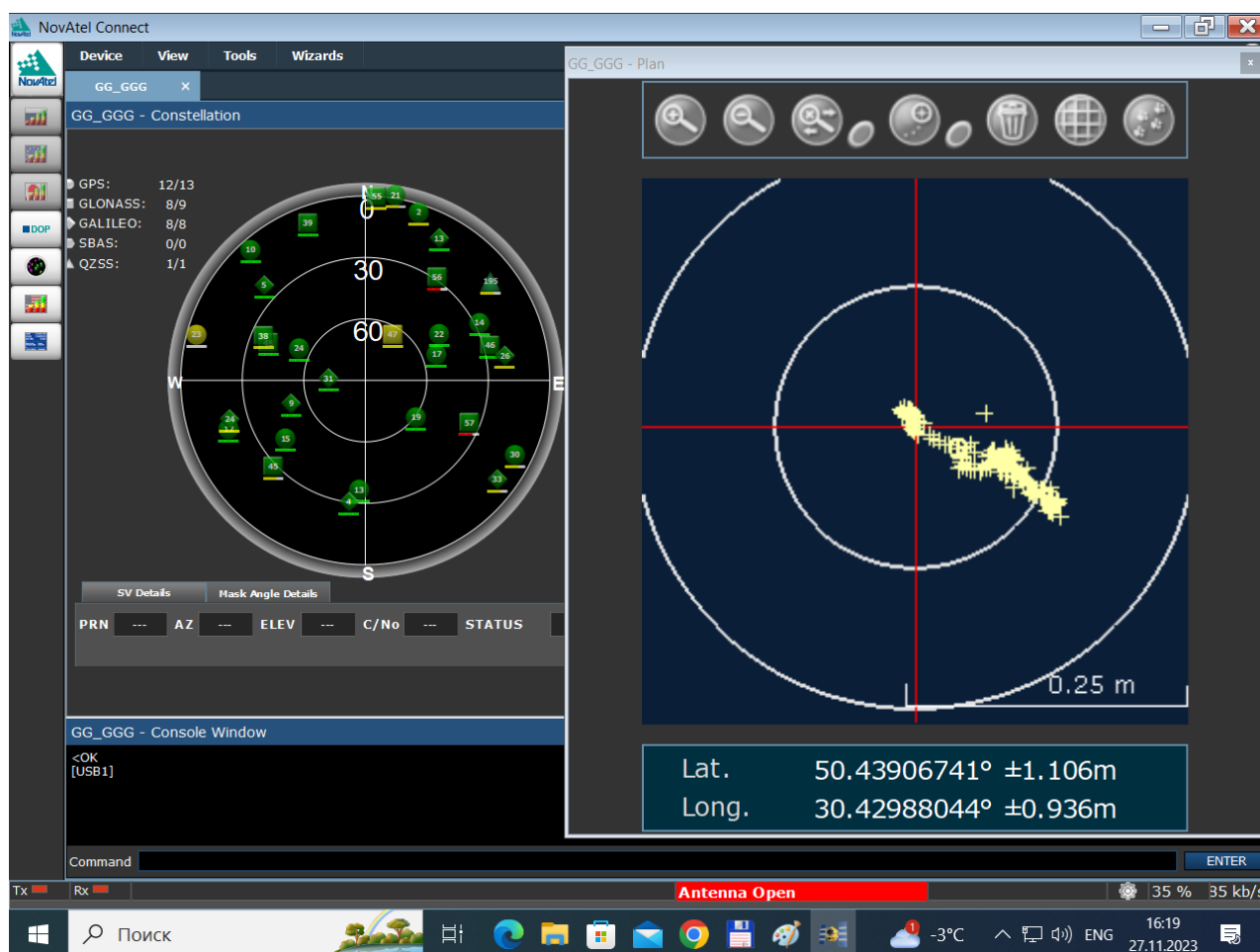
Як відомо, відстань між GPS приймачем і супутниками на орбітах дуже велика, відповідно точність визначення координат розташування залежить від багатьох причин і визначається з певною ймовірністю. Супутникові радіосигнали можуть екрануватися або ж відбиватися різними перепонами, що оточують приймач, які збільшують похибки визначення часу знаходження сигналу і як наслідок спотворюють результати вимірювань [16].

Велике значення, по-перше, мають атмосферні явища і поточне розміщення приймача щодо супутників. Для зменшення похибки визначення місця розташування потрібно, щоб супутники не були згруповані разом, а були віддалені один від одного, щоб сигнал від них надходив з різних сторін. Дуже

великі похибки приймання сигналу виникають зазвичай у великих містах, де екранування відбувається високими будівлями. [16]

Зазвичай точність сучасних приймачів за ідеальних умов у горизонтальній площині 3-8 метрів, і 8-16 у вертикальній, але в разі збільшення часу спостереження це значення може коливатися в більший бік [16].

## 5. Пункт 4 графічно.



На цьому слайді точність зображена графічно.

Геометричні фактори погіршення точності (pdop не має бути більше 6).



Ця таблиця є результатом вимірювання точності, основною колонкою якої є PDOP що і вказує на саму точність. Вимір координат вважається точним доки  $PDOP < 6$ .

## 7. Вимір при куті маски 10 градусів для всіх систем.

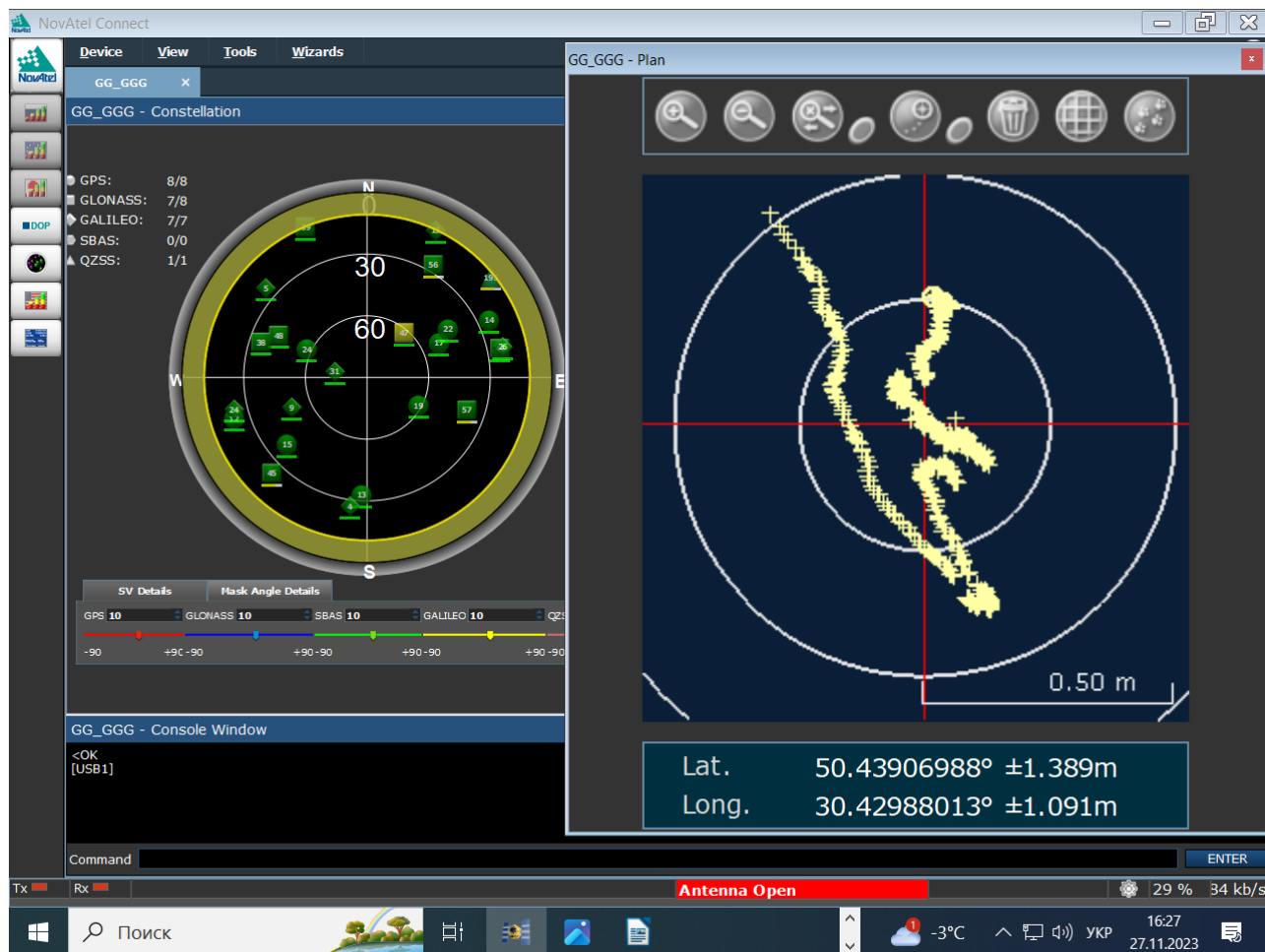


Почнемо давати навантаження на систему та зменшимо кут огляду на  $10^{\circ}$ . Цим кутом ми закрили 4 супутники GPS та по одному супутнику GLONASS та GALILEO. Але можемо побачити що від цього точність зменшилась всього лише на декілька десятих метра.

По всій території США та Канади встановлені станції, також у Європі є встановлені, які трохи зменшують похибку визначення положення і вносять відповідні поправочні дані і тим збільшують точність положення до 1-2 метрів. У деяких випадках у разі використання додаткового обладнання точність може досягати і 20 см. [16]



## 8. Точність пункту 7.



Тут можна графічно побачити як система графічно сприймає наше місцезнаходження при куті затемнення  $10^{\circ}$ .

## 9. Неточність рдоп 7.



Хоч у нас і зникло 6 супутників із зони видимості приймача але можемо побачити що відчутних змін у точності не відбулося.

## 10. Вимір при куті маски 20 градусів для всіх систем.

The screenshot displays the NovAtel Connect interface. The main window shows the satellite constellation for device GG\_GGG. The constellation diagram indicates 20 satellites are used in the solution, with a mask angle of 20 degrees. The position data is as follows:

Parameter	Value	Accuracy
Latitude	50.43906746°	+/- 1.59m
Longitude	30.42987973°	+/- 1.11m
Hgt. (MSL)	188.335m	+/- 3.27m

The solution details are:

Solution type	Single
Iono correction	Multi-frequency
Advanced RTK	N/A
Solution age	0 second
Differential age	0 second

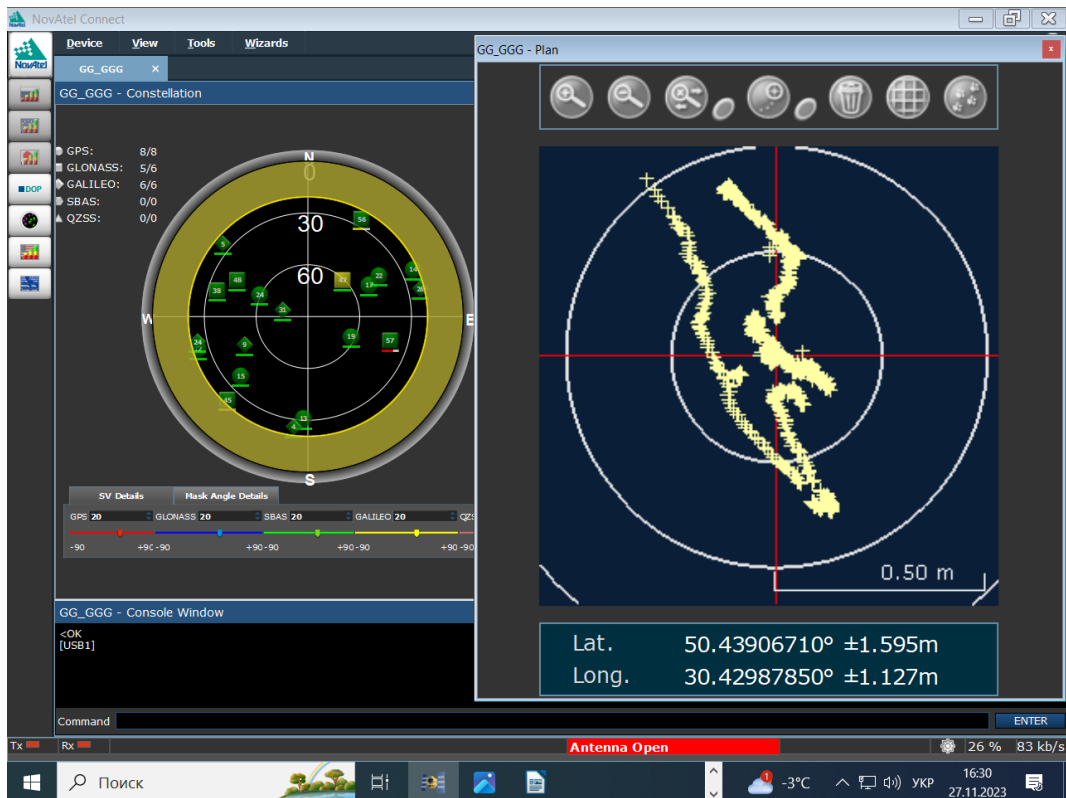
The number of satellites used in the solution is 20, with the following breakdown:

GPS	L1 L2 L5
GLO	L1 L2
GAL	E1
QZS	L1 L2 L5

The solution status is "Computed". The timestamp is Mon 27/11/2023 14:29:52 GMT (Mon 27/11/2023 16:29:52 Local).

