

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Одарченко Р.С.
“ _____ ” _____ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Супутникова радіолінія у складі системи CNS/ATM»

Виконавець: _____ Боровик Д. В.
(підпис)

Керівник: _____ Голубничий О. Г.
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Бахтіяров Д. І.
(підпис)

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Одарченко Р.С.

“ ” 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Боровика Дениса Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи: «Супутникова радіолінія у складі системи CNS/ATM» затверджена наказом ректора від « 06 » квітня 2021 р. № 559/ст.
2. Термін виконання роботи: з 17.05.2021 р. по 20.06.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: супутник, зв'язок, навігація, спостереження, управління повітряним рухом, глобальна навігаційна супутникова система, радіолінія супутникового зв'язку, розрахунку радіолінії.
4. Зміст пояснювальної записки: концепція CNS/ATM для організації повітряного руху, супутникова система IRIDIUM-NEXT, розрахунок супутникової радіолінії у складі системи CNS/ATM.
5. перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунок розподілу повітряного простору на регіони ОПП; рисунок система IRIDIUM-NEXT; рисунок складу системи IRIDIUM-NEXT; рисунок дослідження рейсу PS 231 (Київ-Нью-Йорк); рисунок з даними отриманими з програми WXtrack; рисунок розрахунку супутникової радіолінії.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів диплому	17.05.2021-18.05.2021	Виконано
2	Вступ	19.05.2021-23.05.2021	Виконано
3	Концепція CNS/АТМ для організації повітряного руху	24.05.2021-30.05.2021	Виконано
4	Супутникова система IRIDIUM-NEXT	31.05.2021-06.06.2021	Виконано
5	Розрахунок супутникової радіолінії у складі системи CNS/АТМ	07.06.2021-13.06.2021	Виконано
6	Усунення недоліків дипломної роботи	14.06.2021-20.06.2021	Виконано

8. Дата видачі завдання: “ _____ ” _____ 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ Голубничий О.Г.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Боровик Д.В.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Супутникова радіолінія у складі системи CNS/ATM» містить 56 сторінок, 13 рисунків, 6 таблиць, 10 використаних джерел.

CNS/ATM, ГЛОБАЛЬНА НАВІГАЦІЙНА СУПУТНИКОВА СИСТЕМА, GPS, СИСТЕМА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ, IRIDIUM-NEXT, РОЗРАХУНОК РАДІОЛІНІЇ.

Актуальність теми: за останні десятиріччя спостерігається стрімкий розвиток цивільної авіації, авіалінії щільно покривають карту світу, проте, існує проблема забезпечення надійного зв'язку над водними гірськими та малозаселеними територіями.

Таким чином, тривають дослідження у всіх сферах цивільної авіації: зв'язок, навігація, спостереження та управління повітряним рухом. Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з наземними терміналами, розміщеними в будь-якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

Мета дипломної роботи – розрахунок супутникової радіолінії у складі системи CNS/ATM при розташуванні повітряного судна у найвіддаленіших від земної поверхні регіонах.

Завдання дипломної роботи:

- 1) концепція CNS/ATM для організації повітряного руху;
- 2) аналіз складу та принципу роботи супутникової системи IRIDIUM-NEXT;
- 3) розрахунок супутникової радіолінії для рейсу PS231 “Київ - Нью-Йорк” при розташуванні повітряного судна у найвіддаленіших від земної поверхні регіонах Північної Атлантики;

Об'єкт дослідження – процес передавання інформації за допомогою супутникового зв'язку.

Предмет дослідження – супутникова радіолінія у складі системи CNS/ATM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	11
КОНЦЕПЦІЯ CNS/ATM ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ	11
1. ГНСС у цивільній авіації.....	11
1.1. Передумови ГНСС.....	11
1.1.1 Сигнали GNSS	12
1.1.2 Обчислення PVT та вимірювання псевдодіапазону	13
1.1.3 Аспект геометрії	14
1.1.4 Модель вимірювання та бюджет помилок	14
1.1.5 Іоносферна затримка	15
1.1.6 Тропосферна затримка	15
1.1.7 Помилки супутникового часу	15
1.1.8 Міжчастотні упередження.....	16
1.1.9 Шум	16
1.1.10 Багатопроміньовий шлях	16
1.2 Застосування в цивільній авіації.....	19
1.2.1 Сигнали GNSS для цивільної авіації	20
1.2.2 Підвищення точності	22
1.2.3 Диференціальні виправлення	22
РОЗДІЛ 2	25
СУПУТНИКОВА СИСТЕМА IRIDIUM-NEXT	25
2.1 Загальні відомості про систему	25
2.2. Склад супутникової системи IRIDIUM-NEXT	31
2.3. Принцип роботи системи супутникового зв'язку IRIDIUM-NEXT	33
РОЗДІЛ 3	40
РОЗРАХУНОК СУПУТНИКОВОЇ РАДІОЛІНІЇ У СКЛАДІ СИСТЕМИ CNS/ATM	40

3.1. Теоретичні відомості для розрахунку радіолінії	40
3.2. Практична частина	45
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТОК А	53

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AFS (aviation fixed service) - авіаційної фіксованої служби

ARNS (aviation radionavigation service) - повітряно-навігаційна служба

CNS (communication, navigation, surveillance) - зв'язок, навігація, спостереження

FDMA (frequency division multiple access) - множинний доступ з поділом каналів по частоті

FEC (forward error correction) - упереджувальна корекція помилок

GEO (geostationary orbit) - геостаціонарна орбіта

GNSS - глобальна навігаційна супутникова система

GPS (global positioning system) - система глобального позиціонування

ICAO (international civil aviation organization) - міжнародна організація цивільної авіації

LOS (line-of-sight) - межі прямої видимості

NLOS (non-line-of-sight) - поза зоною прямої видимості

ATM (air traffic management) - організація повітряного руху

ГНСС - глобальна навігаційна супутникова система

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

КА - космічний апарат

КВС - командновимірюючої станції

ОУ - орбітального угруповання

ОЦ - обчислювальний центр

ССЗ - система супутникового зв'язку

СУ - станція управління

ТмЗК - телефонна мережа загального користування

ЦКС - центра керування системи

ШС - шлюзові наземні станції

ШСЗ - штучний супутник Землі

ВСТУП

В галузі цивільної авіації для подолання зростаючого попиту на перевезення, дослідницька діяльність спрямована на оптимізацію пропускнуєї спроможності повітряного простору. Авіалінії щільно покривають карту світу, проте, існує проблема забезпечення надійного зв'язку над водними, гірськими та малозаселеними поверхнями (зокрема Антлантичного океану). Таким чином, тривають дослідження у всіх сферах цивільної авіації: зв'язок, навігація, спостереження (CNS) та управління повітряним рухом (ATM). Орієнтуючись на навігаційний аспект, очікується, що цілі будуть досягнуті покращенням ефективності існуючих служб шляхом розробки нових засобів навігації та визначення нових процедур на основі цих нових систем.

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) визнана ключовою технологією надання точних навігаційних послуг зі світовим покриттям. Символ його важливості можна спостерігати в авіації нових літаків цивільної авіації, оскільки більшість із них зараз оснащені приймачами GNSS. Концепція GNSS була визначена Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO), яка включає надання функції контролю цілісності системою збільшення на додаток до основних сузір'їв. Це потрібно для досягнення всіх необхідних показників ефективності точності, цілісності, безперервності та доступності, яким не можуть відповідати окремі сузір'я, такі як GPS.

Оскільки, основна супутникова система INMARSAT не здатна забезпечити надійний зв'язок на широтах вище 70° пн.ш та нижче 70° пд.ш, то в даній дипломній роботі було розраховано супутниковоу радіолінію, що входять в мережу системи CNS/ATM супутникової системи IRIDIUM-NEXT, зона покриття якої становить 100% нашої планети, це єдина супутникова система, яка охоплює кожен квадратний сантиметр поверхні Землі, від полюса до полюса, від сходу до заходу, без провалів і зазорів.

В даний час більшість літаків цивільної авіації оснащені приймачами глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) (90% літаків згідно з опитуванням EUROCONTROL), і це визнано ключовою технологією для надання точних навігаційних послуг у всьому світі охоплення. Концепція GNSS була визначена Міжнародною організацією цивільної авіації ICAO.

Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з терміналами, розміщеними в будь-якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

Супутниковий зв'язок – економічно доцільний вид міжконтинентального зв'язку, та зв'язку з віддаленими регіонами (Америка, Азія, Африка, Австралія, периферією Європи, азіатськими регіонами СНД).

Розвиток супутникового зв'язку на сьогоднішній день відбувається дуже швидкими темпами. Він широко поширений у всьому світі для створення міжнародних і національних мереж зв'язку, передачі даних на основі малих земних станцій. Це економічно вигідний вид зв'язку з віддаленими регіонами.

Зв'язок є стратегічним напрямком будь-якої країни світу, а найбільш всеосяжним видом зв'язку з точки зору охоплення території є супутниковий зв'язок. Також головною перевагою супутникового зв'язку є ширина смуги пропускання системи, яка дозволяє передавати велику кількість каналів інформації, від телефонних, які займають найменшу смугу частот, до найширших, телевізійних.

Проектування мереж супутникового зв'язку являє собою процес обґрунтування і розрахунку основних енергетичних, техніко-економічних характеристик апаратури, а також експлуатаційних показників мережі зв'язку. При цьому задані вимоги щодо якості послуг, транспортних послуг (якості і надійності зв'язку) повинні бути максимально задоволені при мінімальних витратах всіх видів ресурсів.

Основна особливість супутникових ліній зв'язку - велике затухання радіосигналу на ділянках лінії. Так, при висоті орбіти ШСЗ 36000 км (GEO), затухання радіосигналу в радіолінії досягає 200 дБ. Крім цього, радіосигнал зазнає випадкові зміни внаслідок поглинання радіохвиль в атмосфері і гідрометеорах, їх

рефракції і деполаризації, фарадеївського обертання площини поляризації (обертання площини поляризації при поширенні електромагнітних хвиль в гіротропному середовищі, в випадку супутникового зв'язку - в космічній плазмі). На приймальні пристрої впливають перешкоди у вигляді випромінювань космосу, Сонця, Землі та інших планет. Правильний і точний облік всіх особливостей супутникових радіоліній зв'язку дозволяє виконати оптимальне проектування системи зв'язку, забезпечити її надійну роботу в найбільш складних умовах і в той же час виключити зайві непотрібні витрати, що призводять до невиправданого ускладнення наземної та бортової апаратури.

Системи супутникового зв'язку мають цілий ряд переваг:

- Повна незалежність від операторів наземних мереж.
- Висока надійність, що досягає 99,9%.
- Широкий спектр послуг (дані, голос, відео).

Серед недоліків спутникових мереж традиційно називаються можливість перехоплення радіосигналу та вплив погодніх умов на якість зв'язку. Проте для захисту радіосигналу в супутникових системах використовуються потужні системи кодування сигналу, що робить перехоплення практично неможливим. Середня ж доступність каналу супутникового зв'язку зазвичай складає не менше 99,9%.

Проект низькоорбітальної супутникової системи зв'язку IRIDIUM-NEXT заснований на широкому міжнародному співробітництві. Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з терміналами, розміщеними в будь-якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

Мета супутникової радіоліній, що входять в мережу супутникового зв'язку, складається в обґрунтованому виборі (розрахунку) енергетичних параметрів апаратури: потужності передавача, коефіцієнта шуму приймача, коефіцієнта посилення антен і втрат в антенно-фідерному тракті, які відповідають заданій достовірності та надійності роботи мережі. Після розрахунку визначаються структура станції і елементна база, уточнюється структура ліній і мережі в цілому, проводиться її техніко-економічне обґрунтування.

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПЦІЯ CNS/АТМ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

1. ГНСС у цивільній авіації

1.1. Передумови ГНСС

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) - це концепція, розроблена ІКАО (Міжнародна організація цивільної авіації) і точніше комітетом FANS (Майбутні аеронавігаційні системи).

«ГНСС - світова система визначення місця та часу, яка включає одне або кілька сузір'їв супутників, приймачі літаків та контроль цілісності системи, доповнену, як це необхідно, для підтримки необхідних навігаційних характеристик для запланованої операції»

Це частина концепції CNS/АТМ (спостереження за навігацією зв'язку/управління повітряним рухом), яка також була створена ІКАО в 1983 році, але прийнята в 1991 році. Остання була призначена як основа для впровадження нових технологій, таких як зв'язок супутників передачі даних.

Основна умова концепції CNS / АТМ - збереження досягнутого і, коли це можливо, підвищення рівня безпеки польотів.

Міжнародні польоти здійснюються за спеціальними повітряних трасах, що проходять над різними державами, територіями або групами районів польотної інформації. Весь світ поділений на перекриваються регіони (Рис. 1.1), заданих маршрутів авіаційної фіксованої служби (АFS), кожен з яких позначений окремою літерою.

Межі даних районів не завжди поєднані з кордонами держав, територій або районів польотної інформації. Вони розглядаються виключно, виходячи з вимог авіаційної фіксованої служби, для того, щоб надати максимально можливу допомогу при передачі трафіку повідомлень.

Кожній конкретній державі або території призначається конкретна ідентифікаційна буква, що дозволяє забезпечити відмінність між державою або територією та іншими державами або територіями в тому ж районі заданих маршрутів авіаційної фіксованої служби.

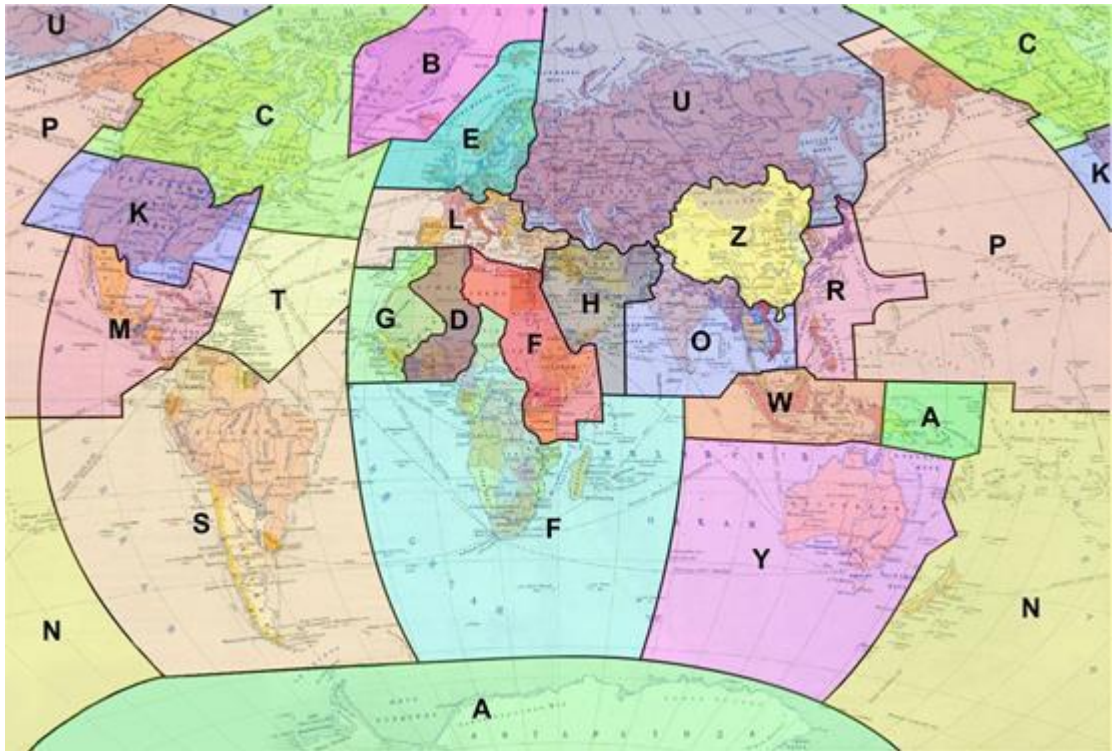


Рис. 1.1. Розподіл повітряного простору на регіони ОПР

1.1.1 Сигнали GNSS

Мета цієї частини - коротко представити різні сигнали, доступні для цивільної авіації.

На Рис. 1.2 дані сигнали, доступні для трьох різних сузір'їв, GPS, Galileo та GLONASS, які показані відповідно до використовуваної частоти. Вони є:

- GPS L1 C / A, L2 та L5
- Галілео E1, E5a, E5b та E6
- ГЛОНАСС G1, G2 та G3

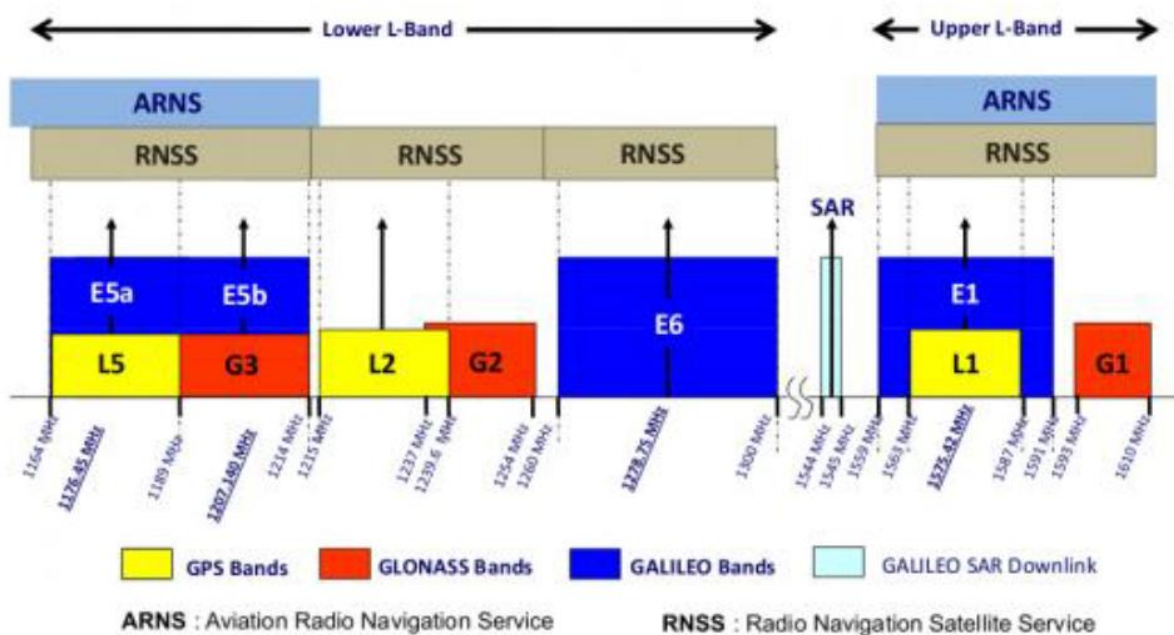


Рис. 1.2. План частоти сигналів GNSS

1.1.2 Обчислення PVT та вимірювання псевдодіапазону

У системі GNSS положення користувача обчислюється на основі знання відстані між супутниками та антенами, відомими як діапазони. Приймач GNSS оцінює супутник/діапазон користувача, вимірюючи час проходження сигналу, що випромінюється супутником, і досягає користувача, а потім множить його на швидкість світла (швидкість світла через вакуум) (Рис. 1.3).

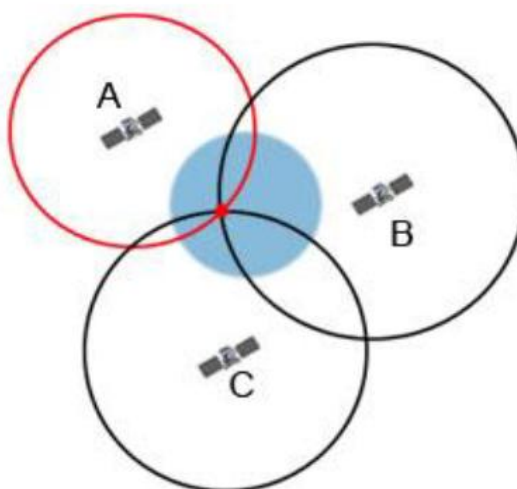


Рис. 1.3. Позичіонування, отримане за допомогою трилатерації

Відстань користувач-супутник фактично вимірюється шляхом порівняння часу випромінювання та прийому переданого сигналу. Це передбачає загальний масштаб часу між супутниками та користувальницьким приймачем, що не є випадком, на сьогодні, при розробці супутникових систем позиціонування. Через наявність зсуву між часом супутника та приймача, фактичне вимірювання приймача включає часовий зсув.

Зсув часу супутника та приймача - не єдині джерела помилок, що впливають на вимірювання псевдодіапазону: ряд помилок через канал розповсюдження та здатність приймача синхронізуватися з прийнятим сигналом присутній на псевдодіапазоні.

1.1.3 Аспект геометрії

Перед описом помилок, що впливають на вимірювання псевдодіапазону i , як наслідок, на обчислювані точності положення, корисно ввести поняття геометрії супутника та його вплив на позицію обчислення. Дійсно, відповідно до позицій супутника, які переглядає приймач, обчислена точність позиції може сильно відрізнятися.

1.1.4 Модель вимірювання та бюджет помилок

У GNSS основну роль відіграє вимірювання псевдодіапазону. Вимірювання псевдодіапазону, що генеруються приймачем, включають термін помилки, що походить з декількох джерел. Ці помилки можна розділити на чотири основні категорії:

- Затримки, викликані поширенням сигналу через атмосферу
- Багатопроренева
- Помилки синхронізації приймача, зокрема тепловий шум
- Помилка виправлення зміщення супутникового годинника

З даного сигналу GNSS приймач може, як правило, генерувати два типи вимірювань псевдодіапазону: вимірювання коду та фази несучої, які походять від 2 засобів синхронізації приймача із супутниковим сигналом.

1.1.5 Іоносферна затримка

Іоносфера - середовище, розташоване на висоті від 50 до 1000 км над земною поверхнею. Коли сонячні промені проходять через цю область, вони іонізують частину газу, і це вивільняє вільні електрони. Електрони впливають на поширення сигналу в іоносфері.

Іоносферна помилка є найсерйознішою помилкою, що впливає на вимірювання GNSS, оскільки вона може створювати великі затримки розповсюдження (стосовно поширення через вакуум). Моделювати дуже складно, тому важко передбачити затримку, щоб апріорно виправити вимірювання. Іоносфера вносить групову затримку та фазовий прогрес до сигналу GNSS, які мають однакову величину.

1.1.6 Тропосферна затримка

Тропосфера - це недисперсне середовище, яке проходить від земної поверхні приблизно до 50 км. Це спричиняє затримку розповсюдження сигналу через тиск повітря, водяної пари та температури. Простіше ефективно моделювати вплив тропосфери на поширення сигналу GNSS (і, таким чином, коригувати його), ніж вплив іоносфери. Модель UNB3, що використовується в GPS-приймачах цивільної авіації для виправлення тропосферної затримки, можна знайти в RTCA. Більше того, для приймачів Galileo цивільної авіації зазначено в EUROCAE WG-62, що приймач Galileo повинен застосовувати тропосферну корекцію, яка є принаймні настільки ж високою, як визначена для UNB3. Отже, ця модель є еталоном для приймачів GPS і Galileo.

1.1.7 Помилки супутникового часу

Вимірювання псевдодіапазону приймачів GNSS упереджене через відсутність синхронізації між супутниковим та користувацьким годинниками.

Упередження супутникового годинника щодо системного часу GNSS контролюється сегментом управління GNSS і передається користувачам через навігаційне повідомлення GNSS. Корекція зміщення супутникового часу для супутників GPS та Galileo надається користувачеві через 4 терміни, які застосовуються відповідно до ARINC Engineering Services, та GJU-GALILEO.

1.1.8 Міжчастотні упередження

На додаток до дисперсійної іоносферної затримки, шлях різних сигналів від одного і того ж супутника на різних частотах може зазнавати невеликих упереджень, створюваних ВЧ-компонентами (антенами, фільтрами, підсилювачами) супутника або приймача, відомими як міжчастотні перешкоди (IFB).

1.1.9 Шум

Тепловий шум створюється приймачем ВЧ-інтерфейсу. Він класично змодельований, як додаток білого гауссовського шуму. Це впливає на захоплений сигнал і, отже, погіршує можливості синхронізації приймача, а отже, і точність вимірювання псевдодіапазону. Вплив теплового шуму на кодовий та фазовий псевдодіапазон різний, як показано в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Стандартне відхилення теплового шуму для DLL та PLL

	Thermal noise standard
Code	«1m
Phase	« 0.001m

1.1.10 Багатопроменевий шлях

Багатопроменевий шлях представляє непрямий шлях одного або декількох сигналів до антени. Цей багатопроменевий шлях зміщується з прямим сигналом LOS і погіршує здатність приймача синхронізуватися з прямим сигналом (єдиним

представником справжнього діапазону супутника/приймача). Це може призвести до помилок різної величини при вимірюванні псевдодіапазону через перевищення шляху відбитого сигналу. Це представлено на Рис. 1.4.

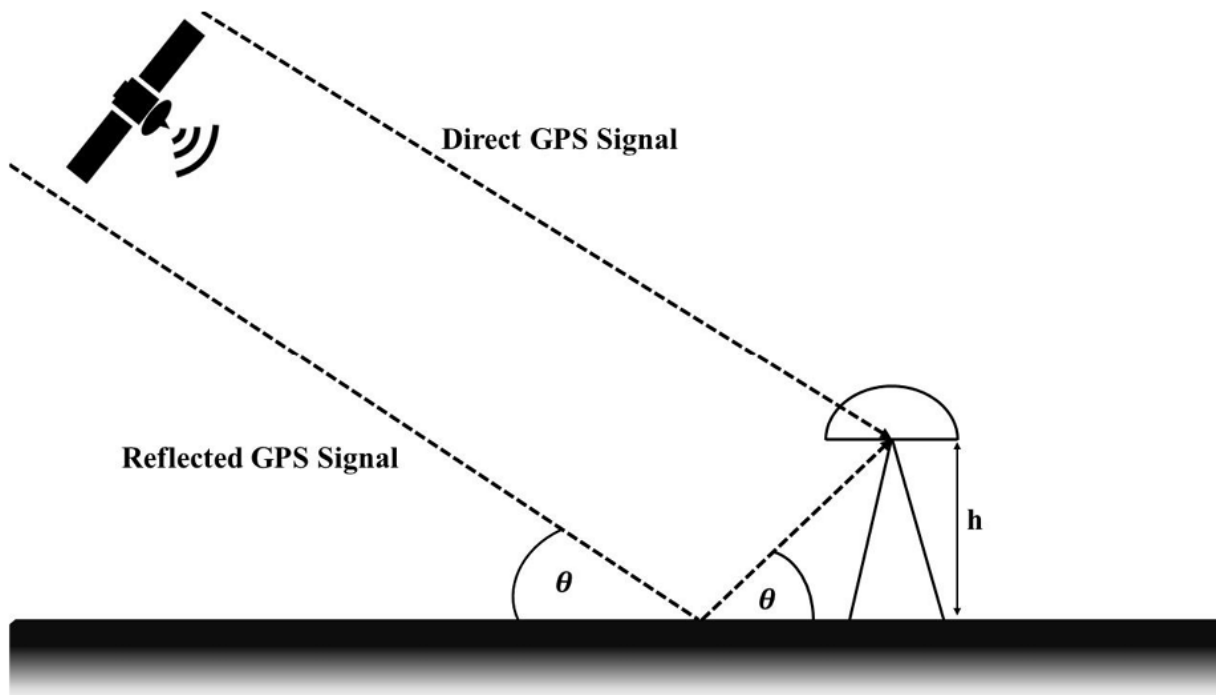


Рис. 1.4. Приклад багатопроменевого шляху LOS

Найгірший варіант помилки вимірювання псевдодіапазону через багатопроменеву перешкоду від відбитого сигналу тієї ж амплітуди, що і прямий сигнал, зазвичай становить 150 метрів для коду GPS L1 C/A. Однак більшість приймачів та нових сигналів сигналів розроблені для отримання менших помилок, ніж це.