Продовжимо зменшувати кут видимості та додамо ще  $10^{\circ}$ . Тобто загальний кут маски зараз становить  $20^{\circ}$  що забирає з поля зору ще 3 супутники але це також дає відхилення всього лише на декілька десятих метра.

## 11. Точність 10.



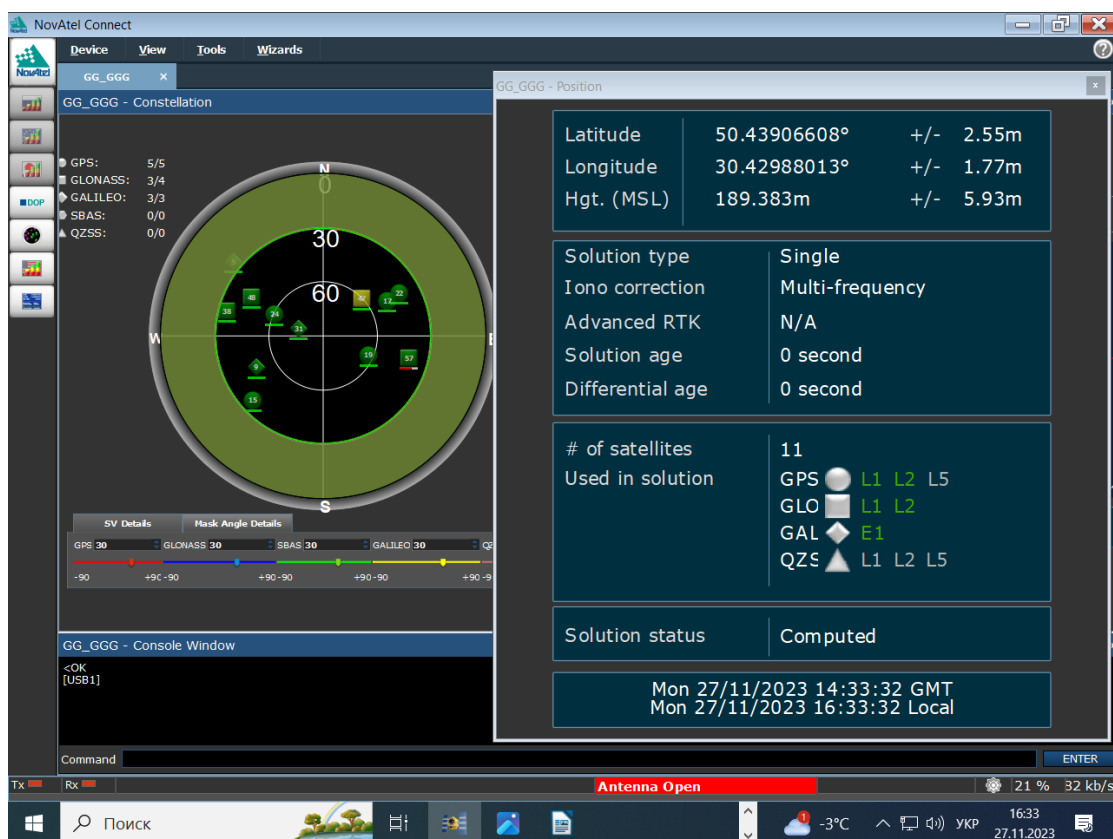
Точність при затіненні 20°.

## 12. Неточність рдоп 10.



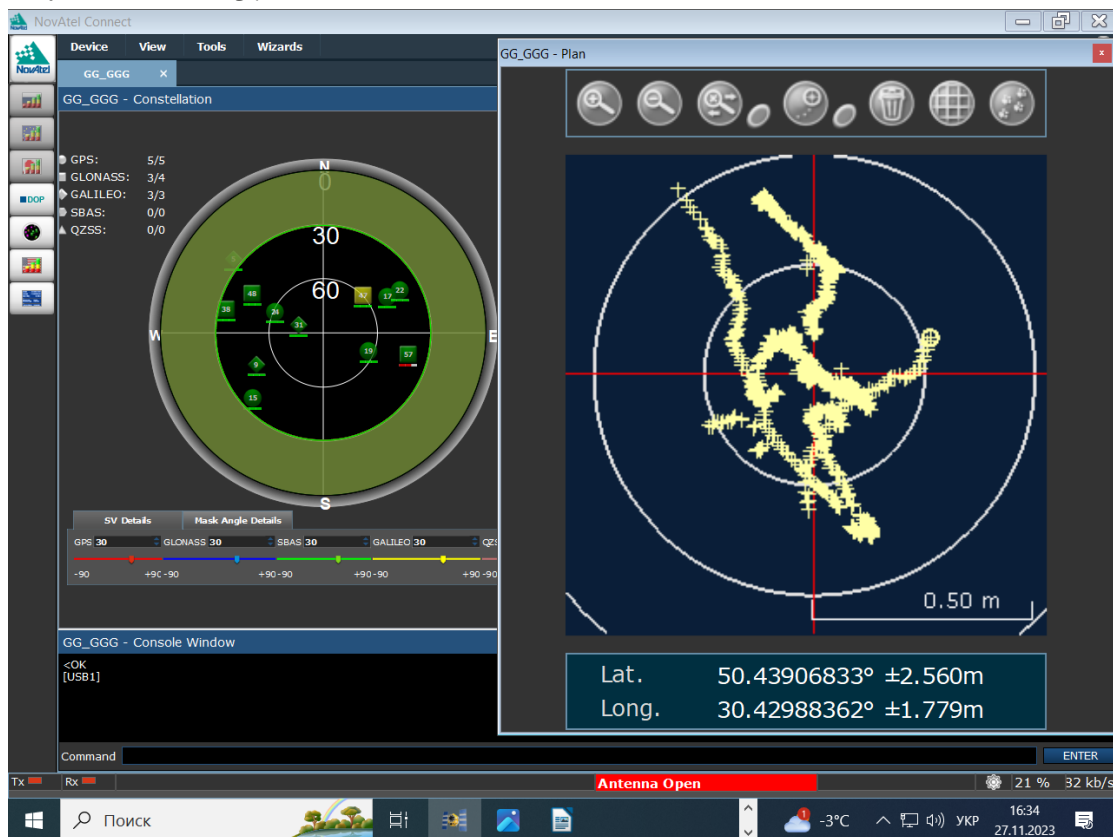
PDOP також збільшився на незначну кількість що все ще дає нам змогу доволі точно вимірювати позицію.

### 13. Вимір при куті маски 30 грд для всіх систем .



Повторюємо туж саму операцію але збільшуємо кут до 30°. В зоні видимості вже залишається всього 11 супутників з 29 які були напочатку. Навіть при затіненні більш ніж половини супутників маємо доволі непогані показники.

## 14. Точність 13.



Відхилення візуально.

## 15. Неточність рдор 13.



PDOP також збільшився але все ще дає нам змогу доволі точно вимірювати позицію.

## 16. Вимір при куті маски 40 градус для всіх систем.



Збільшуємо кут маскування до  $40^{\circ}$ . В зоні видимості залишається всього 7 супутників але ми все ще можемо виміряти місцезнаходження.

## 17. Точність 16.



Відхилення візуально.

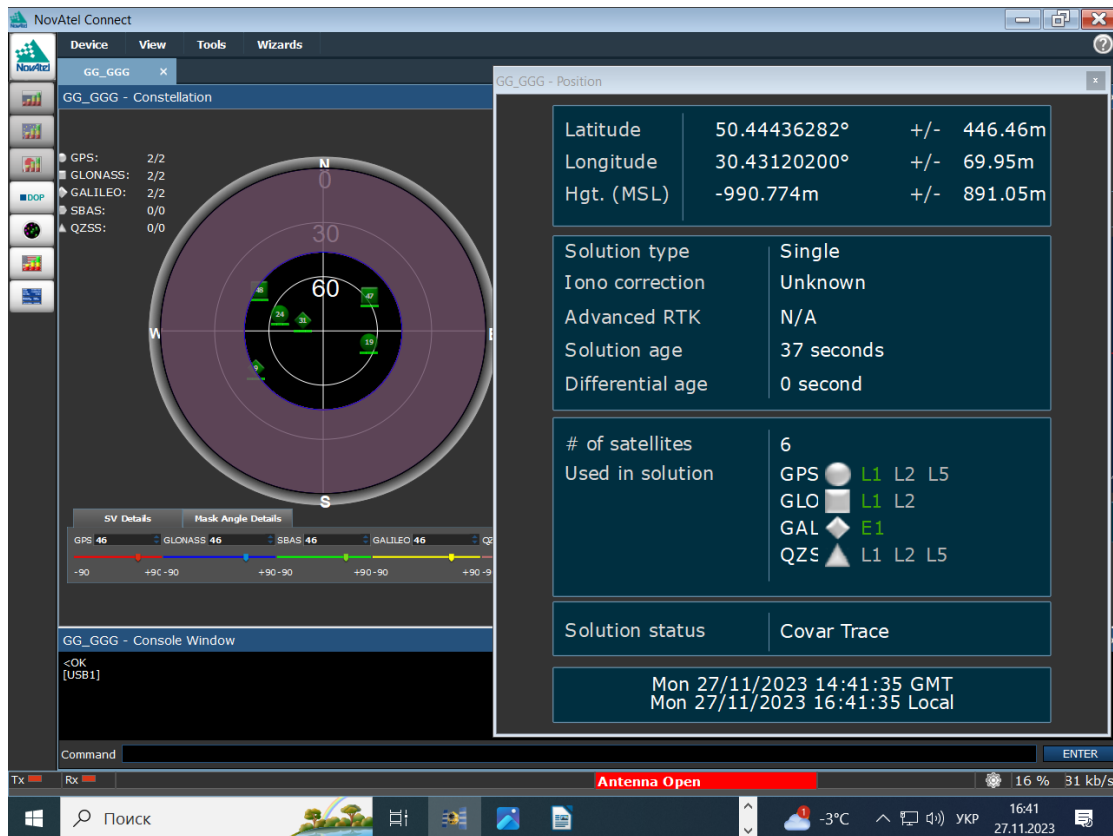
## 18. Неточність рдоп 16.



PDOP наближається до точки зриву але все ще маємо сигнал.



Вимір при куті маски 46 град для всіх систем (при 45 рдор був до 6).



Максимальний кут маскування при якому ще можна було визначити положення приймача становив 45°. При 46° маскування залишилося всього 6 супутників з 29 та похибка стала занадто великою для продовження вимірювання.

## 20. Точність 19.



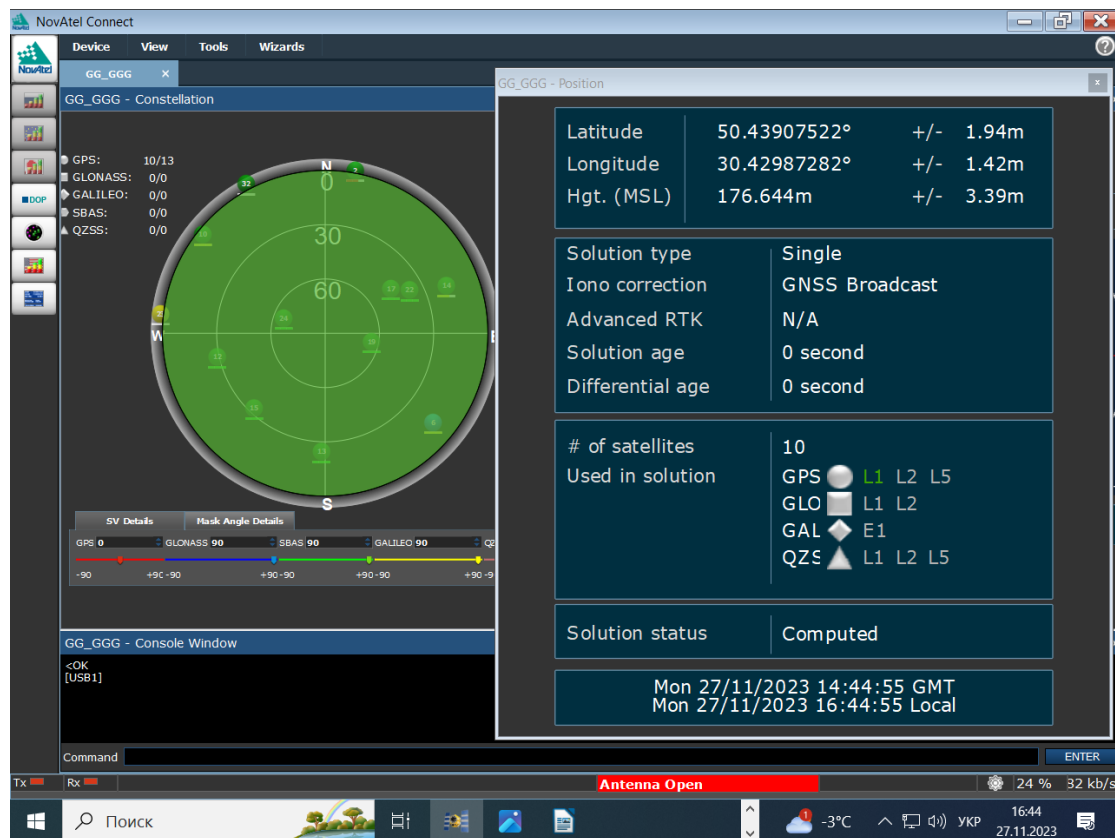
Відхилення візуально.

## 21. Неточність рдор 19.



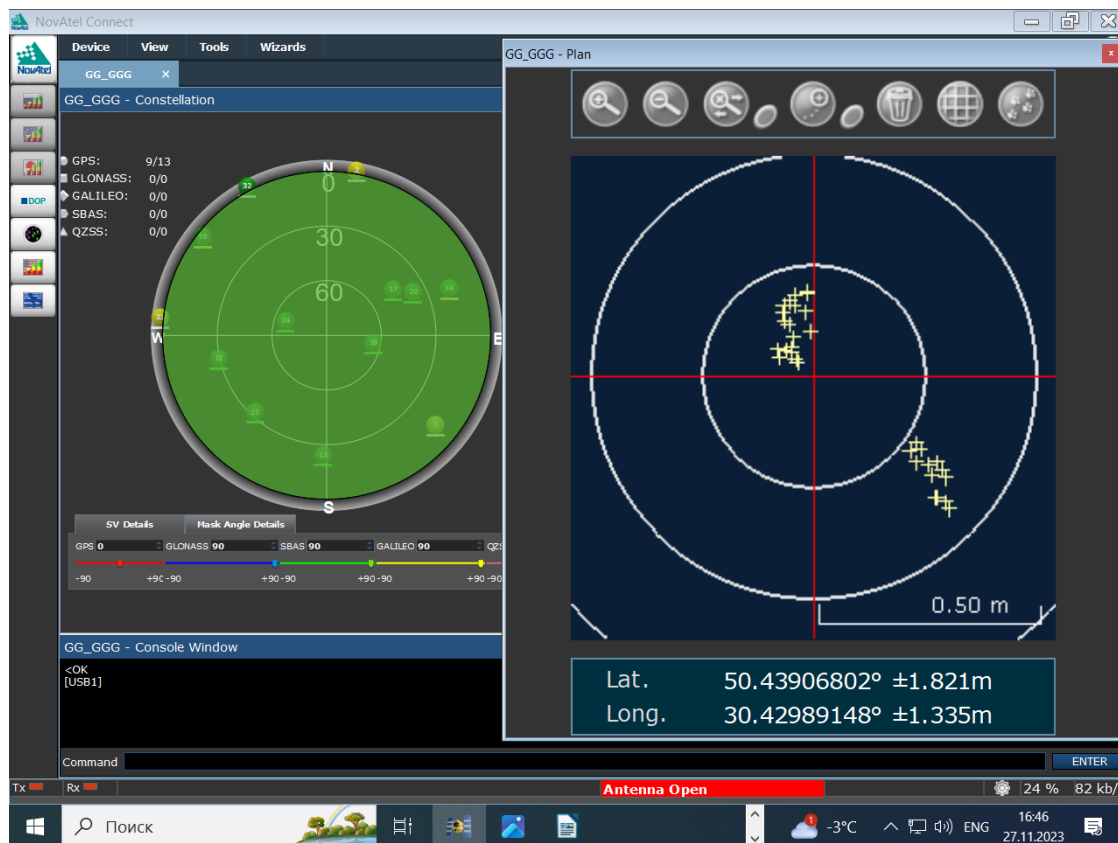
При куті маскування  $46^{\circ}$  маємо зрив PDOP та відхилення стає дуже великим.

## Вимір при куті маски 0 грд для GPS.



Тепер окремо розглянемо систему GPS яка є найпоширенішою у світі системою навігації. Нарізі нам доступно 10 супутників які дають гарні показники точності.

## 23. Точність 22.



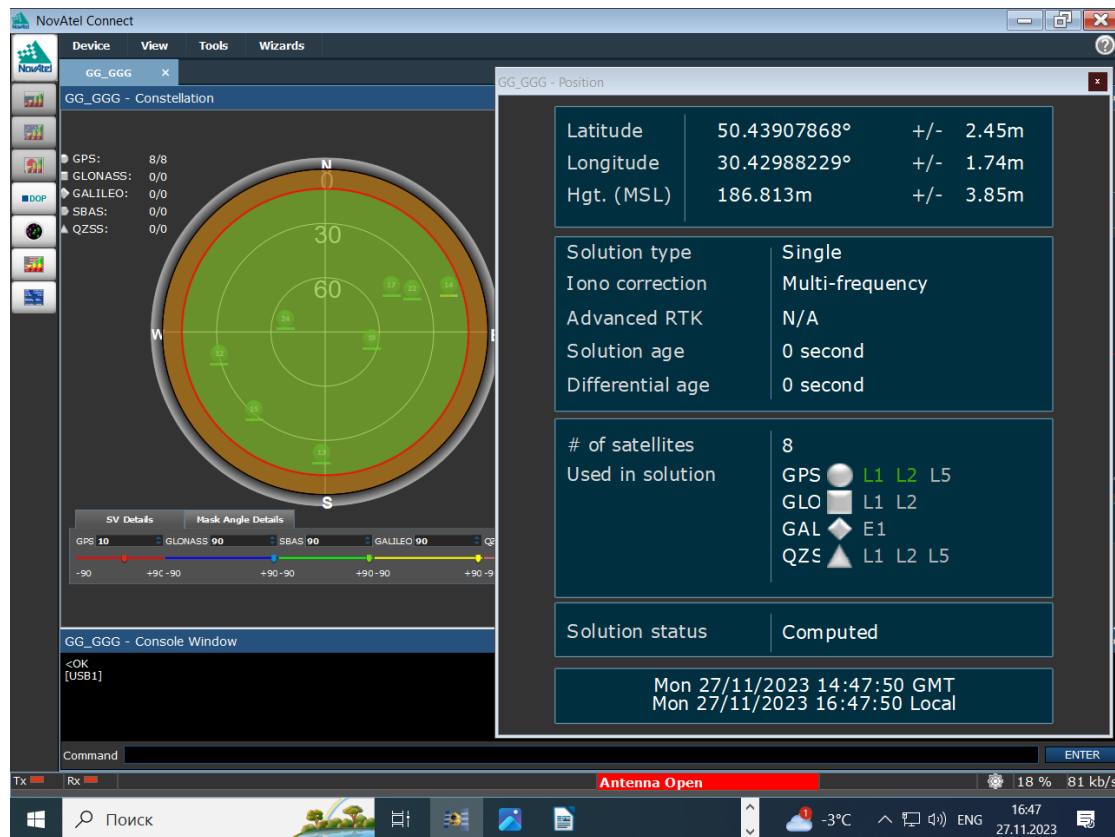
Візуальне зображення точності.

## 24. Неточність рдоп 22.



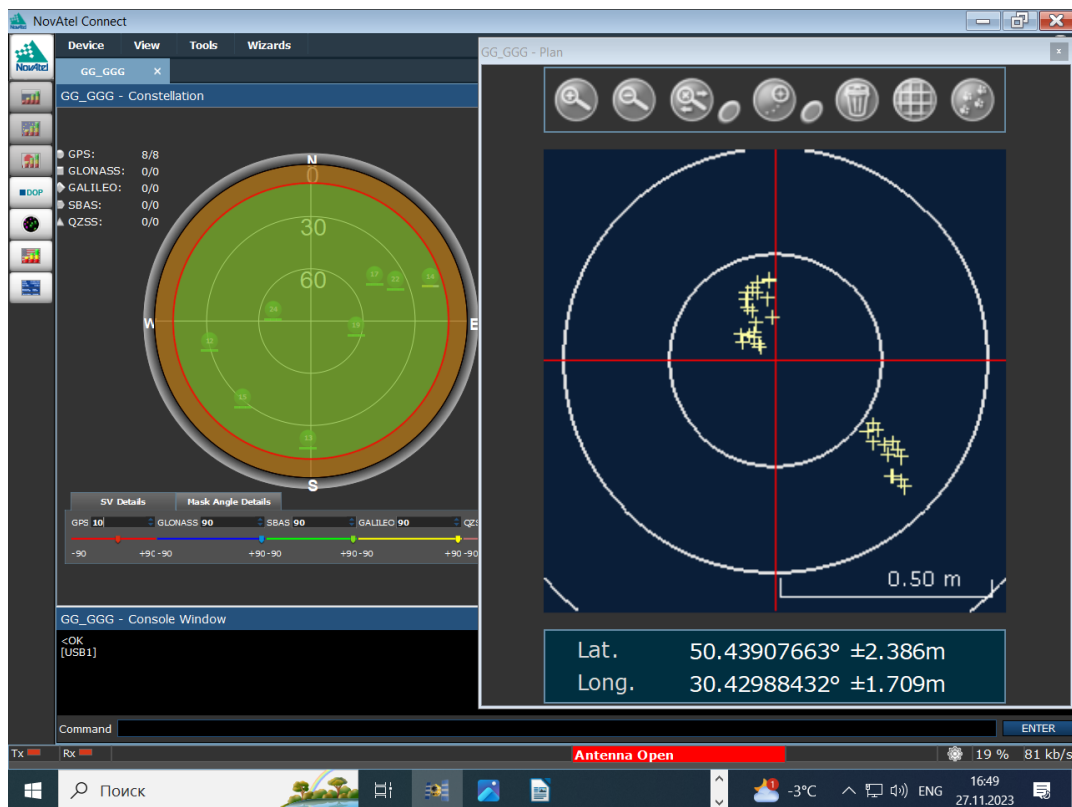
PDOP = 1.286 що доволі гарний показник точності.

Вимір при куті маски 10 градус для GPS.



Почнемо збільшувати кут маски з  $10^{\circ}$ . Як бачимо ми відразу втрачаємо 3 супутника з поля зору що відразу відображається на точності вимірювання.

## 26. Точність 25.



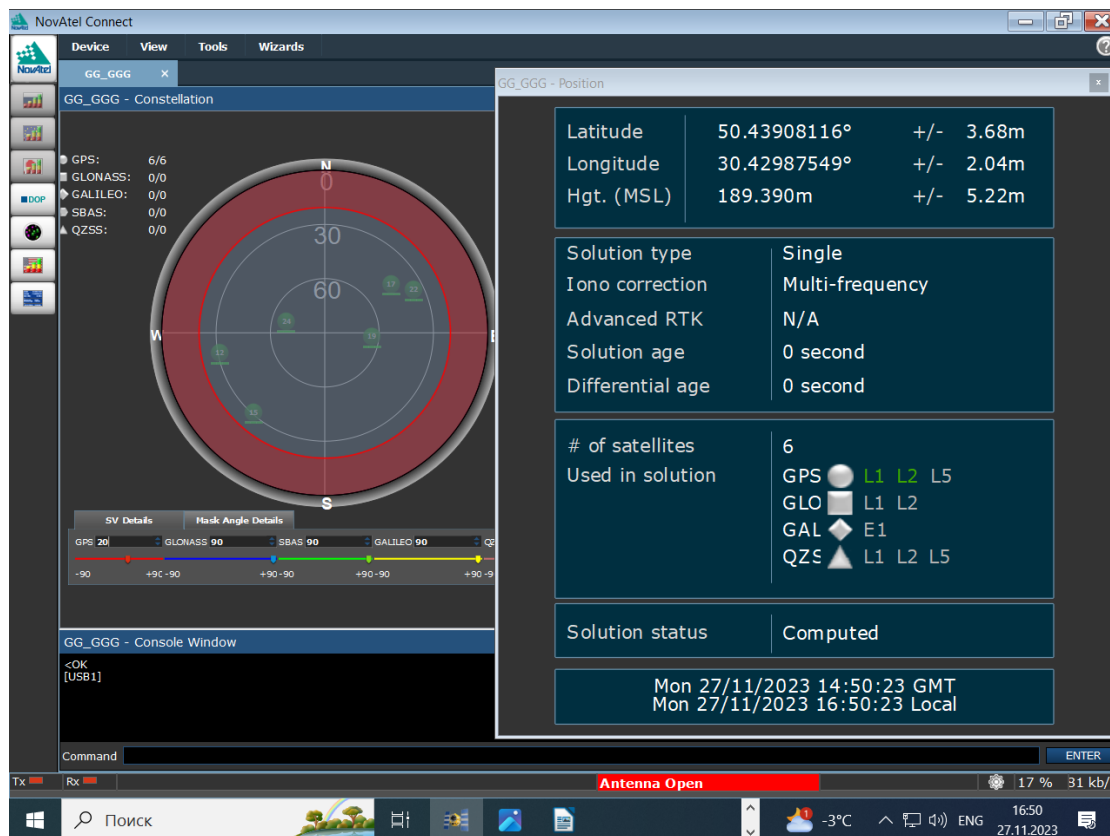
Точність візуально.

## 27. Неточність рдор 25.



PDOP збільшився майже вдвічі.

## 28. Вимір при куті маски 20 грд для GPS.



Збільшуємо кут до 20°.