Умова прийому NLOS - це приватний випадок багатопроменевого шляху, при якому прямий сигнал (LOS) блокується, і приймач приймає лише відбиття. Ця умова характерна для міського середовища, де наявність будівель може блокувати прямий сигнал і збільшувати ймовірність прийому сигналу NLOS. У цивільній авіації це явище може відбуватися на рівні аеропорту, під час руху поблизу будівель аеропорту (Рис 1.5).

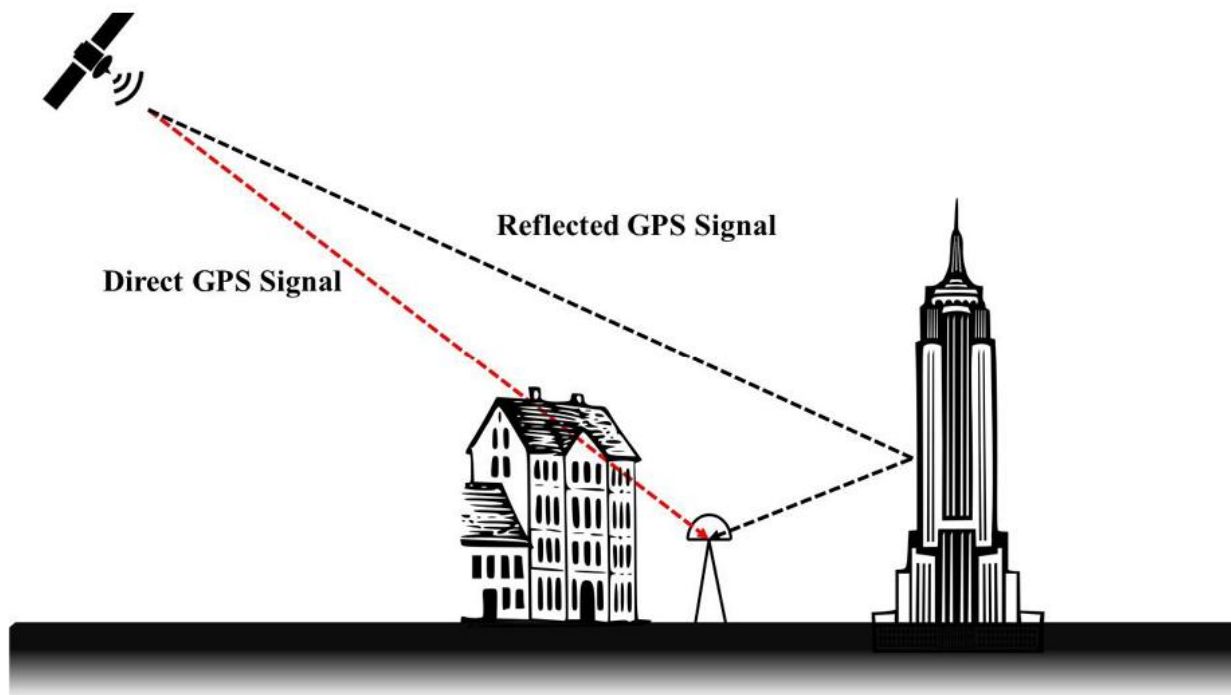


Рис 1.5. Приклад багатопроменевого шляху NLOS

У цьому випадку приймач, швидше за все, синхронізується з найсильнішим відбитим сигналом GNSS. Таким чином, вимірювання псевдодіапазону буде зміщено на значення, рівне додатковому шляху через відбиття. Помилки такого типу завжди позитивні і потенційно необмежені. Сила сигналів NLOS сильно варіюється. Вони можуть бути дуже слабкими, але можуть бути майже такими ж сильними, як безпосередньо приймаються сигнали. Прийом NLOS і багатопроменеві перешкоди іноді виникають разом. Найбільш очевидний випадок - це коли прямий сигнал від певного супутника блокується і приймається безліч відбитих сигналів. У цьому випадку комбіновану похибку дальності можна розглядати як суму помилки NLOS через найсильніший відбитий сигнал та похибку багатопроменевості через додаткові відбиті сигнали, що заважають найсильнішому сигналу.

1.2 Застосування в цивільній авіації

Відповідно до ICAO, комбінація елементів GNSS та безвідмовного приймача користувача GNSS повинна відповідати ряду визначених вимог Signal-in-Space (SiS). Поняття безвідмовного приймача користувача, застосовується лише, як засіб визначення продуктивності комбінацій різних елементів GNSS. Безперебійним приймачем вважається приймач із номінальною точністю та характеристиками часу сповіщення. Передбачається, що такий приймач не має збоїв, які впливають на цілісність, доступність та ефективність роботи (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Вимоги до SiSperformance ICAO

Typical Operation	Accuracy Horizontal	Accuracy Vertical	Integrity	Time-to- Alert	Continuity	Availability
En-Route	3.7 km	N/A	1 - 10 ⁻⁷ /h	5 min	1 - 10 ⁻⁴ /h to 1 - 10 ⁻⁸ /h	0.99 to 0.99999
En-Route Terminal	0.74 km	N/A	1 - 10 ⁻⁷ /h	15 s	1 - 10 ⁻⁴ /h to 1 - 10 ⁻⁸ /h	
Initial Approach, Intermediate Approach, Non- Precision	220m	N/A	1 - 10 ⁻⁷ /h	10 s	1 - 10 ⁻⁴ /h to 1 - 10 ⁻⁸ /h	0.99 to 0.99999
Approach Operations with Vertical	16 m	20 m	1 - 2 • 10 ⁻⁷ /app	10 s	1 - 8 [^] 10 ⁻⁶ /15s	0.99 to 0.99999
Approach Operations with Vertical	16 m	8 m	1 - 2 • 10 ⁻⁷ /app	6 s	1-8 [^] 10 ⁻⁶ /15 s	0.99 to 0.99999
Category I Precision	16 m	4 m ~ 6 m	1 - 2 • 10 ⁻⁷ /app	6 s	1-8 [^] 10 ⁻⁶ /15 s	0.99 to 0.99999

З попередньої таблиці видно, що для використання ГНСС у цивільній авіації повинні бути дотримані визначені рівні точності, безперервності, цілісності та доступності. Три вимоги визначаються як:

- «Безперервність системи - це здатність всієї системи (що включає всі елементи, необхідні для підтримання позиції судна в межах визначеної зони) виконувати свою функцію без перерви під час передбачуваної експлуатації. Більш конкретно, безперервність - це ймовірність збереження зазначеної продуктивності системи протягом тривалості фази експлуатації, припускаючи, що система була доступна на початку цієї фази експлуатації»

- «Цілісність - це міра довіри, яку можна покласти на коректність інформації, що надходить до загальної системи. Цілісність включає здатність системи надавати користувачеві своєчасні та дійсні попередження, коли система не повинна використовуватися для запланованої операції».

- «Наявність GNSS характеризується часткою часу, протягом якого система повинна використовуватися для навігації, коли надійна навігаційна інформація подається екіпажу, автопілоту або іншій системі, що керує польотом літака».

Однак автономні ГНСС в їх нинішній формі не можуть задовольнити вимоги цілісності через свою частоту відмов. Вони мають рівень відмов GPS 10-6 на рік та GLONASS 10-4 на рік, що не дозволяє задовольнити вимоги щодо безперервності та цілісності без активної системи моніторингу. Більше того, точність, надана GPS SiS та GLONASS SiS, не відповідає вимогам точності для таких операцій, як операції з наближення з вертикальним наведенням II (APV-II) та точності підходу категорії I (CAT I).

Для того, щоб використовувати GNSS для надання навігаційних вказівок, точність та цілісність повинні бути покращені.

1.2.1 Сигнали GNSS для цивільної авіації

На рисунку 1.1 представлені сигнали GNSS. Можна побачити, що вони розташовані в конкретних діапазонах частот з назвою Радіонавігаційні супутникові служби (RNSS). Частина цих сигналів також розміщується в діапазонах ARNS

(Повітряно-навігаційна служба), смуги ARNS зарезервовані для аеронавігаційних систем і особливо захищені від внутрішніх діапазонів з боку регулюючих органів.

Ми зупинимося на відповідних сигналах, які:

- GPS L1 C / A
- GPS L1C
- GPS L5
- Galileo E1
- Galileo E5a

Характеристика цих сигналів наведена в Таблиці 1.3:

Таблиця 1.3

Сигнали GNSS для цивільної авіації

Constellation	Signal	Modulation	Code Length	Chip rate (Mcps)	Naviagtion Data (sps)	Secondary Code Length
Galileo	E1B	CBOC (6,1,1/11)	4092	1.023	250	NO
	E1C		4092	1.023	Pilot	Primary x 25 (100 ms)
	E5A-I	QPSK(10)	10230	10.23	50	Primary x 20 (20 ms)
	E5A-Q		10230	10.23	Pilot	Primary x 100(100 ms)
	E5B-I	QPSK(10)	10230	10.23	250	Primary x 4 (4 ms)
	E5B-Q		10230	10.23	Pilot	Primary x 100(100 ms)
GPS	L1 C/A	BPSK(1)	1023	1.023	50	NO
	L1C-I	TMBOC (6,1,4/33)	10230	1.023	100	NO
	L1C-Q		10230	1.023	Pilot	1800 bits
	L5-I	QPSK(10)	10230	10.23	1000	NH-10 (10 bits)
	L5-Q		10230	10.23	Pilot	NH-20 (20 bits)

1.2.2 Підвищення точності

Оцінка та виправлення помилок за допомогою відповідної моделі є звичайною практикою для окремого приймача GNSS. Ця процедура виправлення працює досить добре для джерела помилок, яке не залежить від навколишнього середовища і добре моделюється, як зміщення супутникового часу. Інші джерела помилок, такі як затримки іоносфери та тропосфери, можуть бути не повністю виправлені, оскільки сама модель є наближенням, яке не враховує всі атмосферні параметри, необхідні для обчислення справжньої затримки. Крім того, використовувані параметри вибираються відповідно до моделі, а не відповідно до умов на місці. Нарешті, для деяких джерел помилок, таких як шум та багатопроменевість, неможливо надати значення компенсації.

Для підвищення точності вимірювання псевдодіапазону можна використовувати дві основні методики:

- Диференціальні виправлення
- Техніка згладжування

1.2.3 Диференціальні виправлення

Шляхом подальшого вдосконалення виправлення помилок, таких як помилки іоносфери, тропосфери та ефемерид, є диференціальна ГНСС (ДГНСС) (Рис 1.6.). Ця методика використовує переваги просторової та часової кореляції за номінальних умов цих помилок. Їх оцінка за допомогою наземної станції у відомому положенні є більш точною, ніж використання загальних моделей, як це видно в попередньому розділі для іоносфери та тропосфери.

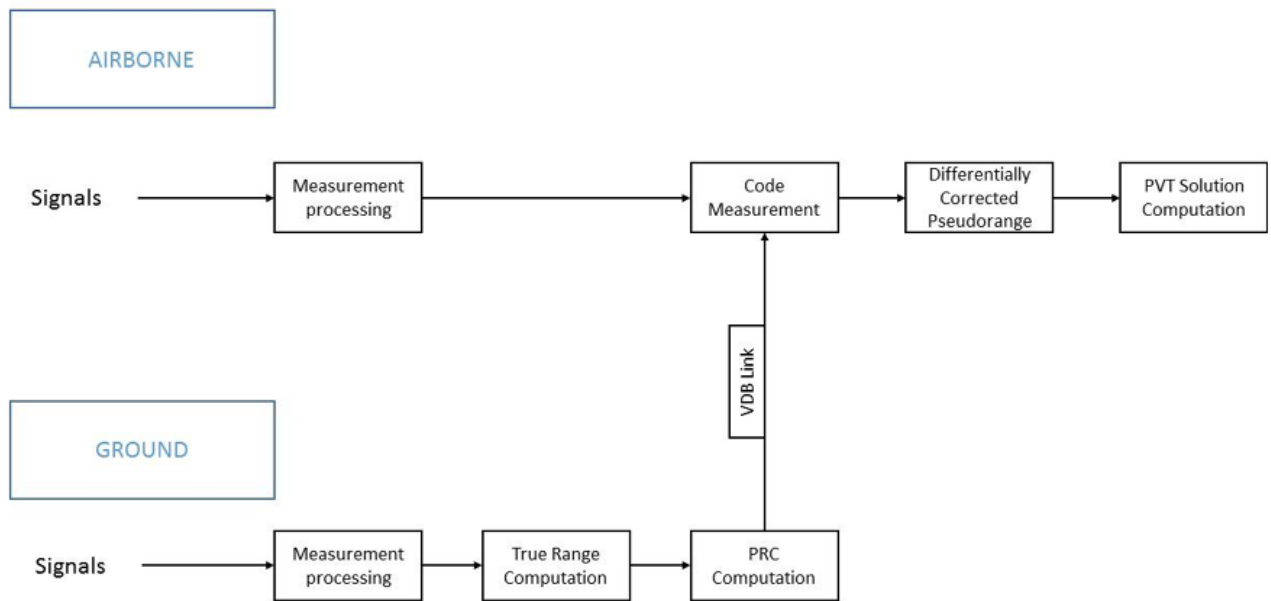


Рис. 1.6. Спрощена схема диференціальної ГНСС

Відстань між наземною станцією та користувачем впливає на точність КНР, оскільки просторова кореляція помилок у КНР зменшується із збільшенням відстані. Затримка часу між обчисленням виправлень та їх застосуванням на стороні користувача також є критичним параметром. Поправки повинні застосовуватися з найкоротшою затримкою, щоб отримати найкраще підвищення точності. Що стосується базової відстані, то затримка часу пов'язана з бажаним рівнем точності.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

В цьому розділі розглянуто концепцію системи CNS/ATM для організації повітряного руху. Глобальна навігаційна супутникова система частина концепції CNS/ATM.