## 29. Точність 28.



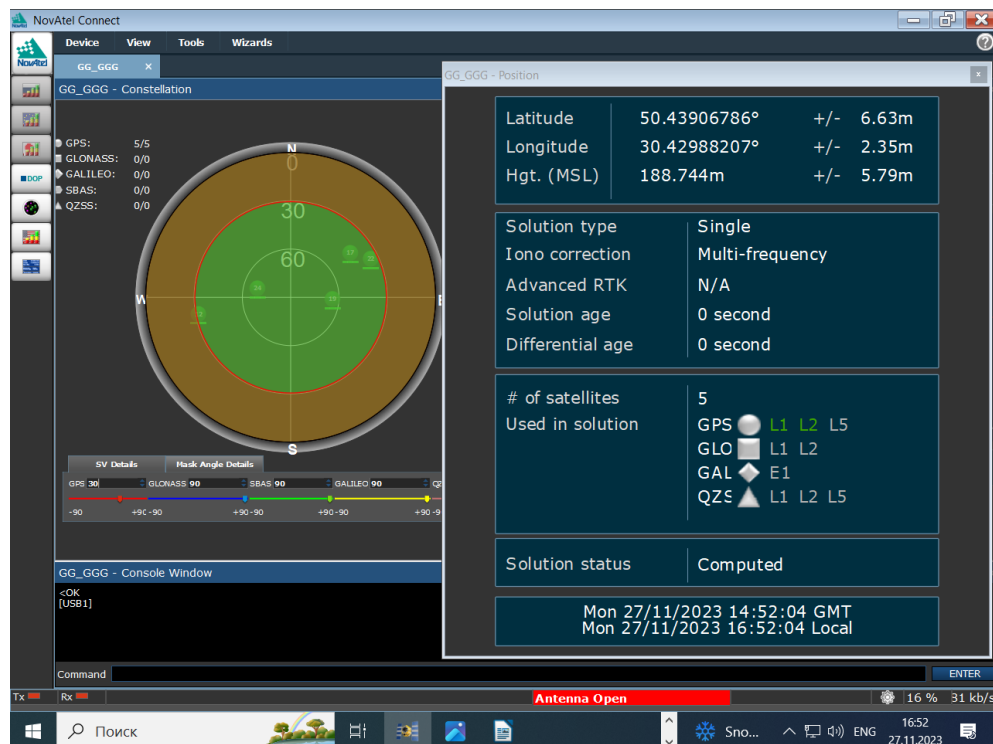
Точність візуально.

### 30. Неточність рдор 28.



Тут ми можемо побачити що PDOP збільшився вже більше ніж вдвічі порівняно з кутом маски 10°.

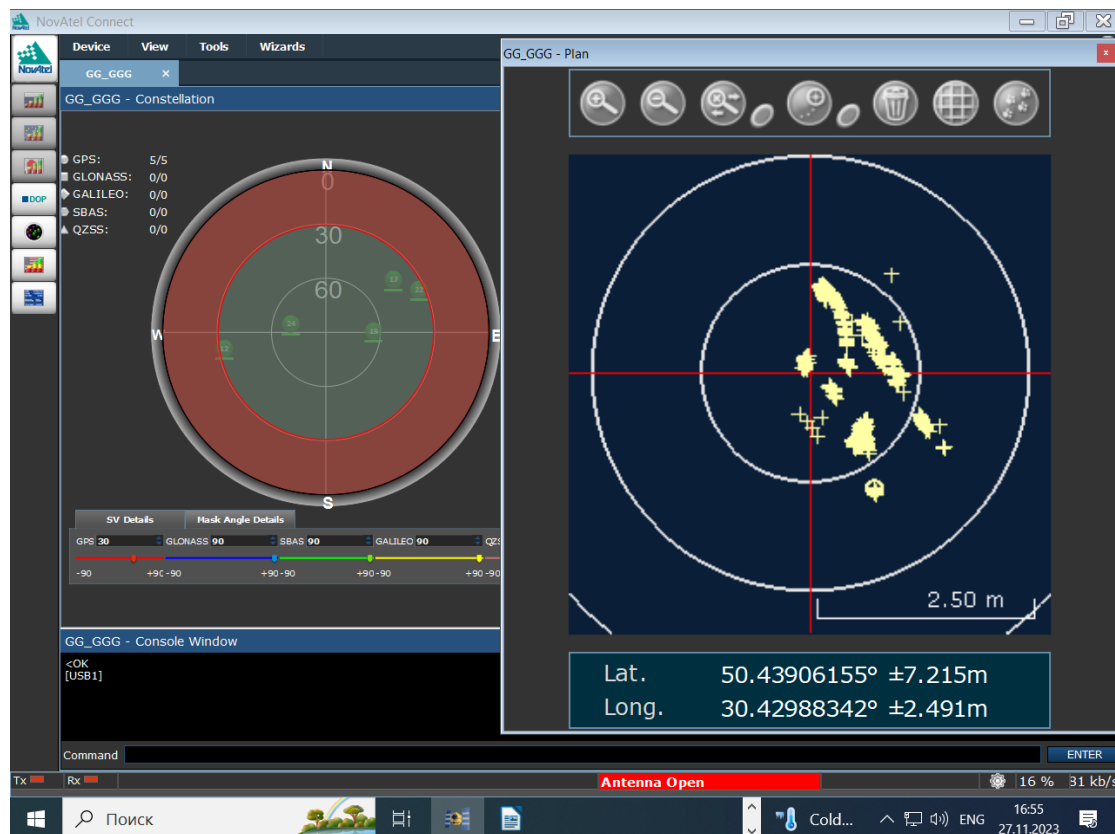
### 31. Вимір при куті маски 30 град для GPS.



Збільшуємо кут до 30°. Як бачимо в зоні видимості залишилося всього 5 з 10 супутників.



### 32. Точність 31.



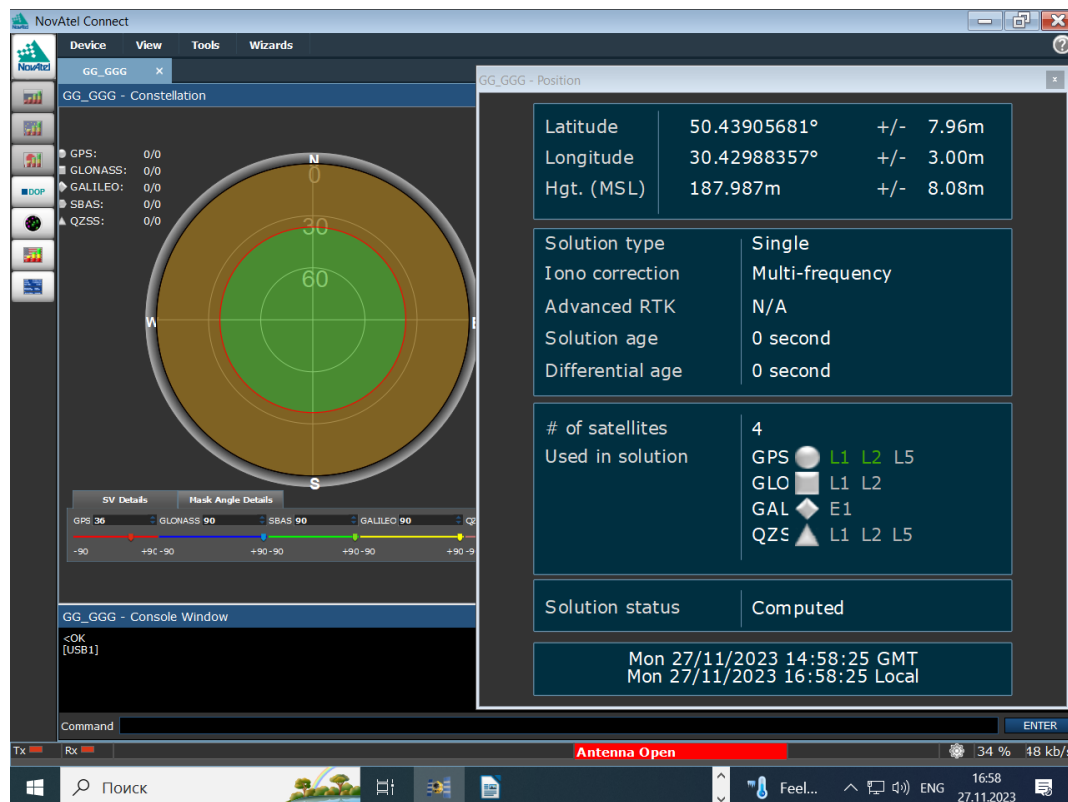
Візуально можна побачити наскільки погіршилась точність сигналу.

### 33. Неточність рдоп 31.



PDOP також збільшився.

### 34. Вимір при куті маски 36 град для GPS.



Максимальний кут маски для системи GPS Становив 36°.

### 35. Точність 34.



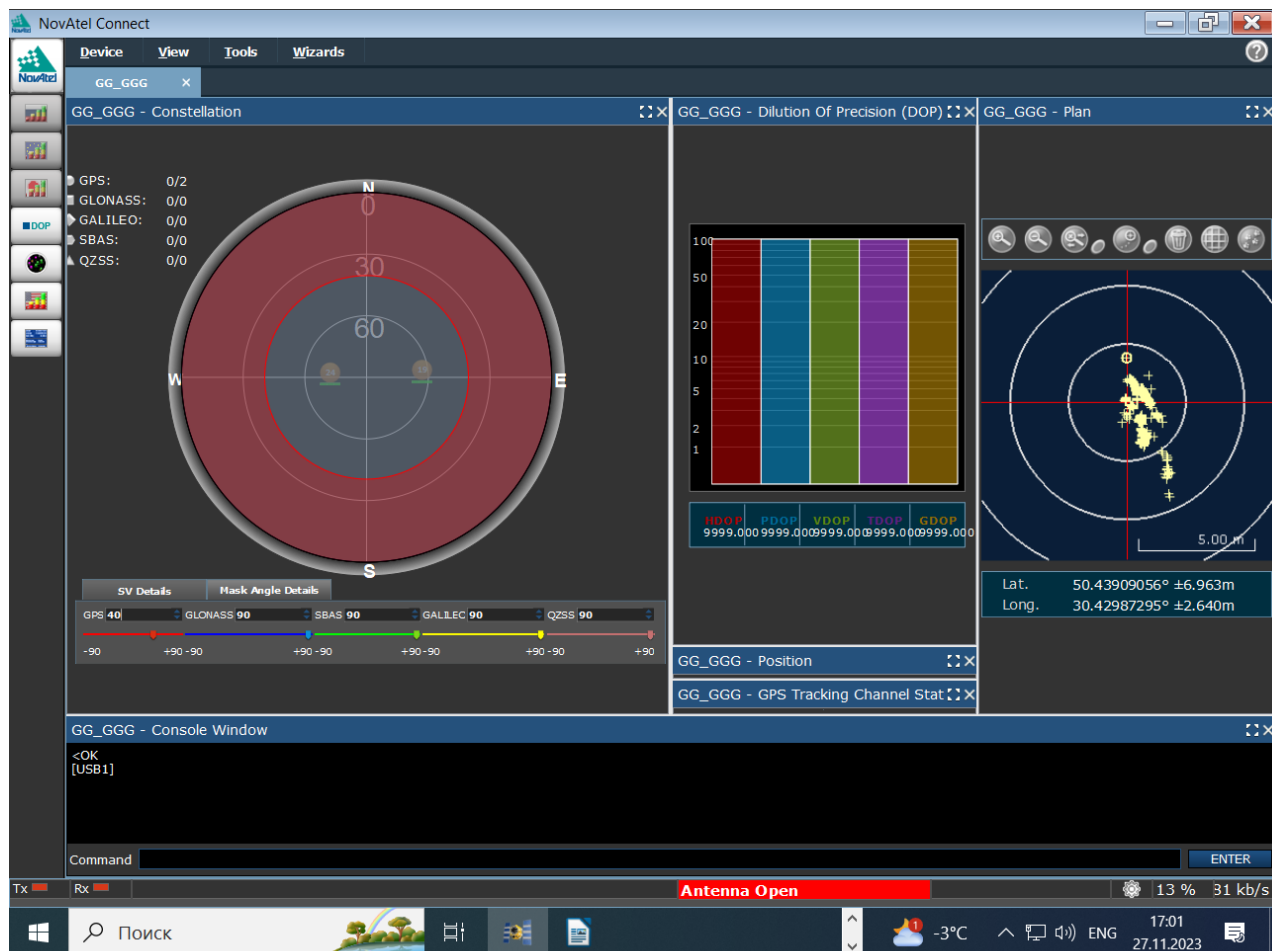
Точність візуально.

### 36. Неточність рдоп 34.

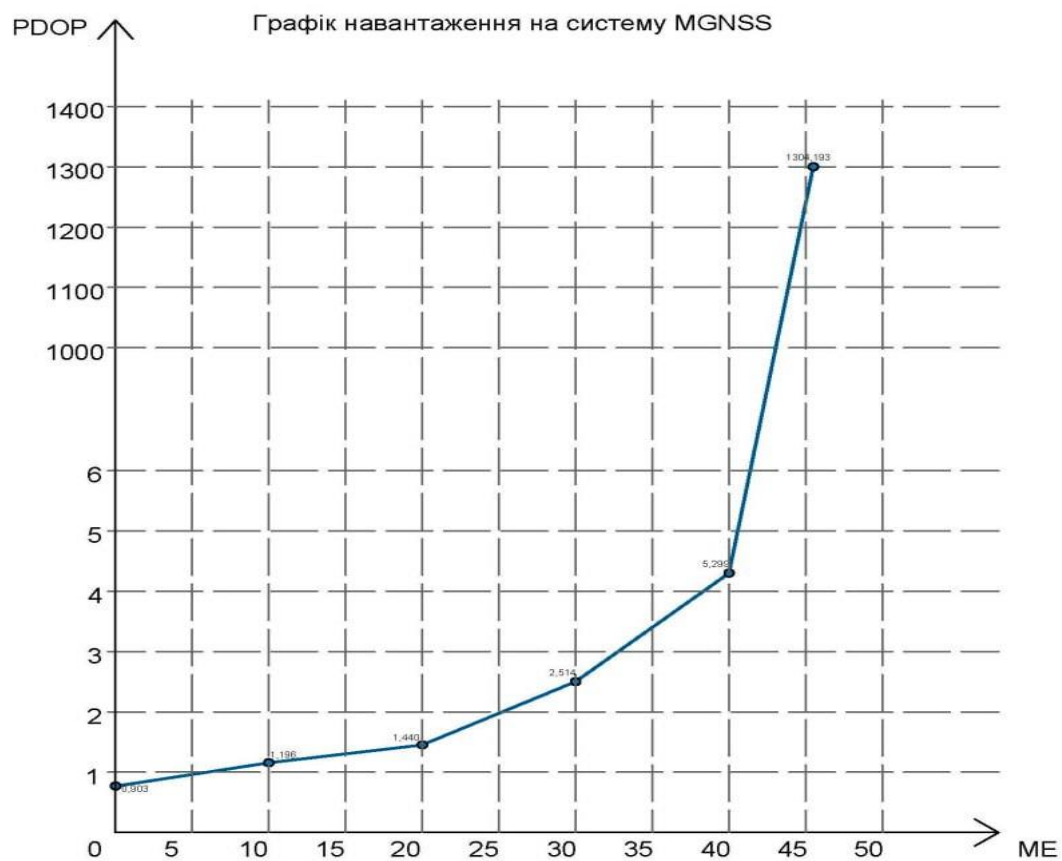


PDOP доходить до свого максимального показнику при якому ще можливо вимірювати координати хоч і з великою похибкою.

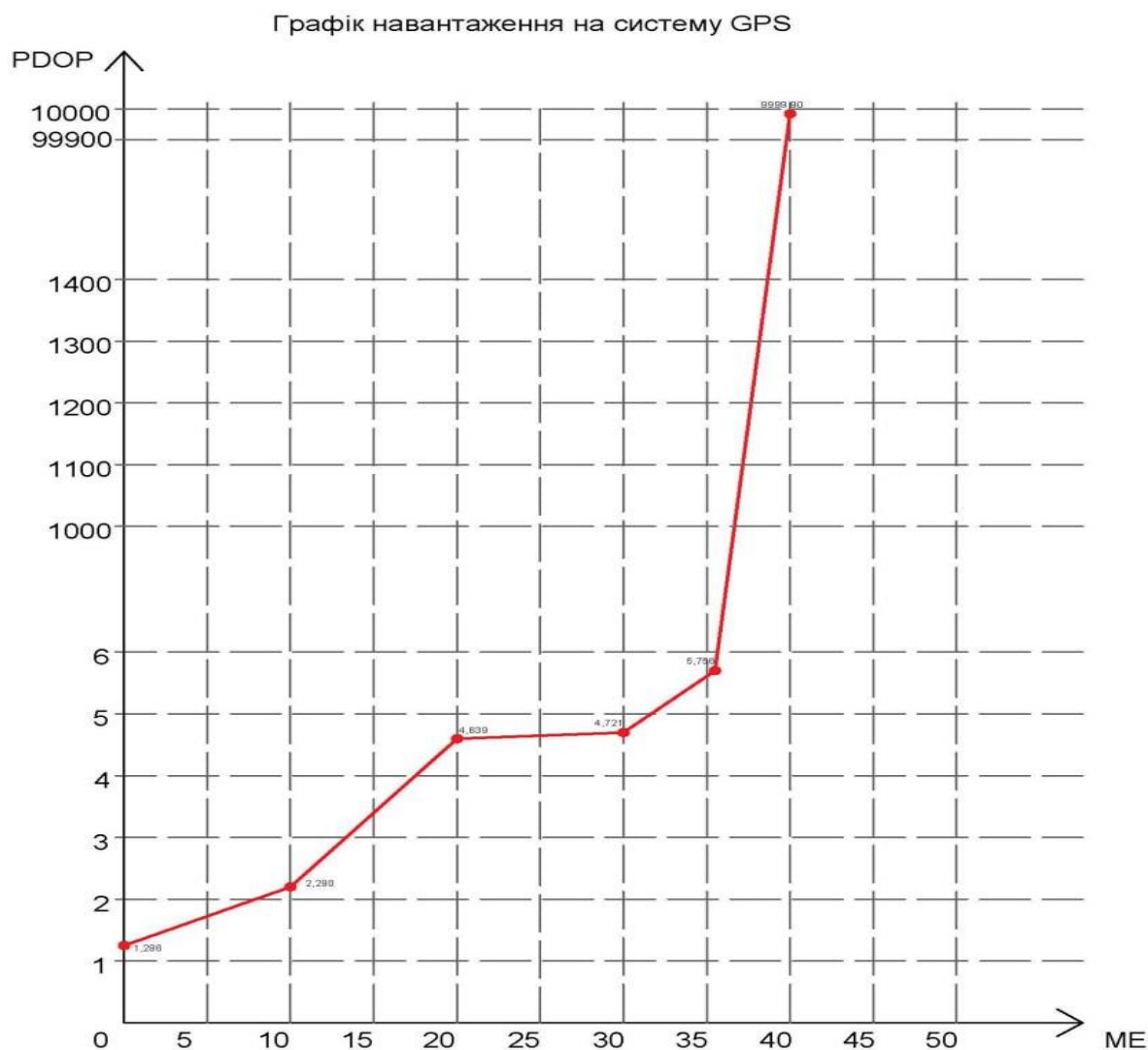
## 37. Зрив GPS.



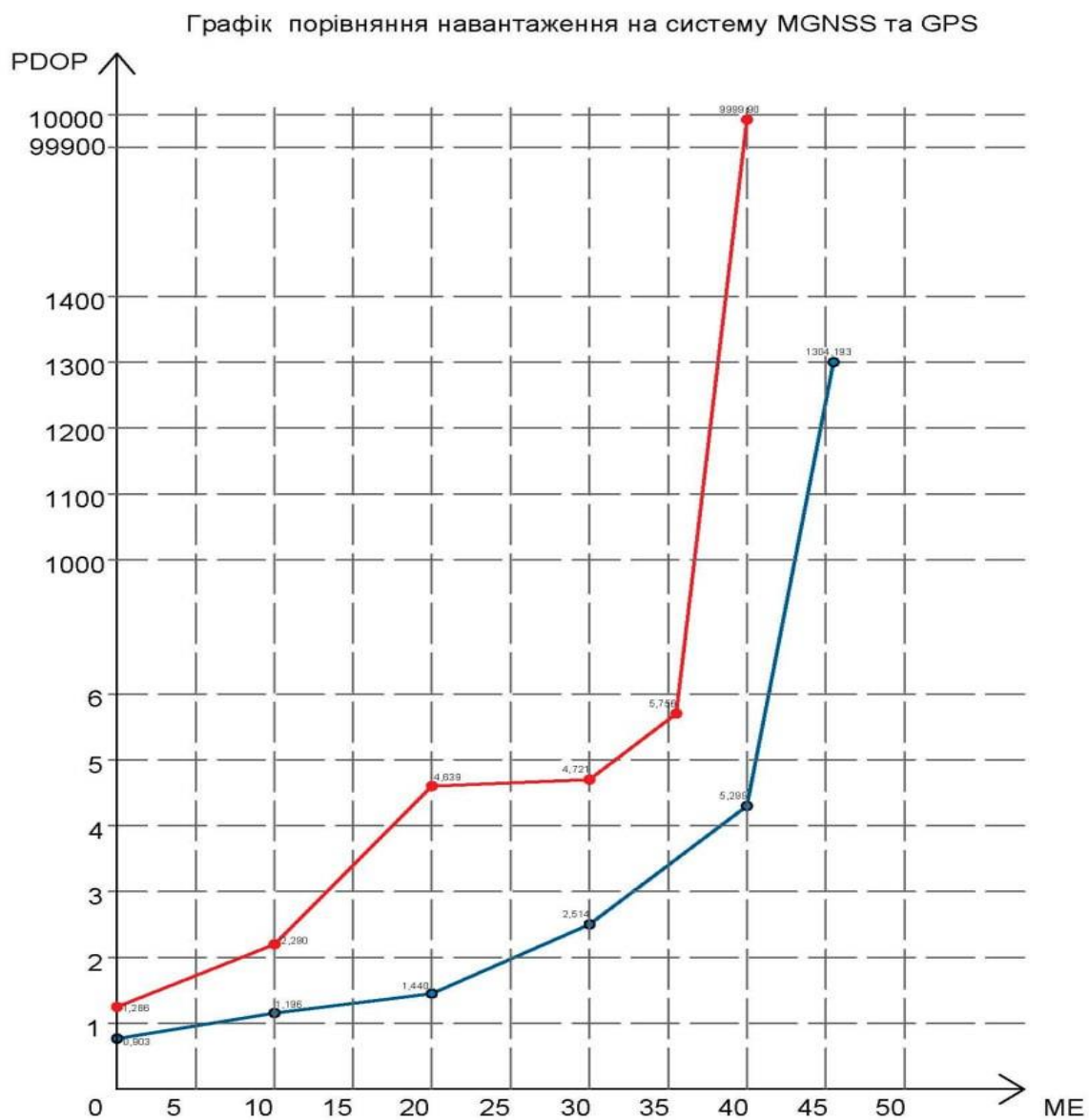
При куті маски  $40^\circ$  у зоні видимості приймача не залишилось жодного супутника та сигнал було втрачено.



На цьому зображенні можна графічно розглянути як змінювалась точність сигналу при використанні MGNSS.



На цьому зображенні можна графічно розглянути як змінювалась точність сигналу при використанні лише системи GPS.



Графічне порівняння використання систем MGNSS та GPS. Можна чітко побачити що при збільшенні кута маски система MGNSS краще справлялась з навантаженням та не так різко збільшувалась похибка вимірювання.

## Обладнання що застосовувалось.



### GPS-703-GGG-HV

GPS-703-GGG-HV приймає L1, L2, L5 GPS; L1, L2, L3 ГЛОНАСС; Частоти B1, B2a, B2b/B2l BeiDou та E1, E5a/b Galileo. Клієнти можуть використовувати ту саму антену лише для GPS, подвійного або потрійного сузір'я, що забезпечує підвищену гнучкість і зниження вартості обладнання. GPS-703-GGG-HV підходить для використання в умовах високої вібрації.

Фазовий центр цієї антени залишається постійним, оскільки змінюються азимут і кут місця супутників. На прийом сигналу не впливає обертання антени або висота супутника, тому розміщення та встановлення антени можна легко завершити. Ця антена ідеально підходить для базових ліній будь-якої довжини, оскільки фазовий центр знаходиться в одному місці для сигналів GNSS і з мінімальною варіацією фазового центру між антенами.





### PwrPak7

PwrPak7 — це компактний корпус, який забезпечує масштабовану глобальну навігаційну супутникову систему (GNSS) із внутрішньою пам'яттю та опціями INS.

PwrPak7 здатний відстежувати всі наявні та майбутні сузір'я GNSS і супутникові сигнали. Він також пропонує додаткову вбудовану підтримку INS для безперервного визначення положення, швидкості та положення протягом коротких періодів збою GNSS.

Завдяки потужному механізму GNSS, вбудованій підтримці клієнтів і серверів NTRIP v1.0 і v2.0, 16 ГБ внутрішньої пам'яті та розширеним параметрам підключення, включаючи послідовний, USB, CAN і Ethernet, PwrPak7 ідеально підходить для додатків базової станції або ровера.

## Висновок до розділу 2

**Висновок:** У підсумку, можна стверджувати, що мульти-GNSS, як важливий технічний засіб для систем RNAV та PBN, виявляє себе як ключовий елемент у покращенні ефективності та безпеки авіаційного руху. Його висока точність і надійність дозволяють авіаційній галузі не лише оптимізувати маршрути та забезпечувати точне приземлення, але й відкривають нові перспективи для розвитку різних типів польотів.

Проте важливо враховувати, що практична інтеграція мульти-GNSS у системи RNAV та PBN вимагає систематичного підходу. Питання сумісності, точності, синхронізації та управління даними потребують спеціальної уваги при впровадженні. На сьогоднішній день багато країн активно працюють над розробкою методик для повного переходу на систему MGNSS, спираючись на його переваги у плані оптимізації авіаційних операцій.

Мульти-GNSS у сфері авіації є актуальним та перспективним напрямком, проте вимагає подальших досліджень та оптимізації для максимальної вигоди в авіаційних операціях.

## **РОЗДІЛ 3: Стратегічні цілі**

### **3.1 Стратегічний план розвитку мульті-GNSS в Україні**

Відповідно до підходів, запропонованих ІКАО, Державіаслужбою України визначені такі стратегічні цілі розвитку аеронавігаційної системи України до 2025 року в контексті PBN:

- підвищення рівня безпеки польотів шляхом одночасного застосування кількох супутникових сузір'їв GNSS разом із використанням наземної навігаційної інфраструктури в якості резерву;
- скоординований розвиток системи CNS/ATM із застосуванням новітніх технологій у сфері ATM, що забезпечуються перевагами від використання сучасних та перспективних систем CNS;
- підвищення доступності аеродромів шляхом застосування процедур заходження на посадку за приладами за APV з використанням GNSS;
- підвищення економічної ефективності шляхом впровадження операцій безступінчастого зниження (CDO), повітряного простору вільних маршрутів (FRA) і практики забезпечення очікуваного часу прибуття (ETA);
- здійснення захисту навколишнього середовища за рахунок зниження шкідливих викидів в атмосферу, зменшення шумового забруднення.