Міжнародні польоти здійснюються за спеціальними повітряних трасах, що проходять над різними державами, територіями або групами районів польотної інформації. Межі даних районів не завжди поєднані з кордонами держав, територій або районів польотної інформації. Вони розглядаються виключно, виходячи з вимог

авіаційної фіксованої служби, для того, щоб надати максимально можливу допомогу при передачі трафіку повідомлень.

Для повноцінної реалізації програми CNS/ATM, потрібно рахувати аспекти проходження сигналів на відстань. До цього можновіднести деякі фактори, такі як, геомерія шляху, яку проходить сигнал, затримка проходження сигналу крізь верхні шари планети (іоносферу, тропосферу). Шуми, які виникають в космосі, та впливають на роботу приладів на Землі. Всі ці проблеми постають, але їх потрібно усувати, для безпечного та надійного супутникового зв'язку.

РОЗДІЛ 2

СУПУТНИКОВА СИСТЕМА IRIDIUM-NEXT

2.1 Загальні відомості про систему

Проект низькоорбітальної супутникової системи зв'язку IRIDIUM-NEXT заснований на широкому міжнародному співробітництві. У розробленому проекті спочатку передбачалося використовувати 77 супутників. Саме цій кількості супутників проект зобов'язаний своєю назвою: 77-й елемент у таблиці Менделєєва – Іридій. Правда пізніше з ряду причин було вирішено зменшити кількість супутників в орбітальному групуванні до 66, але назва проекту залишилася поперечною. В орбітальному групуванні для забезпечення мінімальної відстані між сусідніми супутниками вибрана оптимальна різниця кутів $(27)^\circ$ між площинами їхніх орбіт (Рис. 2.1.).

Зона покриття IRIDIUM-NEXT становить 100% нашої планети, це єдина телекомунікаційна компанія, яка охоплює кожен квадратний сантиметр поверхні Землі, від полюса до полюса, без провалів і зазорів.

Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з терміналами, розміщеними в будь-якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

Основні параметри орбітального групування:

1. Орбіти – квазіполярні з нахилом $i = 86,4^\circ$
2. Кількість орбіт – 6
3. Кількість супутників на одній орбіті – 11
4. Кутова відстань між супутниками, що знаходяться на одній орбіті, – $32,7^\circ$.
5. Висота орбіт – 780 км.
6. Період обертання супутників навколо Землі – 100 хв 28 сек.
7. Маса супутника - 860 кг.

8. Кількість променів, що формуються одним супутником — 48.
9. Діаметр променя - близько 50 км.
10. Термін служби супутника — 12,5 років з продовженням до 15 років.

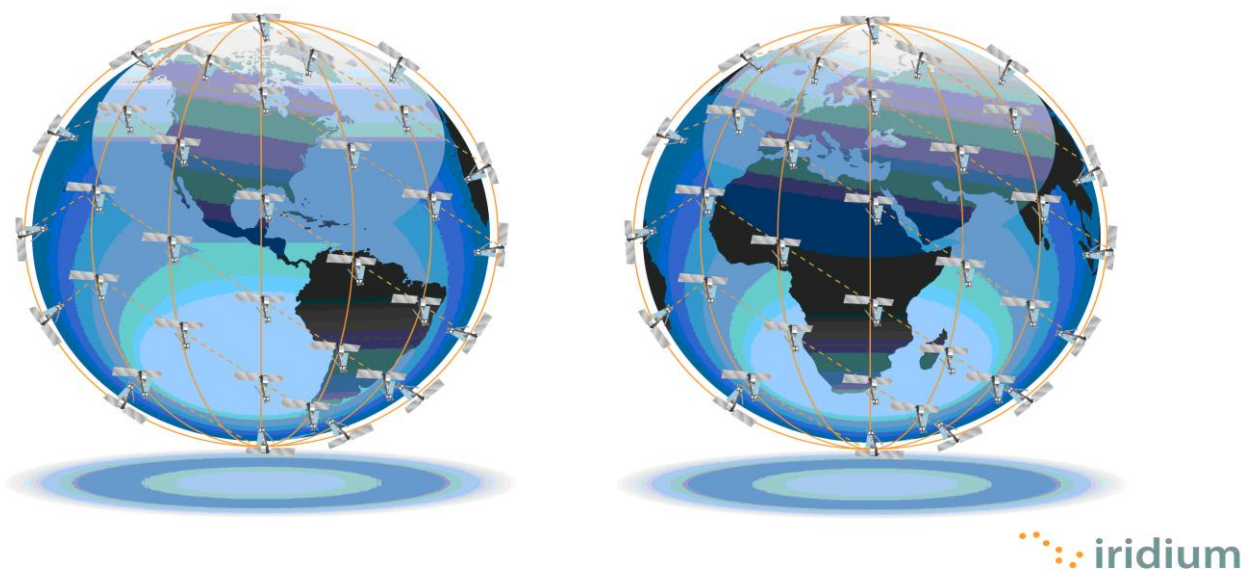


Рис. 2.1. Система IRIDIUM-NEXT: 66 супутників на шести квазіполярних орбітах

Відмінними рисами ССЗ IRIDIUM-NEXT є використання міжсупутникових каналів зв'язку і супутникових ретрансляторів (СР) зі складною обробкою сигналів. При цьому в ССЗ IRIDIUM-NEXT забезпечується можливість з'єднання абонентів системи без участі наземних ліній зв'язку. Однак для досягнення незалежності системи IRIDIUM-NEXT від наземних мереж доводиться використовувати досить складні та дорогі КА. Принципи керування зв'язком у ССЗ IRIDIUM-NEXT використовуються ті ж самі, що і у стільникових системах радіозв'язку.

Однак на відміну від наземних стільникових систем, де базові станції зв'язку встановлюються стаціонарно, а абоненти рухомі відносно базової станції, у системі IRIDIUM-NEXT рухомою є сама базова станція, встановлена на КА.

Зв'язок з рухомим абонентом здійснюється в діапазоні рухомої супутникової служби, а зі шлюзовими станціями, що здійснюють сполучення з комутованою мережею загального користування, – у діапазоні фіксованої супутникової служби.

Система IRIDIUM-NEXT призначена для глобального рухомого персонального зв'язку за принципом "кожен-кожному" на основі міжсупутникового зв'язку. Вона забезпечує такі види зв'язку і послуг:

1. Дуплексний радіотелефонний зв'язок;
2. Факсимільний зв'язок;
3. Передача даних;
4. Зв'язок між абонентами, що мають персональні супутникові термінали;
5. Зв'язок абонентів загальної телефонної мережі з користувачами персональних супутникових терміналів;
6. Визначення місця розташування абонентів.
7. Розміщена система спостереження ADS-B, кліматичний GEOScan.

До складу кожного супутникового телефону входить змінний або постійно встановлюваний елемент – модуль ідентифікації абонента (SIM-карта), що містить індивідуальний номер телефону та іншу інформацію. Абонент системи Iridium має єдиний номер телефону, доступний у будь-якому куточку світу, де дозволено користуватися послугами цієї системи. Користувачами універсального сервісного пакета послуг можуть стати як абоненти мережі IRIDIUM-NEXT, так і абоненти наземних стільникових мереж (підписуючи на такий пакет послуг, вони зберігають свій номер стільникового телефону). Практично цей вид послуг розширює для останніх зону дії системи стільникового зв'язку.

Крім того система забезпечує передачу повідомлень про координати абонента, обумовлених як засобами мовного зв'язку, так і спеціальними абонентськими пристроями.

Програма корисного вантажу, що розміщується в Iridium, була розроблена для різноманітних датчиків, таких як атмосферні монітори, висотоміри для моніторингу морської поверхні, хвиль та льоду, радіометри для глобального вимірювання радіаційного балансу Землі, мультиспектральні формувачі зображень для моніторингу навколишнього середовища, системи виявлення пожежі, датчики для спостереження за векторами руху полярних льодів або хмар.

Дані з розміщених корисних вантажів стають доступні операторам майже в реальному часі, переміщаючись по глобальній мережі міжспутникових каналів зв'язку, перш ніж надійти до наземного шлюзу, звідки дані передаються операторам приладів через наземні мережі, такі як Інтернет.

Будь-який супутник орбітального групування системи IRIDIUM-NEXT формує 48 променів випромінювання, утворюючи кожним променем на Землі стільник розміром 640 км. Орбітальне групування формує на поверхні Землі приблизно 2150 стільників при використанні 48 променів кожного супутника.

У сукупності 48 променів створюють підсупутникову зону розміром приблизно 4500 км. Все орбітальне групування формує квазісуцільну підсупутникову зону, що покриває всю поверхню Землі. Формування підсупутникової зони здійснюється за допомогою розташованих на кожному супутнику шести антенних фазованих решіток. Кожна решітка формує вісім променів. Завдяки застосуванню багатопроменевих антен і стільникової структури зони обслуговування, робочі частоти в системі Iridium використовуються багаторазово. При цьому в суміжних стільниках використовуються різні частоти, а в кожному восьмому стільнику можливе повторення частот. У результаті частоти діапазону 1616,0–1626,5 МГц використовуються в системі більш 150 разів.

У радіолініях "Абонент–КА" і "КА–абонент" застосовується часове розділення каналів. Формат багатостанційного доступу поєднує часове розділення каналів для кожного стільника і частотне розділення для суміжних стільників (FDMA). За допомогою фазової маніпуляції FM-4 здійснюється кодування інформації, що забезпечує стиснення мовної інформації в цифровому вигляді. Інформація про стиснення, а також сигнали циклічної і тактової синхронізації передаються по каналу керування, для чого в радіолінії "КА–абонент" задіяні 4 радіоканали. Коефіцієнт стиснення інформації (2,2/1) дозволяє забезпечити передачу в радіолінії "КА–абонент" 55 мовних каналів на 25 несучих частотах. Імовірність помилки на біт не перевищує: 10^{-3} – при передачі радіотелефонної інформації; 10^{-6} – при передачі цифрових даних. Діапазони частот радіоліній системи IRIDIUM-NEXT наведені в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Діапазони частот радіоліній системи IRIDIUM-NEXT

Діапазон	Радіолінія	Діапазон частот	Смуга частот каналу зв'язку
L	"Абонент-КА"	1616,0-1625,5 МГц	126 кГц
	"КА-абонент"	1616,0-1626,5 МГц	280 кГц
Ka	"КА-шлюзова станція"	19,6 ГГц	100 МГц
	"Шлюзова станція-КА"	29,1-29,3 ГГц	100 МГц
	Міжспутниковий зв'язок "КА-КА"	23,18-23,38 ГГц	200 МГц

Частотний діапазон комерційної радіолінії:

- «Абонент – КА» містить 64 частотних канали з рознесенням між ними 160 КГц (ширина смуги частот кожного каналу 126 КГц);
- «КА - абонент» містить 29 каналів з рознесенням між ними 350 КГц (ширина смуги частот кожного каналу 280 КГц).

Методи доступу. У радіолініях «абонент – КА» і «КА – абонент» застосовується часовий розподіл каналів. Формат багатостанційного доступу сполучить часовий розподіл каналів для кожного стільника і частотний розподіл для суміжних стільників (FDMA). За допомогою фазової маніпуляції ФМ-4 здійснюється кодування інформації, що забезпечує стиск мовної інформації в цифровому вигляді. Інформація про це, а також сигнали циклової і тактової синхронізації передаються вздовж каналу управління, для чого в радіолінії «КА – абонент» задіяно 4 радіоканали. Коефіцієнт стиску інформації (2,2/1) дає змогу забезпечити передавання в радіолінії «КА – абонент» 55 мовних каналів на 25 несучих частотах.

При передаванні радіотелефонної інформації ймовірність помилки на біт не вище 10^{-3} , при передаванні цифрових даних – 10^{-6} .

Орбітальне групування КА формує на поверхні Землі приблизно 2150 стільників при використанні 48 променів кожного КА. Отже, при використанні смуги частот 1616,0 – 1626,5 МГц пропускна здатність системи становить 3835 дуплексних телефонних каналів зв'язку.

Радіолінія міжсупутникового зв'язку. Кожен супутник орбітального групування має радіолінії зв'язку з двома сусідніми супутниками, що знаходяться в одній орбітальній площині з ним, і двома супутниками в сусідніх (ліворуч і праворуч) орбітальних площинах.

Для підтримки міжсупутникового зв'язку на кожному супутнику є чотири щільні антенні ґратки з коефіцієнтом підсилення 36 дБ. Точність керування діаграмою спрямованості кожної антени складає $\pm 5^\circ$. Використовується смуга частот шириною 200 МГц у діапазоні 23,18 – 23,38 ГГц. Для виключення взаємних завад у міжсупутникових каналах зв'язку смуга частот шириною 200 МГц розбита на 8 окремих частотних смуг, що утворюють окремі канали зв'язку. Швидкість передачі інформації в кожному каналі – 25 Мбіт/с. Метод модуляції і кодування інформації – такі ж, як у радіолінії "КА-абонент". Ймовірність помилки не вища 10^{-6} на 1 біт інформації. Кожен канал міжсупутникової лінії зв'язку підтримує 600 телефонних каналів без стиснення.

Шлюзові станції складаються з трьох приймально-передавальних комплексів. Кожен комплекс має швидкодіючу ЕОМ, у якій зберігається банк даних про персональні термінали, і комутаційне устаткування для зв'язку з телефонною мережею загального користування. У роботі постійно знаходяться два приймально-передавальних комплекси, які по черзі підтримують зв'язок з КА в прямій видимості. Третій приймально-передавальний комплекс резервний. При необхідності він може замінити 1-й або 2-й комплекс.

2.2. Склад супутникової системи IRIDIUM-NEXT

Система IRIDIUM-NEXT, структура якої наведена на рис. 2.2, містить чотири сегменти:

- космічний сегмент;
- сегмент керування, що складається із центра керування системою (ЦКС), який містить обчислювальний центр (ОЦ) і станцію управління (СУ);
- шлюзові наземні станції (ШС), що здійснюють швидкий і ефективний зв'язок ССЗ із телефонними мережами загального користування (ТФЗК);
- абонентські термінали.