Впровадження PBN в Україні – один із ключових компонентів, що дозволить реалізувати вищезазначені стратегічні цілі через застосування операцій із використанням специфікацій RNAV або RNP згідно з регіональними планами ІКАО з впровадження PBN в європейському регіоні (регіон ІКАО EUR). Для успішного впровадження PBN в Україні необхідне виконання таких заходів:

- прийняття стратегії впровадження PBN високого рівня з визначенням меж впровадження PBN до 2025 року;
- встановлення операційних вимог до реалізації PBN;
- проведення аналізу доцільності впровадження специфікацій RNAV і/чи RNP з точки зору отримання переваг та витрат для кожного сектору (секторів) повітряного простору, де планується впровадження PBN;

- планування досягнення необхідного рівня оснащення повітряних суден для отримання операційних переваг від впровадження PBN.

(Державна авіаційна служба України).

### **3.2 Стратегія розвитку.**

З погляду наукових та технічних досліджень, важливим аспектом подальшого розвитку авіаційної галузі є інтеграція та використання мульті-глобальних навігаційних супутникових систем (мульті-GNSS) у системах навігації зонової (RNAV) та системах базованої на продуктивності (PBN). Дослідження у цьому напрямку визначає не лише практичне застосування новітніх технологій, а й формулює стратегічні цілі для подальшого вдосконалення авіаційних операцій.

Першою ключовою стратегічною метою є покращення ефективності авіаційних операцій. Використання мульті-GNSS дозволяє оптимізувати маршрутне планування, зменшуючи час в польоті та збільшуючи загальну швидкість повітряних суден. Зокрема, дослідження фокусуються на розробці методик для мінімізації пального, завдяки точному визначенню маршрутів та оптимізованому управлінню паливом споживанням. Це може призвести до суттєвих економічних вигод та зменшення впливу авіаційної галузі на довкілля.

Друга стратегічна ціль стосується підвищення безпеки авіаційних рухів. Використання мульті-GNSS забезпечує високу точність визначення місцезнаходження, що є ключовим для уникнення колізій та загальної підвищення безпеки польотів. Дослідження також спрямовані на розробку та впровадження систем попередження зіткнень, базованих на даних від мульті-GNSS, що може подальше знизити ризики аварій та інцидентів.

Третя стратегічна ціль полягає в глобальному охопленні та інтеграції. Розширення глобального охоплення мульті-GNSS дозволяє забезпечити високоякісні навігаційні послуги у всіх регіонах світу. Також важливо розробляти міжнародні стандарти та нормативи для використання мульті-GNSS у системах RNAV та PBN, забезпечуючи єдинообразність та сумісність систем.

Четверта стратегічна ціль визначається у створенні стандартів та нормативів. Встановлення міжнародних стандартів стає ключовим аспектом для успішної інтеграції мульти-GNSS у сучасні авіаційні системи. Це передбачає взаємодію із стандартами інших країн та впровадження уніфікованих підходів до інтеграції.

П'ята стратегічна ціль зосереджена на навчанні та підготовці персоналу. Розвиток та реалізація програм навчання для персоналу авіаційної галузі стає необхідністю для ефективного впровадження та використання нових технологій. Підготовка пілотів, аеронавігаторів та інженерів до використання мульти-GNSS сприятиме оптимальному та безпечному використанню цих систем.

Ці стратегічні цілі визначають не лише практичний внесок мульти-GNSS у системи RNAV та PBN, але і орієнтують наукове співтовариство та індустрію на шлях до максимальної ефективності та безпеки в авіаційних операціях

### Висновок до розділу 3

#### **Висновок:**

У рамках розділу, присвяченого впливу та розвитку мульти-глобальних навігаційних супутникових систем (мульти-GNSS) у системах навігації зонової (RNAV) та системах базованої на продуктивності (PBN), були визначені ключові стратегічні цілі. Ці цілі визначають напрямки подальшого наукового дослідження та практичного впровадження мульти-GNSS у авіаційні операції.

Перш за все, виявлено, що мульти-GNSS є не лише технічним засобом для покращення точності та ефективності навігації, але й стратегічним інструментом для досягнення значущих вигод в авіаційній галузі. Його потенціал у покращенні часу в польоті, зменшенні витрат пального та підвищенні рівня безпеки робить його ключовим гравцем у подальшому розвитку та модернізації авіаційних систем.

Сформульовані стратегічні цілі визначають важливі напрямки досліджень та розробок. Покращення ефективності авіаційних операцій, підвищення рівня безпеки та забезпечення глобального охоплення та інтеграції мульти-GNSS - це завдання, які потребують інтегрованого та комплексного підходу. Стандартизація та нормативи визначають основу для єдинообразного впровадження цих технологій на міжнародному рівні, а навчання та підготовка персоналу стають запорукою успішного впровадження та функціонування нових систем.

Таким чином, визначені стратегічні цілі не лише орієнтують наукове та технічне співтовариство на шлях до подальших досліджень, але й визначають масштабну перспективу для подальшого еволюційного розвитку авіаційних технологій з використанням мульти-GNSS.

## **РОЗДІЛ 4: СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.**

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТІ-GNSS**

#### **4.1. Багатокритеріальна оцінка мульті-GNSS**

Визначено критерії, за якими буде надано оцінку мульті-GNSS

##### **Точність позиціонування:**

Визначення того, наскільки точно мульті-GNSS система може визначити місцезнаходження користувача.

##### **Доступність сигналів:**

Оцінка кількості супутників, які доступні в конкретний момент часу. Чим більше супутників підтримується системою, тим краща можливість отримати надійний сигнал в умовах обмеженої видимості, наприклад, серед високих будівель чи в лісистих районах.

##### **Стабільність зв'язку:**

Визначення того, наскільки стійко працює мульті-GNSS система в умовах можливих перешкод, таких як атмосферні явища та інші завади, які можуть впливати на якість сигналу.

##### **Енергоефективність:**

Врахування споживання енергії мульті-GNSS приладами. Для багатьох пристроїв, оснащених системами позиціонування, ефективне використання енергії є ключовим аспектом, особливо в мобільних пристроях.

##### **Глобальне покриття:**

Оцінка того, наскільки система забезпечує покриття всіх регіонів планети.

Ці критерії визначають ключові аспекти ефективності та використання мульті-GNSS систем, допомагаючи користувачам обирати оптимальні рішення для своїх конкретних потреб. При виборі мульті-GNSS системи важливо зважати на конкретні вимоги та обставини використання, щоб забезпечити оптимальну продуктивність. З розвитком технологій та постійним удосконаленням систем позиціонування, користувачі можуть очікувати ще вищого рівня надійності та точності в майбутньому.

## 1. Матриці індивідуальних переваг

Отримано матриці індивідуальних переваг після того, як експерти заповнили свої анкети (таблиці 4.1 - 4.5):

Таблиця 4.1 - Матриця індивідуальних переваг 1 експерта

x\y	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття	$\Sigma$	R
Точність позиціювання		0,5	1	1	0,5	3	1;2
Доступність сигналів	0,5		0	1	1	2,5	3
Стабільність зв'язку	0	1		1	1	3	1;2
Енергоефективність	0	0	0		1	1	4
Глобальне покриття	0,5	0	0	0		0,5	5

Таблиця 4.2 - Матриця індивідуальних переваг 2 експерта

x\y	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття	$\Sigma$	R
Точність позиціювання		0	1	1	0,5	2,5	1;2;3
Доступність сигналів	1		1	0,5	1	2,5	1;2;3
Стабільність зв'язку	0	0		1	0	1	4
Енергоефективність	0	0,5	0		0	0,5	5
Глобальне покриття	0,5	0	1	1		2,5	1;2;3

Таблиця 4.3 - Матриця індивідуальних переваг 3 експерта

x\y	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття	$\Sigma$	R
Точність позиціювання		0,5	1	1	0,5	3	1;2
Доступність сигналів	0,5		0	1	1	2,5	3
Стабільність зв'язку	0	1		1	1	3	1;2
Енергоефективність	0	0	0		1	1	4
Глобальне покриття	0,5	0	0	0		0,5	5



Таблиця 4.4 - Матриця індивідуальних переваг 4 експерта

x\y	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття	Σ	R
Точність позиціювання		0,5	1	1	0,5	3	1
Доступність сигналів	0,5		0	1	1	2,5	2
Стабільність зв'язку	0	1		0,5	0	1,5	4
Енергоефективність	0	0	0,5		0,5	1	5
Глобальне покриття	0,5	0	1	0,5		2	3

Таблиця 4.5 - Матриця індивідуальних переваг 5 експерта

x\y	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття	Σ	R
Точність позиціювання		0,5	1	1	0	2,5	2;3
Доступність сигналів	0,5		1	0,5	1	3	1
Стабільність зв'язку	0	0		1	0,5	1,5	4
Енергоефективність	0	0,5	0		0	0,5	5
Глобальне покриття	1	0	0,5	1		2,5	2;3

## 2. Матриця групових вподобань

Узагальнимо всі думки експертів в таблиці 4.6, де  $m$  – кількість експертів ( $m=5$ ),  $n$  - кількість критеріїв ( $n=5$ ).

Таблиця 4.6

Експерт, m/Система, n	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття
1	1,5	3	1,5	4	5
2	2	2	4	5	2
3	1,5	3	1,5	4	5
4	1	2	4	5	3
5	2,5	1	4	5	2,5

### 3.Визначення думки експертної групи

Відповідно до наявних значень, визначено думку групи експертів по кожній умові за формулою (4.1):

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (4.1)$$

Розрахуємо для кожного критерію своє значення  $R_{grj}$  и внесемо в таблицю 4.7

Таблиця 4.7

	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття
$R_{grj}$	1,7	2,2	3	4,6	3,5

### 4.Визначення узгодженості експертів

Розрахуємо дисперсію для кожної системи за формулою (4.2):

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1} \quad (4.2)$$

Розрахуємо стандартне відхилення за формулою (4.3):

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (4.3)$$

Розрахуємо коефіцієнт варіації для кожної системи за формулою (4.4):

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} * 100\% \quad (4.4)$$

Виконавши розрахунки внесемо їх в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8

Експерт, м/Система, п	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефективність	Глобальне покриття
1	1,5	3	1,5	4	5
2	2	2	4	5	2
3	1,5	3	1,5	4	5
4	1	2	4	5	3
5	2,5	1	4	5	2,5
$R_{grj}$	1.7	2.2	3	4.6	3.5
D	0,325	0,7	1,875	0,3	2
$\sigma$	0,5700877125	0,8366600265	1,369306394	0,5477225575	1,414213562
Coeff of var,%	33,53457133	38,03000121	45,64354646	11,90701212	40,40610178

Якщо коефіцієнт варіації  $v_j < 33\%$  - думка експертів узгоджується.

Якщо коефіцієнт варіації  $v_j > 33\%$ , думка експертів не узгоджується.

Згідно отриманих результатів:

$$\text{var1} = 33,5 > 33\%$$

$$\text{var2} = 38,03 > 33\%$$

$$\text{var3} = 45,64 > 33\%$$

$$\text{var4} = 11,9 < 33\%$$

$$\text{var5} = 40,406 > 33\%$$

### 5. Коефіцієнт конкордації Кендала

Якщо коефіцієнт варіації перевищує 33%, коефіцієнт відповідності Кендала необхідно визначити за такою формулою (4.5):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4.5)$$

Де - S-узагальнена дисперсія і розраховується за формулою (6.6):

$$S = \sum (\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R})^2 \quad (4.6)$$

$$\bar{R} = \sum \frac{\sum R_{ij}}{5} = \frac{8.5 + 11 + 15 + 23 + 17.55}{5} = 15$$

$$S = (8,5 - 15)^2 + (11 - 15)^2 + (15 - 15)^2 + (23 - 15)^2 + (17,5 - 15)^2 = 128,5$$

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i) = 4 * (3^3 - 3) + 2 * (2^3 - 2) = 102$$

Звідси  $W=0,6192771084$

Коефіцієнт узгодженості Кендала змінюється в діапазоні  $0 < W < 1$ , де  $W = 0$  повністю неузгоджений,  $W = 1$  - повністю узгоджений,  $W = 0,6 \dots 0,8$  - погоджений. Наш результат  $W = 0,61$  показує, що думки експертів повністю узгоджуються.

### 6. Визначення коефіцієнта кореляції Спірмена

Порівняно думку групи всіх експертів і думку кожного окремого експерта, використовуючи коефіцієнт рейтингової кореляції  $R_s$  (коефіцієнт кореляції Спірмена) за формулою (4.7):

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.7)$$

Внесено отримані дані в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9

Експерт, m/Система, n	Точність позиціювання	Доступність сигналів	Стабільність зв'язку	Енергоефектив ність	Глобальне покриття
1	1,5	3	1,5	4	5
2	2	2	4	5	2
3	1,5	3	1,5	4	5
4	1	2	4	5	3
5	2,5	1	4	5	2,5
Rav	1.7	2.2	3	4.6	3.5
sum(x-y)^2	5.54	3.54	5.54	1.94	4.24
Rs	0,723	0,823	0,723	0,903	0,788

Якщо  $R_s = 1$  - узгодженість думок групи і експерта висока.