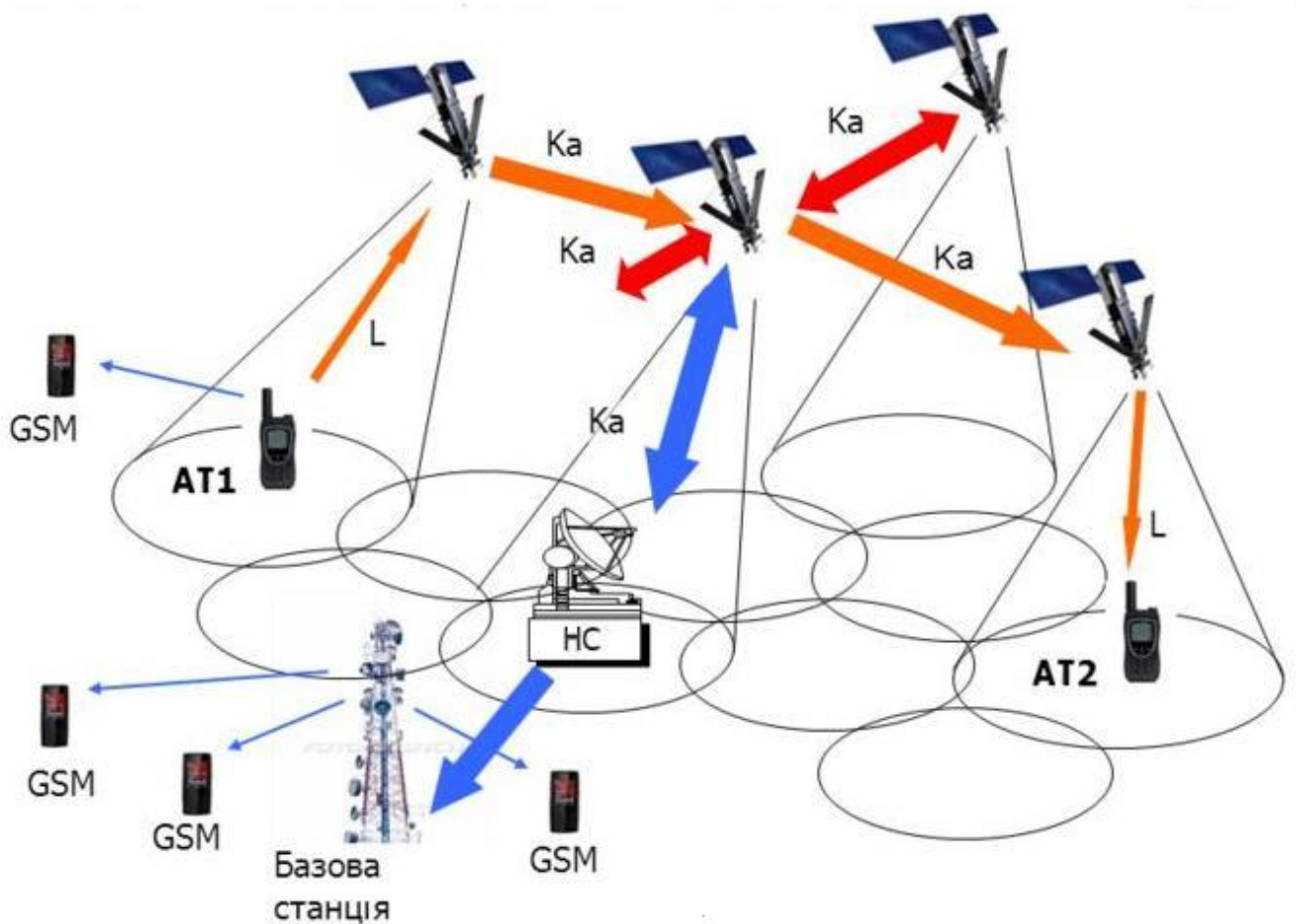


Рис 2.2. Склад системи IRIDIUM-NEXT

Кожний супутник має вагу до 860 кг і містить по три СР, призначених для реалізації користувальницького (абонентського) каналу, каналу керування і сполучення та каналу міжсупутникового зв'язку.

Кожний з КА має по три комплекти антен:

1. основного призначення;
2. перехресного міжсупутникового зв'язку;
3. каналу керування.

Анени основного призначення служать для зв'язку з абонентськими пристроями. У комплект антен основного призначення супутника включені сім антен з фазованими ґратками, кожна з яких містить набір локальних модулів прийому й передачі. Шість ідентичних антен утворюють тіло супутника у формі шестикутного циліндра, а сьома, розташовувана в його нижній частині, приймає сигнали по одиничному промені та випромінює сигнали від супутника (Рис. 2.3).

У системі IRIDIUM-NEXT повинні використовуватися як мінімум дві станції керування, оскільки сегмент керування повинен організувати комунікаційні канали зі «східним» супутником до перерви зв'язку з «західним» супутником.

З метою забезпечення нормального функціонування системи в різних ситуаціях – при невдалій роботі або аваріях земних станцій і навіть при катастрофічних відмовах будь-яких ланок земного або космічного сегмента, скажемо, через порушення деяких міжсупутникових каналів мережі сузір'я, відсутності з якихось причин супутника на своїй «робочій» орбіті і т. д., у ССЗ IRIDIUM-NEXT передбачене використання біля десяти станцій керування, розосереджених по різних континентах.

Шлюзова станція складається з трьох ідентичних комплексів прийому і передачі. Кожен комплекс має швидкодіючий комп'ютер (у якому зберігається банк даних про персональні термінали) і комутаційне устаткування для зв'язку з телефонною мережею загального користування. У роботі постійно знаходяться два комплекси прийому і передачі, що по черзі підтримують зв'язок із супутниками, які знаходяться в зоні видимості. Третій комплекс прийому і передачі – резервний. При необхідності він може замінити 1-й або 2-й комплекс.

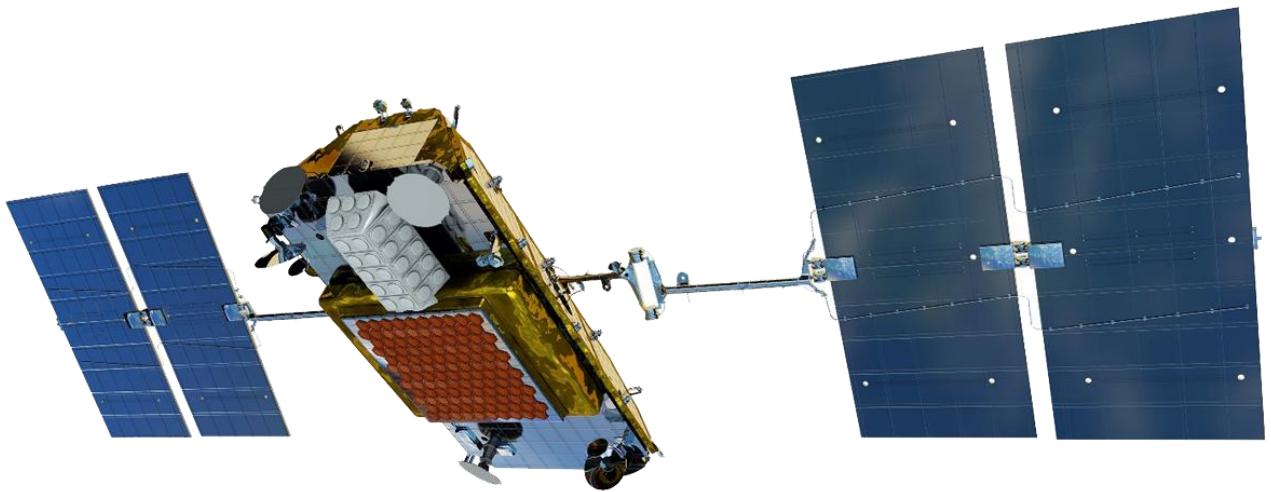


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд супутника IRIDIUM-NEXT

Абонентські термінали (АТ) являють собою:

1. портативні й мобільні засоби;
2. телефонні будки з сонячними батареями;
3. спеціалізоване авіаційне й морське користувацьке устаткування;
4. алфавітно-цифрові радіовикличні пристрої, за допомогою яких система

IRIDIUM буде забезпечувати своїх користувачів принаймні однією з таких послуг: телефонний і факсимільний зв'язок, передача цифрових даних, передача інформації про місцезнаходження.

Для підтримки сучасних засобів передачі даних і факсимільних повідомлень в абонентських пристроях системи IRIDIUM-NEXT передбачені порти для підключення комп'ютера або факс-апарата.

2.3. Принцип роботи системи супутникового зв'язку IRIDIUM-NEXT

При побудові супутникового зв'язку ретранслятор розміщується на штучному супутнику Землі, який рухається по досить високій орбіті через, що витрачається енергія на цей рух. Енергопостачання ретранслятора здійснюється за допомогою сонячних батарей. Оскільки супутник знаходиться на досить високій орбіті, він

охоплює велику частину поверхні Землі, що дозволяє здійснювати зв'язок через його ретранслятор всім станціям. Таким чином в даному випадку для системи IRIDIUM-NEXT потрібно 66 супутників, які зв'язані між собою радіолініями, що постійно діють, дозволяють створити глобальну систему зв'язку, не залишаючи "білих плям" на поверхні Землі.

Узагальнена структура організації супутникового зв'язку зображено на Рис. 2.4.

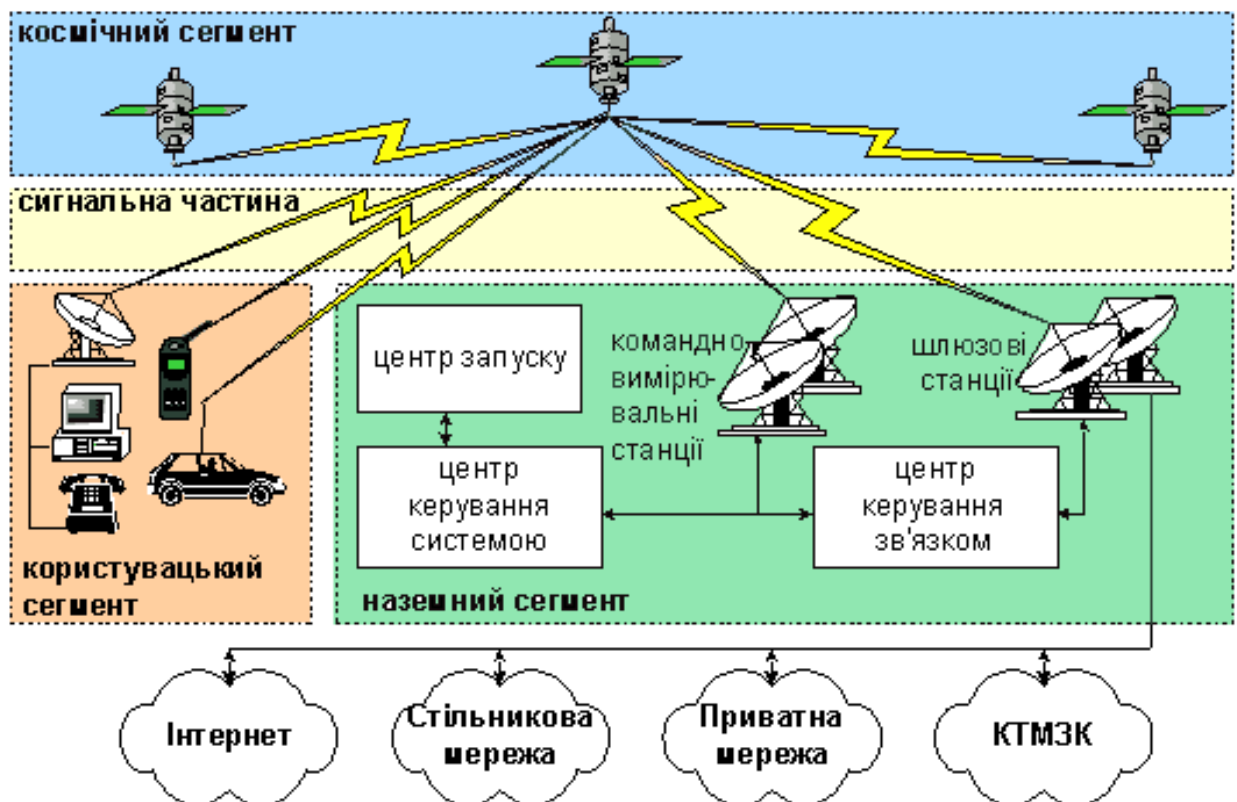


Рис. 2.4. Узагальнена структура організації супутникового зв'язку

Наземний сегмент складається із центра керування системою (ЦКС), центра запуску КА, командновимірної станції (КВС), центра керування зв'язком і шлюзовими станціями. ЦКС здійснює спостереження за КА, розрахунок їхніх координат, звірення і корекцію часу, діагностику працездатності бортової апаратури, передачу службової (командної інформації і т.д.). Дані функції керування виконуються на основі телеметричної інформації, що надходить від кожного КА

орбітального угруповання (ОУ). Для керування ОУ у різних режимах роботи КА використовують, як штатні канали зв'язку (з обліком перехресного супутникового зв'язку), так і окремі, територіально рознесені КВС. Завдяки цьому ЦКС дозволяє забезпечити з досить високою оперативністю: контроль запуску і точність запуску КА на задану орбіту, стани кожного КА, контроль і керування орбітою окремого КА, також функціонування КА в позаштатних режимах роботи: вихід КА зі складу ОУ.

Передача службової інформації на КА здійснюється через територіально-рознесенні основні і резервні станції КВС.

Центр запуску КА визначає програму запуску, здійснює побудову ракети-носія, її перевірку, а також установку корисного навантаження (КА) і проведення передстартових перевірок і випробувань. Після запуску ракети-носія роблять виміри траєкторії на активній ділянці польоту, які транслюються в ЦКС, де для формування проміжної орбіти коректуються розрахункові дані траєкторії. Наступне керування КА здійснюється ЦКС. Центр керування зв'язком планує використання ресурсу супутника, координуючи цю операцію із ЦКС, здійснює через національні ШС аналіз і контроль зв'язку, а також керування. У нормальних умовах роботи ОГ зв'язок зі ШС і користувальницькими терміналами здійснюється автономно. У позаштатних ситуаціях (у випадку висновку окремого КА з угруповання або при виході з ладу елементів ШС) центр переходить у режим підтримування зв'язку з підвищеним навантаженням, а в особливих випадках передбачається також можливість реконфігурування мережі.

Залежно від маси КА, видів роботи і висот орбіт обертання розрізняють 5 груп супутникових систем зв'язку. До них відносяться групи: little LEO, big LEO, MEO, NEO і GEO.

Група little LEO використовує угруповання легких КА, система супутникового зв'язку (ССЗ) групи little LEO полягає в передачі даних місця розташування об'єктів на місцевості.

Група big LEO використовує квазістаціонарні угруповання КА на низьких кругових орбітах обертання порядку 780 км. і є основний для організації персональної, радіотелефонної і пейджингової мережі зв'язку. Для забезпечення

потрібних потенціалів радіоліній і передачі великих об'ємів інформації в реальному масштабі часу стандарти ССЗ групи big LEO використовують автоматичні фазові антенні решітки, які створюють багато парціальних променів в сторону Землі. Кожен з променів створює на поверхні Землі свою зону обслуговування (ЗО).

Вибір орбіти обертання КА з необхідною кількістю базових станцій, частотних діапазонів для формування дуплексних каналів, швидкостей передачі та класів сигналів дозволяють створювати стандарти з пропускнуою здатністю порядку 1200 каналів ТЧ. В групі big LEO працюють такі ССЗ як IRIDIUM-NEXT, GLOBALSTAR, СИГНАЛ та інші.

Група МЕО використовує угруповання КА на середньовисотних орбітах обертання висотою 5000-15000 км. Це дозволяє істотно скоротити число КА на орбітах обертання. Вживання спеціальних параболічних антен на лініях “космос-земля” і “земля-космос”.

Шлюзова станція складається з декількох приймально-передавальних комплексів, у кожному з яких є параболічна антена, що стежить за супутником. Застосування декількох приймально-передавальних комплексів дозволяє практично без порушення зв'язку переходити послідовно від одного КА до іншого. Для керування великим потоком інформації до складу ШС включені швидкодіючі ЕОМ, у яких є банк даних персональних терміналів. ШС у своєму складі мають комутаційне устаткування для з'єднання з різними наземними системами зв'язку. Основним завданням будь-якої ШС є організація послуг.

Набір послуг IRIDIUM-NEXT включає передачу мови, даних, повідомлень факсимільних сигналів персонального радіо виклику (пейджингових повідомлень) і, крім того, визначення координат рухомих об'єктів. Слід зазначити, що система призначена для абонентів не тільки мобільного, але і звичайного зв'язку.

В ССЗ IRIDIUM-NEXT перш ніж встановити зв'язок, мобільний термінал повинен буде спочатку перевірити можливість роботи в наземній стільниковій мережі зв'язку і лише при неможливості цього встановлюватиметься з'єднання через супутник. В цьому випадку сигнал з абонентного терміналу передаватиметься через супутник і до викликаємого абонента, або на інший супутник в зоні якого

знаходиться викликаємий абонент і на найближчу земну станцію сполучення, яка з'єднає його з необхідним абонентом звичайної телефонної мережі, стільникової мережі або з абонентом системи IRIDIUM-NEXT. При цьому максимальна затримка сигналу не повинна перевищувати 150 мс, а час встановлення з'єднання - 2с. Світовий роумінг дозволить додзвонитися до абонента по одному і тому ж номеру, незалежно від його географічного місцезнаходження.

ССЗ IRIDIUM-NEXT використовує для забезпечення якісного зв'язку використовуються 4 дзеркальні антени, що механічно наводяться, з коефіцієнтом посилення $G = 36$ дБ кожна. Для забезпечення ретрансляції сигналів в космосі використовують 4 хвилеводно-щілинні антени, тобто для зв'язку з 2 сусідніми КА на одній орбіті і 2 КА на сусідніх орбітах. Це забезпечує можливість багатократно ретрансляції сигналів і створення сітки космічних ліній глобального радіозв'язку. Лінійні радіо зв'язки, що формуються між бортовими ретрансляторами супутників і мобільними терміналами, працюють діапазоні частот рухливої супутниковою служби 1616 - 1625,5 МГц. Структура контрольно-приймальної частини супутника зображена на рисунку 2.2.

Земні ШС проводять кодування мовного зв'язку і організацію між мережевої взаємодії, для передачі даних і повідомлень факсу, також для транспортування інформації з космічних апаратів.

Шлюзова станція може виконувати функцію домашньої станції (Home Gateway Functions). В цьому випадку дана шлюзова станція абонентна містить специфічну інформацію про абонентів для обробки викликів, аутентифікації, про привілеї і місце знаходження абонента. Приймавши виклик абонента, станція визначає, чи має абонент доступ до системи IRIDIUM-NEXT, і вирішує, яка ШС обслуговуватиме виклик.

Шлюзові станції працюють в діапазоні частот фіксованої супутниковою служби, причому напрямок космос-земля працює в діапазоні: 19,4 – 19,6 ГГц, а напрямок земля-космос в діапазоні: 29,1 – 29,3 ГГц. Кожна станція сполучення може обслуговувати декілька європейських країн. Це приводить до того, що видалені телефонні абоненти мережі ТмЗК, що не мають мобільних терміналів, для

використання стандарту IRIDIUM-NEXT повинні додзвонюватися до станції сполучення через декілька АТС. Це збільшує вартість експлуатації системи.

Для міжсупутникової ретрансляції сигналів використовується діапазон: 23,18 – 23,38 ГГц. Не дивлячись на значну каналну ємкість частотних діапазонів, кількість робочих частот виявляється недостатньою. Тому в системі передбачена можливість багатократного використання робочих частот. Усунення взаємних перешкод при цьому досягається шляхом просторового рознесення променів. Також для виключення взаємних перешкод повторне використання робочої частоти здійснюється через 6 променів. Один бортовий ретранслятор має можливість 7-кратного повторення робочих частот. Швидкість передачі цифрового потоку при телефонному зв'язку складає $B = 4800$ біт/с. При роботі в режимі обміну даними швидкість цифрового потоку складає $B = 2400$ біт/с.

Технічні особливості системи IRIDIUM-NEXT: в ній використовується комбінація частотного і тимчасового методів багато-станційного доступу FDMA/TDMA. FDMA – для розділення суміжного проміння; TDMA – для багато-станційного доступу в кожній парціальній зоні, кадри TDMA для радіоліній "абонент - КА" і "КА - абонент" ідентичні по структурі, але відрізняються по швидкості передачі в лінії і складає "абонент - КА" - 180 кбіт/с, а в лінії "КА - абонент" - 400 кбіт/с. Кількість каналів цифрового телефонного радіозв'язку, що формуються бортовою апаратурою, складає 3840. Спосіб модуляції QPSK із згладжуванням фази сигналу і вживання перешкодостійкого кодування з прямим виправленням помилок (FEC).

Забезпечення високої достовірності прийому цифрової інформації при заданому вигляді модуляції і швидкості передачі досягається великим енергетичним потенціалом радіолінії, не дивлячись на просту конструкцію АФУ мобільних терміналів. Необхідне відношення енергії сигналу до спектральної щільності шуму в абонентському каналі складає:

$$h^2 = \frac{E^c}{g} = 6,1 \text{ дБ} \quad (2.1)$$

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Системи супутникового зв'язку (ССЗ) дозволяють задовольнити нагальні потреби в каналах зв'язку, забезпечити швидке перемикання каналів на інші напрямки у залежності від зміни трафіку організувати оперативний зв'язок в умовах стихійних лих та катастроф, а також вони широко застосовуються для резервування наземних каналів.

Проектування мереж супутникового зв'язку являє собою процес обґрунтування і розрахунку основних енергетичних, техніко-економічних характеристик апаратури, а також експлуатаційних показників мережі зв'язку. При цьому задані вимоги щодо якості послуг, транспортних послуг (якості і надійності зв'язку) повинні бути максимально задоволені при мінімальних витратах всіх видів ресурсів.

Система IRIDIUM-NEXT призначена для глобального рухомого персонального зв'язку за принципом "кожен-кожному" на основі міжсупутникового зв'язку.

Проект низькоорбітальної супутникової системи зв'язку IRIDIUM-NEXT заснований на широкому міжнародному співробітництві.

Зона покриття IRIDIUM-NEXT становить 100% нашої планети.

Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з терміналами, розміщеними в будь-якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СУПУТНИКОВОЇ РАДІОЛІНІЇ У СКЛАДІ СИСТЕМИ CNS/ATM

3.1. Теоретичні відомості для розрахунку радіолінії

Проектування мереж супутникового зв'язку являє собою процес обґрунтування і розрахунку основних енергетичних, техніко-економічних характеристик апаратури, а також експлуатаційних показників мережі зв'язку. При цьому задані вимоги щодо якості послуг, транспортних послуг (якості і надійності зв'язку) повинні бути максимально задоволені при мінімальних витратах всіх видів ресурсів.

Основна особливість супутникових ліній зв'язку - велике затухання радіосигналу на ділянках лінії. Так, при висоті орбіти ШСЗ 36000 км (GEO), затухання радіосигналу в радіолінії досягає 200 дБ. Крім цього, радіосигнал зазнає випадкові зміни внаслідок поглинання радіохвиль в атмосфері і гідрометеорах, їх рефракції і деполяризації, фарадеївського обертання площини поляризації (обертання площини поляризації при поширенні електромагнітних хвиль в гіротропному середовищі, в випадку супутникового зв'язку - в космічній плазмі). На приймальні пристрої впливають перешкоди у вигляді випромінювань космосу, Сонця, Землі і інших планет. Враховуючі всі особливості супутникового зв'язку, це дозволяє виконати оптимальне проектування системи зв'язку, забезпечити її надійну роботу в найбільш складних умовах, і в той же час виключити зайві енергетичні витрати, що призводять до занадто складної побудови наземної та бортової апаратури.

Мета енергетичного розрахунку радіоліній, що входять в мережу супутникового зв'язку, складається в обґрунтованому виборі (розрахунку) енергетичних параметрів апаратури: потужності передавача, коефіцієнта шуму приймача, коефіцієнта посилення антен і втрат в антенно-фідерному тракті, які відповідають заданій достовірності та надійності роботи мережі. Після

енергетичного розрахунку визначаються структура станції і елементна база, уточнюється структура ліній і мережі в цілому, проводиться її техніко-економічне обґрунтування.

Аналітично взаємозв'язок потужностей сигналу на вході і виході радіолінії виражається в загальному вигляді першим рівнянням передачі (3.1), а зв'язок між мінімально необхідною потужністю сигналу на вході приймача (реальною чутливістю) і необхідною достовірністю передачі повідомлень в лінії визначається другим рівнянням передачі (3.32).

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} - L_{\Sigma}, \text{ дБмВт} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{прм}}$ - потужність сигналу на вході приймача, дБмВт;

$P_{\text{прд}}$ - потужність сигналу на виході передавача, дБмВт;

L_{Σ} - сумарне затухання сигналу в радіолінії, дБ

$$P_D = f[p_0(h_{\text{snr}}^2)] \quad (3.2)$$

де P_D - потужність сигналу на вході приймача на рівні реальної чутливості;

$p_0(h_{\text{snr}}^2)$ - необхідне значення ймовірності помилки для даної ділянки зв'язку, як функція відповідного їй значення відношення сигнал / шум h_{snr}^2 .

Для радіолінії "ШСЗ" потужність сигналу на вході приймача наземної станції $P_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}}$ можна визначити з першого рівняння передачі

$$P_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}} = P_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}} - \Delta W \Phi_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}} + G_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}} - W_0^{\text{ШСЗ-GES}} - W_{\text{ДОД}}^{\text{ШСЗ-GES}} + G_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}} - \Delta W \Phi_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}}, \text{ дБмВт} \quad (3.3)$$

де $P_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}}$ – потужність сигналу на виході передавача ШСЗ, дБмВт;

$\Delta W\phi_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}}$ – втрати в антенно-фідерном тракті, дБ; залежать від його конструкції і діапазону робочих частот; значення $\Delta W\phi_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}}$ можна визначити за формулою (3.4);

$G_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}}$ – підсилення антени ШСЗ на передачу, дБ; значення $G_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}}$ можна визначити за формулою (3.5);

$G_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}}$ – підсилення антени наземної станції на прийом, дБ; значення $G_{\text{ПРМ}}^{\text{GES}}$ можна визначити за формулою (3.5);

$W_0^{\text{ШСЗ-GES}}$ – втрати потужності сигналу у вільному просторі, дБ; значення $W_0^{\text{ШСЗ-GES}}$ можна отримати використовуючи формули (3.6) – (3.8);

$W_{\text{ДОД}}^{\text{ШСЗ-GES}}$ – додаткове затухання радіосигналу в радіолінії, дБ; додаткове затухання $W_{\text{ДОД}}^{\text{ШСЗ-GES}}$ складається з затухання в атмосфері без опадів, затухання в опадах і втрат через неточності наведення антен (3.9).

Втрати в антенно-фідерном тракті передачі (прийому) земної станції або радіоапаратури ШСЗ (бортового ретранслятора)

$$\Delta W\phi_{\text{ПРД}}^{\text{ШСЗ}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{\eta}\right), \text{ дБ} \quad (3.4)$$

де $\eta \approx 0,85 \dots 0,98$ – коефіцієнт передачі за проектною потужністю антенно-фідерного тракту передачі або прийому.