Якщо  $R_s = 0$  або близько 0 - узгодженість думок групи і експерта низька.

У більшості випадків погляди окремих учасників і групи в цілому узгоджуються.

### 7.Визначення значущості розрахунків

Визначення статистичної значущості коефіцієнту конкордації  $W$  за критерієм  $\chi^2$  (формула (4.8)).

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{s}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4.8)$$

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{128.5}{0.5 * 5(5 + 1) - \frac{1}{12(5 - 1)} * 102} = 9.9806$$

Для розрахунку значущості розрахунку  $R_s$  (коефіцієнт Спірмена) необхідно визначити критерій Стюдента за формулою (4.9):

$$t_{\phi} = R_s \sqrt{\frac{n-2}{1-R_s^2}} \quad (4.9)$$

$$t_{\phi} = 0.723 * \sqrt{\frac{5-2}{1-0.723^2}} = 2.507$$

## 8.Визначення вагових коефіцієнтів

Остаточний розрахунок полягав у визначенні вагових коефіцієнтів  $w_i$  за формулою (6.10):

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^n c_j} \quad (4.10)$$

Внесено дані в таблицю 6.10.

Таблиця 4.10

n	Rank	Ci	wi	lambda	Total load
Точність позиціонування	1	1	0,3333333333	10	3,333333333
Доступність сигналів	2	0,8	0,2666666667	10	2,666666667
Стабільність зв'язку	3	0,6	0,2	10	2
Енергоефективність	5	0,2	0,0666666667	10	0,666666667
Глобальне покриття	4	0,4	0,1333333333	10	1,333333333
$\Sigma$		3	1	50	10

## 9.Побудова графіку

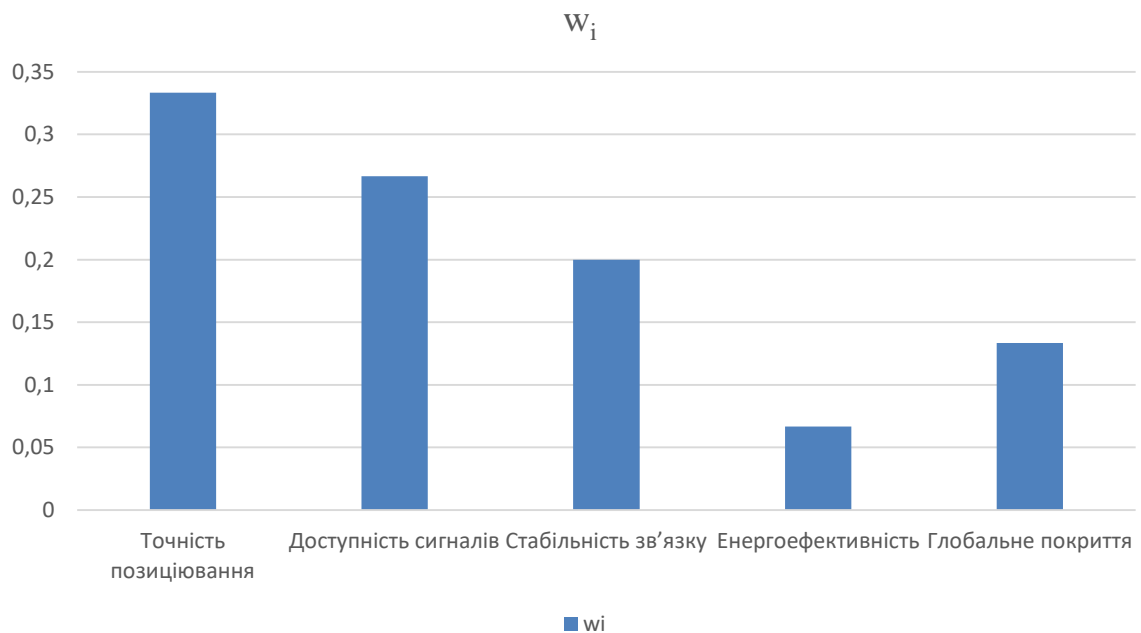


Рисунок 4.1 – Графік вагових коефіцієнтів

Згідно отриманих вагових коефіцієнтів видно, що найбільшу вагу має точність позиціонування.

## 4.2. Кореляційно-регресивний аналіз

Статистичні дані про прибуток від моменту впровадження мульти-GNSS (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

t, міс.						
Прибуток, $K \cdot 10^3$ , грн.						

1. Зробимо форму у вигляді таблиці та внесемо вихідні дані в форму (таб. 4.12):

Таблиця 4.12

X, міс.	Y, прибуток, $K \cdot 1000$
1	0,9
2	1,2
3	1,1
4	1,1
5	1
6	1,3

2. Побудуємо графік у вигляді кореляційного поля (рис. 4.2):

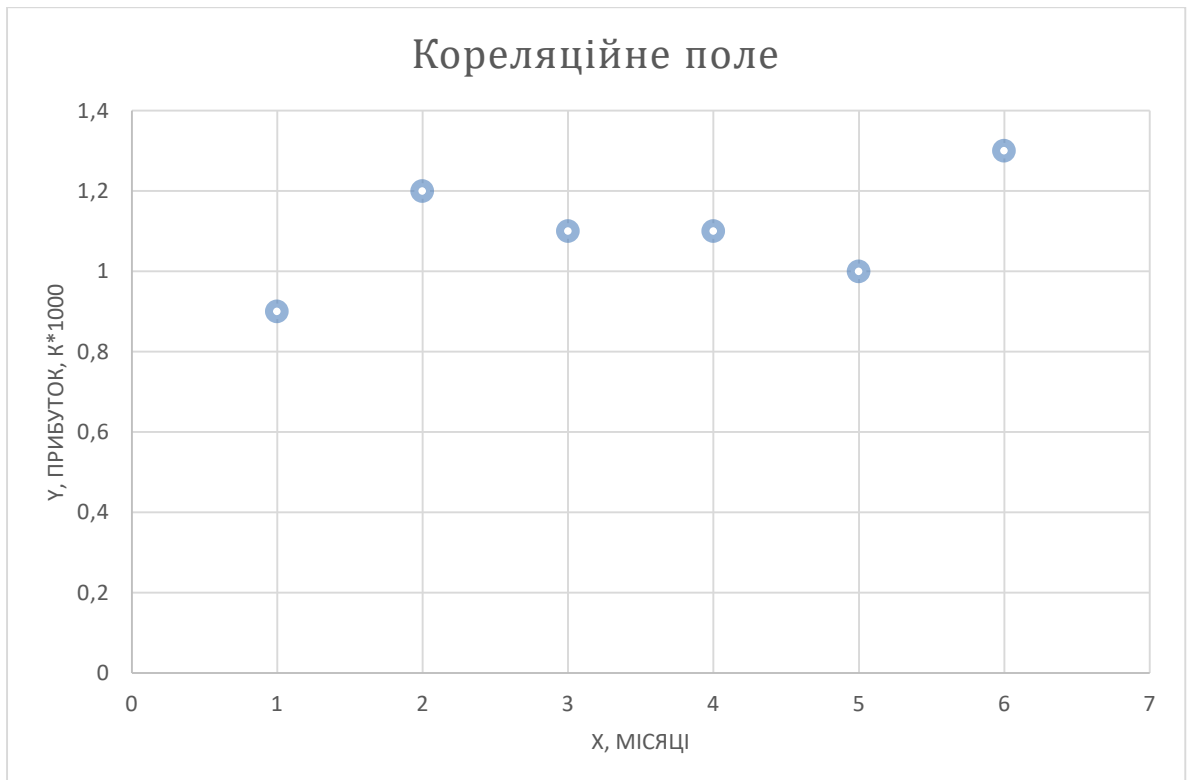


Рисунок 4.2 - Кореляційне поле

3. Визначимо коефіцієнт кореляції  $r$ :

$$r = 0,529150262$$

4. Визначимо коефіцієнти регресії:

$$b_0 = 0,96$$

$$b_1 = 0,04$$

5. Побудуємо табл. 4.13 та заповнимо її перший стовпець числами від 1 до 12:

Таблиця 4.13

X
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

6. Визначимо рівняння регресії  $Y = 0,96 + 0,04X$  та за його допомогою обчислимо точки графіка регресії (табл. 4.14):

Таблиця 4.14

$Y = 0,96 + 0,04X$
1
1,04
1,08
1,12
1,16
1,2

1,24
1,28
1,32
1,36
1,4
1,44

7. Побудуємо графік регресії (рис.4.3):

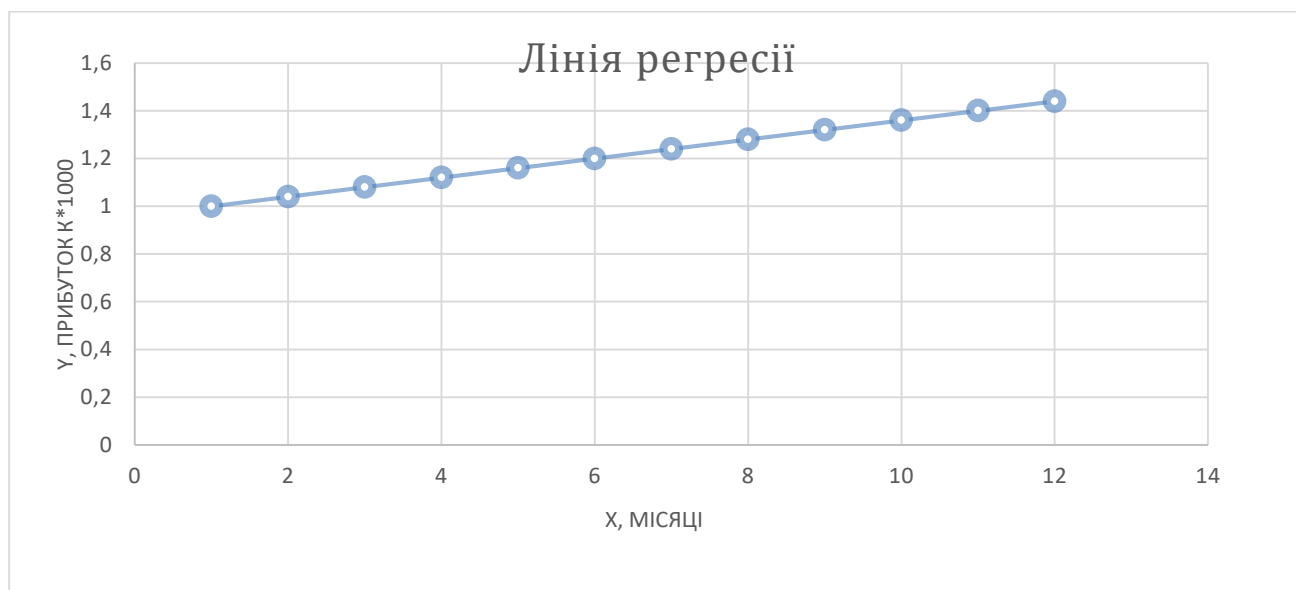


Рисунок 4.3 - Лінія регресії

8. Проаналізуємо отримані дані та зробимо висновки:

На основі отриманих результатів регресії я можу сказати, що буде збільшено прибуток компанії з моменту впровадження мульті-GNSS. Згідно коефіцієнту кореляції  $r=0,529150262$  залежність між місяцями та прибутком цими місяцями має **прямий** (так як значення  $r$  додатне) **сильний** (так як значення  $r$  ближче до 1) **зв'язок**. Тобто, з часом прибуток збільшується.



## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4**

В першій частині розділу ми користувалися багатокритеріальною оцінкою мульти-GNSS. Були взяті 5 основних критеріїв. Згідно результату оцінювання видно, що найбільшу вагу має точність позиціонування.

В наступній частині розділу ми за допомогою кореляційно-регресивного аналізу та статистичних даних про прибуток за 6 місяців спрогнозували прибуток на наступні 6 місяців.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ В КОНТЕКСТІ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТІ-GNSS.**

### **5.1 Введення в охорону праці.**

Охорона праці є необхідною складовою в будь-якій сфері, особливо в авіації, де високі технічні вимоги та комплексність обладнання можуть призвести до серйозних наслідків у разі невдачі. Забезпечення безпеки праці є основною відповідальністю підприємств, які використовують мульти-GNSS (глобальні навігаційні супутникові системи) у своїй діяльності.

Безпека праці в авіації є життєва важливою для захисту персоналу, пасажирів та забезпечення безперебійної роботи авіаційних систем. Високі технічні вимоги та потенційно небезпечні ситуації, пов'язані з використанням мульти-GNSS, підкреслюють необхідність ретельної системи безпеки праці.

Охорона праці включає в себе комплекс заходів, спрямованих на запобігання травмам, захист від небезпек та забезпечення здоров'я працівників. Ключові терміни включають оцінку ризиків, безпеку праці, технічні норми та процедури, які спрямовані на зменшення можливих загроз для працівників.

Міжнародні та національні стандарти грають важливу роль у забезпеченні єднання та визначенні основних вимог для безпеки праці в авіаційній галузі. Визначення нормативів для авіаційних технологій включає в себе узгоджені стандарти, які сприяють безпечному впровадженню мульти-GNSS.