Підсилення антени G можна визначити за діаметром дзеркала (рефлектора) і довжиною робочої хвилі:

$$G = 10 \cdot \lg\left[\left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda}\right) \cdot \gamma_A\right], \text{ дБ} \quad (3.5)$$

де D – діаметр зеркала (рефлектора), м;

λ – довжина робочої хвилі радіолінії "ШСЗ", м;

$\gamma_A \approx 0,5 \dots 0,7$ – коефіцієнт використання поверхні дзеркала;

Втрати енергії радіохвиль для радіолінії "ШСЗ" при розповсюдженні у вільному просторі визначаються відповідно до виразу

$$W_0 = 20 \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_I}{\lambda}\right), \text{ Дб} \quad (3.6)$$

де λ – довжина робочої хвилі радіолінії, м;

R_I – похила дальність, м, визначається як

$$R_I = \sqrt{R_3 + (R_3 + H)^2 - 2 \cdot (R_3 + H) \cdot R_3 \cdot \cos \rho}, \text{ м} \quad (3.7)$$

$R_3 = 6,367 \cdot 10^6$ м – радіус Землі;

H – висота орбіти ШСЗ, м;

ρ – топоцентричний параметр, який може бути визначений з виразу

$$\cos \rho = \cos Lat \cdot \cos(A - Lon) \cdot \cos \emptyset + \sin Lat \cdot \sin \emptyset \quad (3.8)$$

Lon – географічна довгота "підсупутникової точки", $^{\circ}$ с.д.;

Lat – географічна широта "підсупутникової точки", $^{\circ}$ пн.ш.;

A – географічна довгота земної станції, $^{\circ}$ с.д.;

\emptyset – географічна широта земної станції, $^{\circ}$ пн.ш.

Додаткове затухання $W_{\text{ДОД}}^{\text{ШСЗ-GES}}$ складається з затухання в атмосфері без опадів W_A , затухання в опадах (гідрометеорах) W_T і втрат через неточності наведення антен W_H :

$$W_{\text{ДОД}}^{\text{ШСЗ-GES}} = W_A + W_T + W_H, \text{ Дб.} \quad (3.9)$$

Затухання в атмосфері W_A визначається головним чином поглинанням в тропосфері і має яскраво виражений частотно-залежний характер з резонансними піками на частотах 22 і 165 ГГц (для водяної пари) і 60 і 120 ГГц (для кисню).

Довжина шляху радіосигналу в атмосфері і, як наслідок, затухання залежить від еквівалентної товщини атмосфери і від кута місця антени земної станції El :

$$W_A = \frac{\gamma_O \cdot h_O + \gamma_B \cdot h_B}{\sin El}, \text{ дБ} \quad (3.10)$$

де γ_O – погонне затухання в кисні, дБ/км; в діапазоні частот 10...20 ГГц $\gamma_O \approx 0,02$ дБ/км;

γ_B – погонне затухання в водяній парі, дБ/км; при абсолютній вологості повітря $7,5 \text{ г/м}^3$ на частоті 10 ГГц $\gamma_B \approx 0,004$ дБ/км, на частоті 15 ГГц $\gamma_B \approx 0,03$ дБ/км, на частоті 20 ГГц $\gamma_B \approx 0,3$ дБ/км;

h_O – еквівалентна товщина (висота) шару кисню; на практиці з достатнім ступенем точності можна вважати, що $h_O \approx 6$ км;

h_B – еквівалентна товщина (висота) шару водяної пари; на практиці з достатнім ступенем точності можна вважати, що $h_B \approx 2,2$ км.

Кут місця антени El залежить від широти і довготи розміщення земної станції, а також від положення ШСЗ на орбіті. У загальному випадку кут місця може бути визначено з виразу:

$$El = \arctg \frac{\cos \rho - \alpha}{\sin \rho} \quad (3.11)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{R_3}{R_3 + H}.$$

Загасання в опадах (гідрометеорах) W_T зазвичай не перевищує 3 дБ, тому в (3.9) можна прийняти $W_T = 3$ дБ.

Втрати через неточності наведення антен $W_H \approx 1$ дБ.

3.2. Практична частина

В даному розділі дипломній роботі було розраховано радіолінію супутникової системи IRIDIUM-NEXT і визначено потужність сигналу на вході приймача бортової станції P_{PPM}^{PGES} .

Для розрахунку енергетики каналу було досліджено рейс PS 231 (Київ- Нью-Йорк) за 18.05.2021 (з допомогою електронного ресурсу www.flightradar24.com). На основі проведеного аналізу встановлено, що точка з координатами (-31° зх.д, 59.8° пн.ш) є найбільш віддаленою від суші. Тому постала проблема забезпечення зв'язку в даній точці, рішенням якої стало використання радіолінії супутникової системи IRIDIUM-NEXT.

Для розрахунку енергетики було розглянуто сеанс зв'язку 1 хв (13:13:30-13:14:30 час UTC), в цей час літак перебував в зоні радіовидимості супутника IRIDIUM-NEXT 39 [B], кут місця на початку сеансу зв'язку $El = 63.8^\circ$, в кінці - $El = 50.2^\circ$.

Розрахунку енергетики було реалізовано в програмному забезпеченні Matcad.

В таблицях 3.1 - 3.2 представлені результати розрахунку.

Розрахунок P_{PPM}^{PGES} для точки з координатами (31° зх.д, 59.8° пн.ш), проводився на частоті $f = 1616$ МГц. Кут місця на початку сеансу зв'язку $El = 63.8^\circ$. Дані отримані з програми WXtrack, шляхом дослідження положення супутника в даній точці.

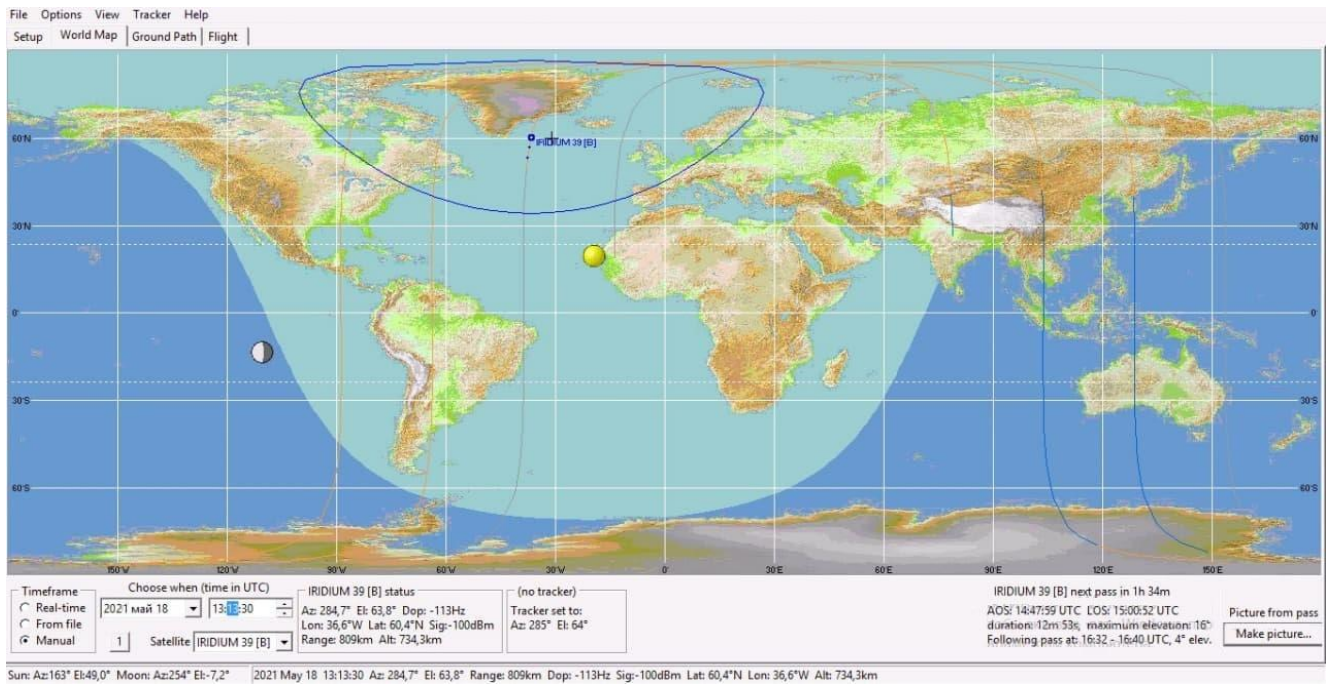


Рис. 3.1. Дані отримані з програми WXtrack на початку сеансу зв'язку

Таблиця 3.1.

Розрахунок радіолінії за проміжок часу

P_{PPM}^{GES}	$P_{ПРД}^{ШСЗ}$	$\Delta W\phi_{ПРД}^{ШСЗ}$	$G_{ПРД}^{ШСЗ}$	$W_0^{ШСЗ-GES}$	$W_{ДОД}^{ШСЗ-GES}$	G_{PPM}^{GES}	$\Delta W\phi_{PPM}^{GES}$
-106.16	57	0.706	12	171.3	5.42	3	0.706

Розрахунок P_{PPM}^{GES} для точки з координатами (31.25° зх.д, 59.75° пн.ш), проводився на частоті $f = 1616$ МГц. Кут місця в кінці сеансу зв'язку $El = 50.2^\circ$. За цей час літак перемістився на 12 км. Дані отримані з програми WXtrack, шляхом дослідження положення супутника в даній точці.

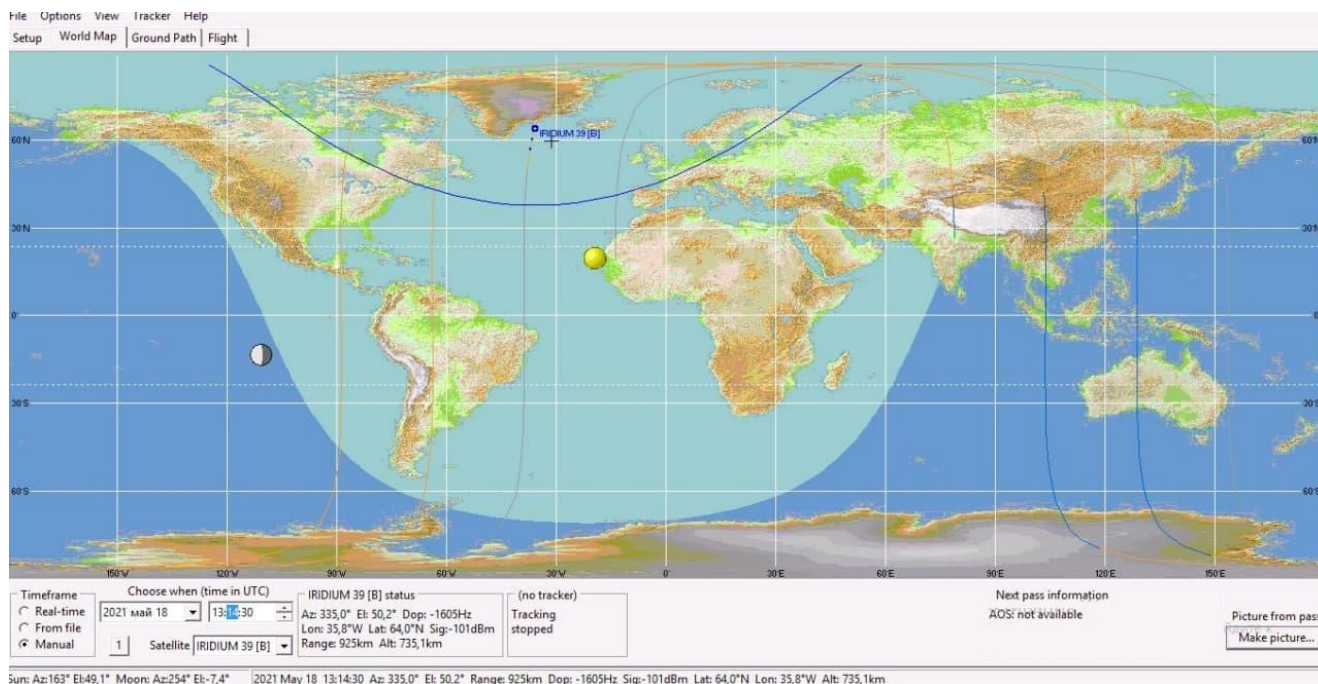


Рис. 3.2. Дані отримані з програми WXtrack в кінці сеансу зв'язку

Таблиця 3.2.

Розрахунок радіолінії за проміжок часу

P_{PPM}^{GES}	$P_{PPD}^{ШСЗ}$	$\Delta W\phi_{PPD}^{ШСЗ}$	$G_{PPD}^{ШСЗ}$	$W_0^{ШСЗ-GES}$	$W_{ДОД}^{ШСЗ-GES}$	G_{PPM}^{GES}	$\Delta W\phi_{PPM}^{GES}$
-107.5	57	0.706	12	172.3	5.64	3	0.706

Для наглядності результатів сеанс зв'язку було збільшено до 2 хв. При цьому літак перебував в точці з координатами (32° зх.д, 59.2° пн.ш), кут місця для якої становить $EI = 33.9^\circ$.