### **5.2 Мульти-GNSS та безпека праці.**

Ризики та виклики: Використання мульти-GNSS в авіації може призвести до нових ризиків, таких як можливі збої систем, неправильні дані навігації та інші технічні витоки. Аналіз цих ризиків дозволяє розробляти стратегії для їхнього управління та мінімізації.

Визначення викликів для безпеки праці: Впровадження нових технологій, таких як мульти-GNSS, породжує виклики у сфері безпеки праці. Визначення

цих викликів дозволяє адаптувати існуючі системи безпеки та розробляти нові підходи до забезпечення безпеки праці.

Засоби мінімізації ризиків: Огляд технічних та технологічних рішень дозволяє ідентифікувати можливості для зменшення ризиків, пов'язаних із використанням мульти-GNSS. Це може включати резервні системи, системи аварійного відключення та посилений моніторинг технічного стану обладнання.

### **5.3 Стандарти та рекомендації.**

Міжнародні та національні стандарти: Перегляд та аналіз міжнародних та національних стандартів щодо охорони праці в авіації допомагає визначити ключові елементи, які повинні бути враховані при впровадженні мульти-GNSS. Важливо забезпечити відповідність цих стандартів у контексті нових технологій.

Рекомендації для практики: Формулювання конкретних рекомендацій для впровадження найкращих практик у сфері охорони праці в авіації допомагає забезпечити ефективне впровадження стандартів та зменшити ризики. Додатково, вказання можливих шляхів вдосконалення та дотримання стандартів сприяє постійному вдосконаленню систем безпеки праці в авіації.

### **5.4 Введення в екологічний аспект.**

Авіаційні технології суттєво впливають на навколишнє середовище, включаючи атмосферу, клімат, та біорізноманіття. Зростаюча роль мульти-GNSS в авіації вимагає аналізу його можливого впливу на екосистеми та розробки стратегій для збалансованого використання технологій.

Необхідно акцентувати важливість зменшення екологічного відбитку авіації у зв'язку з поглибленням світових проблем екології. Редукція негативного впливу є ключовим завданням для забезпечення екологічної стійкості та збереження природних ресурсів.

## **5.5 Оцінка ефективності та вплив на природу.**

Дослідження впливу мульти-GNSS на екосистеми включає в себе аналіз параметрів, таких як енергоефективність, використання ресурсів, викиди забруднюючих речовин, та можливий вплив на клімат.

Оцінка ефективності включає аналіз того, наскільки мульти-GNSS сприяє зменшенню негативного впливу на природу. Важливо враховувати можливі ризики, такі як електромагнітна забрудненість та можливі втрати біорізноманіття.

## **5.6 Стратегії зменшення негативного впливу.**

Розгляд можливих стратегій включає у себе розробку та впровадження технічних інновацій, які допоможуть зменшити вплив мульти-GNSS на природу. Також важливо розглянути підходи до підвищення свідомості та відповідальності в авіаційній галузі.

Рекомендації повинні стосуватися як розробників технологій, так і операторів літаків. Це може включати в себе вдосконалення програмного забезпечення, використання екологічно чистих матеріалів, та постійний моніторинг впливу технологій на природу.

## **5.7. Захист авіаційного персоналу від шуму**

Шум можна визначити як будь-який небажаний звук. Вплив шуму високої інтенсивності призводить до шкідливих наслідків, наприклад, втрати слуху або навіть розриву барабанної перетинки. Ці наслідки в основному залежатимуть від рівня інтенсивності шуму, його якості (спектру частот) та тривалості впливу. Щодо авіаційного персоналу необхідно перш за все вивчити два моменти: ризик тимчасового чи постійного пошкодження слуху та перешкоди для мовного зв'язку. Тимчасова втрата слуху може статися внаслідок впливу шуму, рівень якого вище 80 дБ. Звуки високої частоти призводять до більшого погіршення слуху, ніж звуки низької частоти, тому слід розглянути спектр частот, перш ніж визначати приголомшливий вплив (рис. 5.1.).

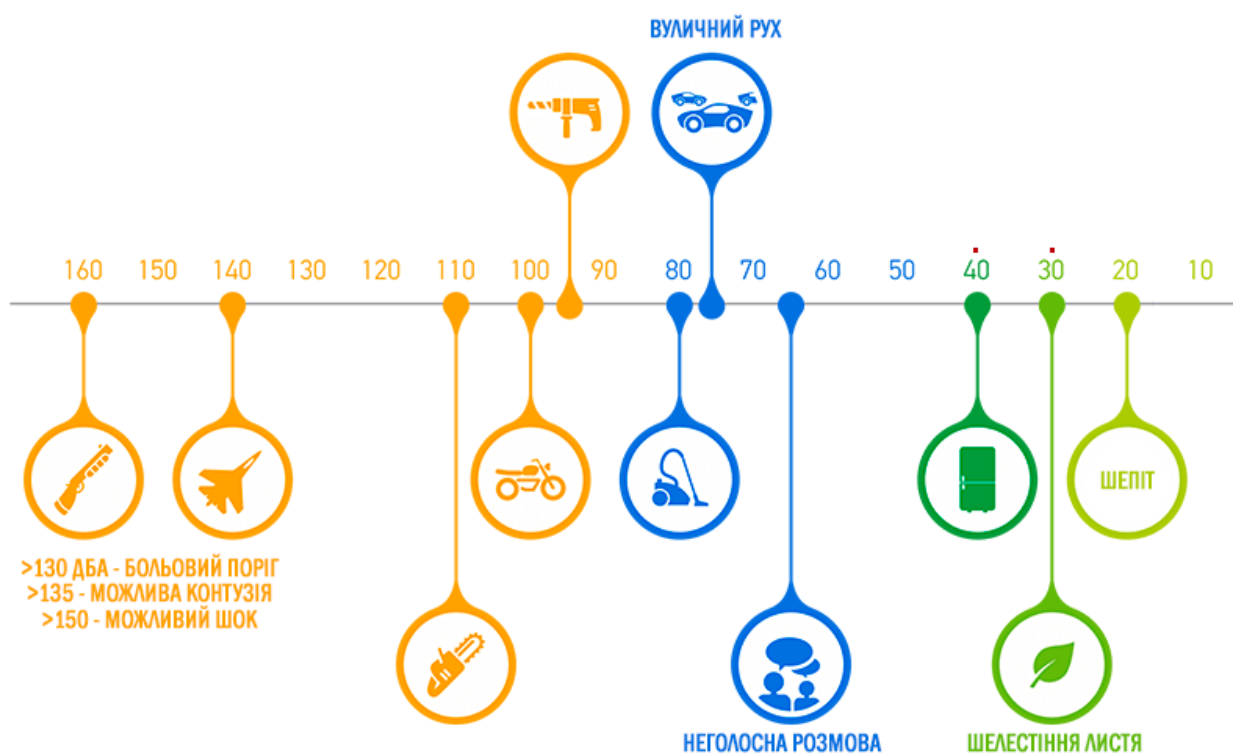


Рисунок 5.1. – Джерела шуму

### *Захист від шуму. Індивідуальний захист від шуму*

Відсутність контролю та захисту може призвести до постійного послаблення органу слуху та/або несприятливо позначитися на мовному зв'язку. У багатьох випадках використання шумозахисних пристроїв є найзручнішим засобом захисту людини від такого впливу шуму. Основна функція індивідуального шумозахисного пристрою полягає в тому, щоб знизити рівень шуму, що досягає чутливого органу, виступаючи як акустичний бар'єр між джерелом шуму і внутрішнім вухом.

## **Висновок до розділу 5**

Узагальнення результатів дослідження включає в себе підсумок виявлених позитивних та негативних впливів мульті-GNSS на навколишнє середовище. Висновки слід взяти за основу для подальших досліджень та розвитку технологій з метою забезпечення екологічної стійкості в авіації.

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У дипломній роботі розглянуто та проаналізовано застосування мульти-GNSS як основного технічного засобу для систем RNAV та PBN у сучасній авіаційній індустрії. В ході цієї роботи було досліджено різні аспекти та вплив мульти-GNSS на точність, надійність та ефективність авіаційних навігаційних систем.

Велике значення для точності, по-перше, мають атмосферні явища і поточне розміщення приймача щодо супутників. Для зменшення похибки визначення місця розташування потрібно, щоб супутники не були згруповані разом, а були віддалені один від одного, щоб сигнал від них надходив з різних сторін. Дуже великі похибки приймання сигналу виникають зазвичай у великих містах, де екранування відбувається високими будівлями.

Виявлено, що ці технології можуть позитивно впливати на підвищення точності та ефективності навігації літальних апаратів, зменшуючи витрати пального та покращуючи безпеку польотів.

Системи прийому сигналів мульти-GNSS разом з аналізом даних стали важливими методами для оцінки ефективності цих технологій у контексті авіаційної навігації. Незважаючи на це, виявлені обмеження, такі як погодні умови чи технічні складнощі, вимагають подальших досліджень для вдосконалення та розвитку систем мульти-GNSS у впровадженні RNAV та PBN.

Узагальнюючи, можна зазначити, що мульти-GNSS відкриває нові перспективи для розвитку авіаційної навігації, забезпечуючи значний потенціал для підвищення ефективності та безпеки польотів. Проаналізовані результати дослідження вказують на важливі переваги цих технологій, такі як зменшення витрат пального і поліпшення точності навігації.

Однак важливо враховувати обмеження, які можуть виникнути в різних ситуаціях, таких як погодні умови чи технічні труднощі. Це свідчить про необхідність подальших досліджень та розвитку, спрямованих на вирішення цих проблем і покращення загальної надійності систем мульти-GNSS.

Загальний висновок полягає в тому, що, не дивлячись на досягнуті успіхи, для повного впровадження мульті-GNSS у системи RNAV та PBN необхідно продовжувати наукові дослідження та технічний прогрес. Це дозволить подолати існуючі виклики, забезпечити стійкість до різних умов та максимізувати вигоди цих технологій для подальшого розвитку авіаційного сектора.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каплунов, Д. Мульті-глобальні навігаційні системи та їхнє використання в авіаційній навігації. Видавництво "Авіаційні технології".
2. Федеральна авіаційна адміністрація (FAA). (2020). Навігація та системи навігації для авіації. Офіційний веб-сайт FAA.
3. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO). (2019). Мануал з продуктивної навігації (PBN Manual). Доступно на офіційному веб-сайті ICAO.
4. Томпсон, Р. (2018). Вплив мульті-глобальних навігаційних систем на авіаційну безпеку. Журнал "Авіаційна безпека і надійність", 12(3), 45-58.
5. Харпер, М. та Інгл, Д. (2016). Огляд інтеграції мульті-GNSS у сучасну авіаційну практику. Журнал "Авіаційні технології та навігація", 20(2), 78-94.
6. Європейське агентство з безпеки авіації (EASA). (2017). Вимоги до проектування та операцій при використанні RNAV та PBN. Документ EASA Part-NCC.
7. Федоров, І. (2019). Переваги інтеграції мульті-GNSS у системи RNAV та PBN. Збірник наукових праць "Сучасні технології авіаційної безпеки", 5(1), 112-125.
8. Шафер, Дж. (2015). Історія та розвиток глобальних навігаційних систем. Видавництво "Навігаційні технології".
9. Фонд досліджень інновацій в авіації (ARIF). (2020). Дослідження впливу мульті-GNSS на авіаційну ефективність. Звіт про дослідження.
10. Бенкс, Г. та Кларк, С. (2018). Інновації в системах навігації для авіації. Видавництво "Авіаційні технології".
11. Впровадження навігації, заснованої на характеристиках (PBN) стратегія України та план впровадження на 2013 – 2025 роки (Редакція 1.0).
12. Повітряний кодекс України: Постанова Верховної Ради від 19.05.2011 р N 3393-VI. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>
13. Про затвердження Авіаційних правил України «Загальні правила польотів у повітряному просторі України»: Наказ Державіаслужби України та

Міністерства оборони України від 06.02.2017 № 66/73. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 травня 2017 р. за № 654/30522 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0654-17>.

14. Про затвердження Авіаційних правил України "Організація повітряного руху": Наказ Державної авіаційної служби України № 1920 від 09.12.2021. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12 жовтня 2016 р. за № 165/37501 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0165-22#Text>

15. Про затвердження Положення про передпольотне інформаційне обслуговування на аеродромах цивільної авіації України: Наказ Міністерства транспорту України № 458 від 25.06.2003 р. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 липня 2003 р. за № 573/7894 {Із змінами, внесеними згідно з Наказами Державної авіаційної служби N 475 ( [z0727-19](#) ) від 16.04.2019 N 278 ( [z0224-20](#) ) від 17.02.2020} [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1327-11>.

16. <https://fixon.com.ua/language/uk/tochnist-vyznachennya-koordynat/>

17. Multilateration. Executive Reference Guide. – [www.Multilateration.com](http://www.Multilateration.com)

18. Global Surveillance. THALES AIR SYSTEMS – France. [www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com)

19. EUROCONTROL. Specification for ATM Surveillance System Performance (ESASSP). Edition number: 1.2. Edition date: 20/04/2021. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-specification-atm-surveillance-system-performance-esassp>

20. Technical Specification For Wide Area Multilateration (WAM) System, Eurocae Document ED-142, draft V1.0, June 2010.