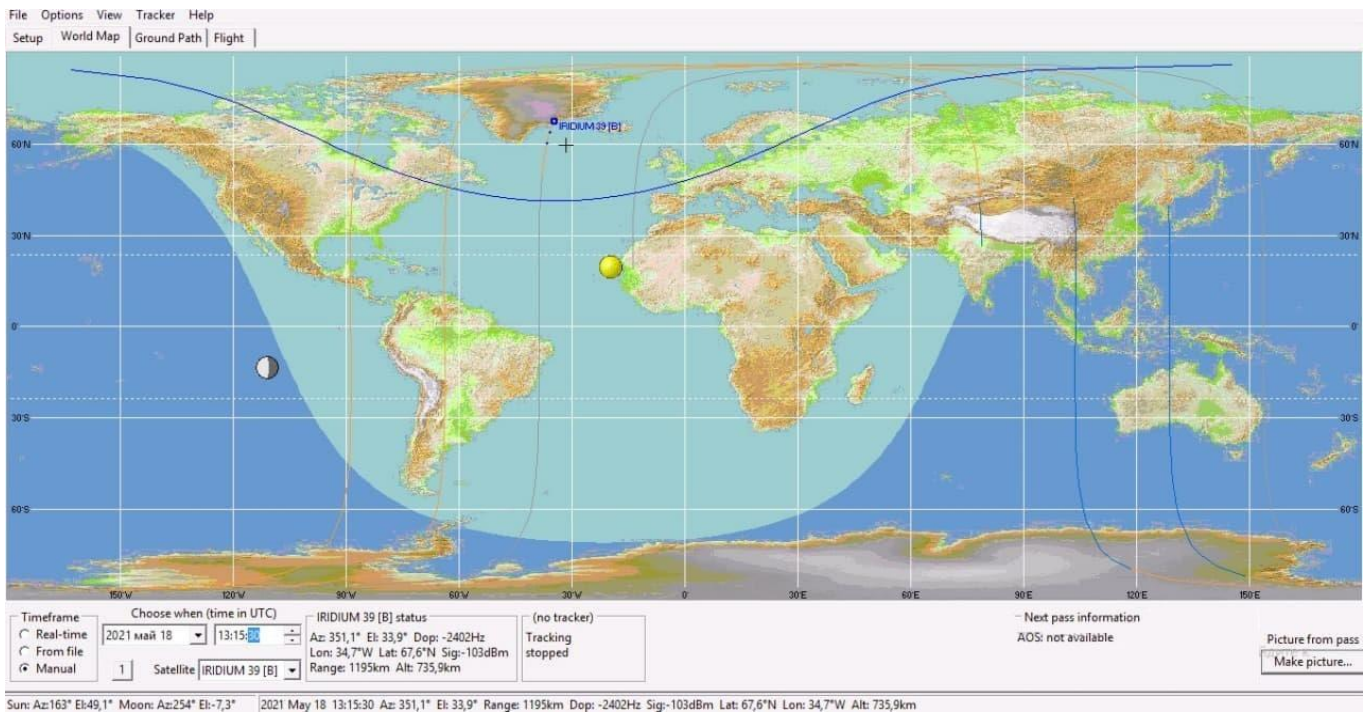


Рис. 3.3. Дані отримані з програми WXtrack при збільшенні сеансу зв'язку

P_{PPM}^{PGES} для даної точки складає -110.521 дБмВт, що свідчить про затухання сигналу в 4.5 рази.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Мета енергетичного розрахунку супутникових радіоліній, що входять в мережу системи CNS/ATM, складається в обґрунтованому виборі (розрахунку) енергетичних параметрів апаратури: потужності передавача, коефіцієнта шуму приймача, коефіцієнта посилення антен і втрат в антенно-фідерному тракті, які відповідають заданій достовірності та надійності роботи мережі.

Проаналізувавши результати розрахунку радіоліній, очевидно, що затухання радіосигналу в лінії, залежить від втрат в антенно-фідерном тракті, втрат

потужності сигналу у вільному просторі та додаткового затухання радіосигналу в радіолінії.

Додаткове затухання складається з затухання в атмосфері без опадів, затухання в опадах (гідрометеорах) і втрат через неточності наведення антен.

Найбільші втрати потужності радіосигналу в лінії вносить додаткове затухання, а саме затухання в атмосфері.

Затухання в атмосфері визначається головним чином поглинанням в тропосфері.

З розрахунків видно, що найбільший вплив на затухання в атмосфері має еквівалентна товщина атмосфери та кут місця антени земної станції. Оскільки, при тривалості сеансу зв'язку 2 хв, потужність сигналу зменшилася в 4,5 рази, кут місця змінився на 30° , при цьому потужність сигналу на вході приймача становить -110.52 дБм, що відповідає належній якості сигналу, оскільки чутливість приймача складає -150 дБм.

ВИСНОВКИ

Оскільки, при організації повітряного руху, постає проблема забезпечення надійного зв'язку над водними, гірськими та малозаселеними поверхнями (зокрема Атлантичного океану).

Проаналізувавши можливі види зв'язку в цивільній авіації України, було зроблено висновок, що найбільш доцільним є використання супутникового зв'язку. Для конкретного рейсу МАУ PS231 “Київ - Нью-Йорк” при розташуванні повітряного судна у найвіддаленіших від земної поверхні регіонах Північної Атлантики, було розраховано супутникову радіолінію, що входять в мережу системи CNS/ATM супутникової системи IRIDIUM-NEXT.

Оскільки, основна супутникова система INMARSAT не здатна забезпечити надійний зв'язок на широтах вище 70° пн.ш. та нижче 70° пд.ш, то в даній дипломній роботі було розраховано супутникову радіолінію, що входять в мережу системи CNS/ATM супутникової системи IRIDIUM-NEXT, зона покриття якої становить 100% нашої планети, це єдина супутникова система, яка охоплює кожен квадратний сантиметр поверхні Землі, від полюса до полюса, від сходу до заходу, без провалів і зазорів.

Системи супутникового зв'язку дозволяють задовольнити нагальні потреби в каналах зв'язку, забезпечити швидке перемикання каналів на інші напрямки у залежності від зміни трафіку організувати оперативний зв'язок в умовах стихійних лих та катастроф, а також вони широко застосовуються для резервування наземних каналів.

Мета розрахунку радіоліній, що входять в мережу супутникового зв'язку, складається в обґрунтованому виборі (розрахунку) енергетичних параметрів апаратури: потужності передавача, коефіцієнта шуму приймача, коефіцієнта посилення антен і втрат в антенно-фідерному тракту, які відповідають заданій достовірності та надійності роботи мережі. Після енергетичного розрахунку визначаються структура станції і елементна база, уточнюється структура ліній і

мережі в цілому, проводиться її техніко-економічне обґрунтування.

Проаналізувавши результати розрахунку супутникову радіолінії, було очевидно, що затухання радіосигналу в лінії, залежить від втрат в антенно-фідерном тракті, втрат потужності сигналу у вільному просторі та додаткового затухання радіосигналу в радіолінії.

Найбільші втрати потужності радіосигналу в лінії вносить додаткове затухання, а саме затухання в атмосфері.

Затухання в атмосфері визначається головним чином поглинанням в тропосфері.

З розрахунків видно, що найбільший вплив на затухання в атмосфері має еквівалентна товщина атмосфери та кут місця антени земної станції E1. Оскільки, при тривалості сеансу зв'язку 2 хв, потужність сигналу зменшилася в 4,5 рази, кут місця змінився на 30° , при цьому потужність сигналу на вході приймача становить - 110.52 дБм, що відповідає належній якості сигналу, оскільки чутливість приймача складає -150 дБм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Система IRIDIUM-NEXT. [Електронний ресурс].– Режим доступу: www.iridium.ru.
2. «Правила авіаційного електрозв'язку в цивільній авіації України». [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show>.
3. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети. : Пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2003.
4. В. Л. Банкет. Современные и перспективные системы спутниковой связи: . – Одесса: УГАС, 1996. – с. 30–63
5. Дятлов А.П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: Учебное пособие. 4.1. Таганрог. ТРТУ. 1997. 95 с.
6. ICAO [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://www4.icao.int/ganpportal/GanpDocument#/?_k=vg0j1a
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002
8. Михаил Евсиков, Сергей Матвеев. Globalstar: спутниковая система персональной связи.// КомпьютерПресс, 1998. – №10.
9. IRIDIUM-NEXT Everywhere [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>
10. Flightradar24. [Електронний ресурс].– Режим доступу: www.flightradar24.com.

ДОДАТОК А

У Правилах авіаційного електрозв'язку в цивільній авіації України деякі терміни мають такі визначення:

Абонент авіаційного електрозв'язку – посадова особа, яка користується авіаційним електрозв'язком.

Авіаційне радіомовлення – передавання інформації стосовно аеронавігації, яка не адресується конкретній станції або станціям.

Авіаційна рухома служба (AMS) (RR S1.321) – рухома служба електрозв'язку між авіаційними станціями та бортовими станціями або між бортовими станціями, в яку можуть входити станції рятувальних засобів; у цю службу можуть входити також станції радіомаяків – індикаторів місця лиха, які працюють на частотах, призначених для повідомлень про лихо та аварійних повідомлень.

Авіаційна рухома супутникова служба (AMSS) (RR S1.35) – рухома супутникова служба, в якій рухомі земні станції установлені на борту ПС; у цю службу можуть входити також станції рятувальних засобів та станції радіомаяків-індикаторів місця лиха.

Авіаційна фіксована служба (AFS) – служба електрозв'язку між визначеними фіксованими пунктами, яка призначена головним чином для забезпечення безпеки аеронавігації, а також регулярності, ефективності та економічності повітряних сполучень.

Авіаційний адміністративний електрозв'язок (AAC) – електрозв'язок, який використовується авіаційними експлуатаційними агентствами для вирішення службових питань забезпечення польотів і транспортних послуг.

Автоматичне залежне спостереження (ADS) – метод спостереження, згідно з яким ПС автоматично надають по лінії передавання даних інформацію, отриману від бортових навігаційних систем та систем визначення місцезнаходження, а також розпізнавальний індекс ПС, дані про його місцезнаходження у чотирьох вимірах і додаткові дані у разі необхідності.

Диспетчерське обслуговування підходу – диспетчерське обслуговування контрольованих польотів ПС, що прибувають або відлітають.

Диспетчерське обслуговування повітряного руху (управління повітряним рухом) – обслуговування, що здійснюється з метою:

- запобігання зіткненням між повітряними суднами;
- запобігання зіткненням повітряних суден з перешкодами в зоні маневрування;
- прискорення та підтримки впорядкованого потоку повітряного руху.

Диспетчерський район – частина контрольованого повітряного простору, який простягається від межі, встановленої над земною поверхнею, до встановленої верхньої межі, контроль та обслуговування повітряного руху в якій здійснюється відповідним диспетчерським органом.

Діапазон частот – визначений безперервний інтервал частот, в якому коливання та хвилі мають порівнянні властивості й умовну назву.

Електрозв'язок "диспетчер - пілот" по лінії передавання даних (CPDLC) – засіб електрозв'язку між диспетчером та пілотом з метою управління повітряним рухом з використанням лінії передавання даних.

Електрозв'язок між центрами (ICC) – обмін між органами ОПП даними, які стосуються повідомлень, координації, передачі керування, планування польотів, організації повітряного простору та організації потоків повітряного руху під час забезпечення ОПП.

Еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем (OSI) – модель, яка забезпечує стандартний підхід до проектування мереж на основі модульної структури під час розподілення складного набору функцій на сім більш керованих автономних функціональних рівнів. Ці рівні прийнято, як правило, зображати у вертикальній послідовності.

Канал авіаційного електрозв'язку – сукупність технічних засобів та середовища поширення сигналів, яка забезпечує передавання повідомлень під час підключення абонентських пристроїв.

Мережа авіаційного фіксованого електрозв'язку (AFTN) – всесвітня система авіаційних фіксованих ланцюгів, яка є частиною авіаційної фіксованої служби та передбачає обмін повідомленнями та (або) цифровими даними між авіаційними фіксованими станціями з аналогічними чи сумісними зв'язковими характеристиками.

Мережа електрозв'язку – сукупність засобів та споруд електрозв'язку, поєднаних в єдиному технологічному процесі для забезпечення інформаційного обміну.

Надійність авіаційного електрозв'язку – здатність засобів електрозв'язку і абонентів забезпечувати своєчасне встановлення та стале утримання безперебійного зв'язку впродовж усього польоту і в будь-який час доби за умови високої якості передавання повідомлень та їхньої достовірності.

Обслуговування повітряного руху – комплекс заходів, який забезпечує польотно-інформаційне обслуговування, аварійне оповіщення, диспетчерське обслуговування повітряного руху (районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування).

Організація потоків повітряного руху (ATFM) – служба, яка створюється з метою сприяння безпечному, послідовному та прискореному потоку повітряного руху для забезпечення максимально можливого використання пропускної здатності управління повітряним рухом (УПР) і відповідності обсягу повітряного руху пропускній здатності, яка заявлена відповідним уповноваженим органом ОПР.

Повітряний рух – усі повітряні судна, що перебувають у польоті або рухаються у зоні маневрування аеродрому.

Польотно-інформаційне обслуговування (FIS) – обслуговування, метою якого є надання консультацій та інформації для забезпечення безпечного і ефективного виконання польотів.

Сигнал лиха (МЕЙДЕЙ) – міжнародний радіосигнал, який передається у випадках, коли ПС або екіпажу та пасажиром, які перебувають на ньому, загрожує безпосередня небезпека і необхідна термінова допомога.

Система обробки повідомлень з ОПП (AMHS) – сукупність обчислювальних ресурсів та ресурсів з електрозв'язку, які реалізуються органами ОПП для забезпечення служби обміну повідомленнями з ОПП.

Служба авіаційного електрозв'язку – служба електрозв'язку, яка призначена для будь-яких авіаційних потреб.

Станція AFTN – станція, яка є частиною мережі авіаційного фіксованого електрозв'язку та діє з дозволу або під контролем держави.

Супутниковий електрозв'язок – електрозв'язок між наземними станціями, який здійснюється завдяки ретрансляції радіосигналів через один або декілька супутників Землі.

ASHTAM – Ash To Airmen – NOTAM спеціальної серії, яке містить в особливій формі інформацію щодо змін вулканічної діяльності, вулканічного виверження та (або) хмари вулканічного попелу і має важливе значення для виконання польотів.

NOTAM – Notice To Airmen – оповіщення, яке розсилається засобами електрозв'язку та містить інформацію про введення в дію, стан або зміну будь-якого аеронавігаційного обладнання, обслуговування та правил або інформацію про небезпеку; своєчасне попередження про них має важливе значення для персоналу, який забезпечує виконання польотів.

SADIS – Satellite System of Distribution of the Meteorological Information – супутникова система розсилання даних Всесвітньої системи зональних прогнозів (ВСЗП) в Африканському, Європейському та Близькосхідному регіонах, а також у західній частині Азіатського регіону.

SNOWTAM – Snow To Airmen – NOTAM спеціальної серії, яке повідомляє за установленим форматом про існування або ліквідацію небезпечних умов, викликаних наявністю снігу, льоду, сльоти або стоячої води, утвореної внаслідок розтавання снігу, сльоти та льоду на робочій площині аеродрому.