

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Дослідження космічних та наземних систем радіомовлення»

Виконавець: \_\_\_\_\_ Владислав ГІНЬКО  
(підпис)

Керівник: \_\_\_\_\_ Юлія ПЕТРОВА  
(підпис)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

Київ 2023

## 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

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

### ЗАВДАННЯ на виконання кваліфікаційної роботи

Гінька Владислава Андрійовича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження космічних та наземних систем радіомовлення» затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст
2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: супутники на низькій орбіті
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, загальні принципи побудови супутникових систем зв'язку, аналіз сучасних систем радіомовлення, супутникові системи.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: радар SIR-C/X-SAR Космічного корабля Ендевор із зображенням вулкана Тейде, зображення Роттердаму у радіолокаційному діапазоні, основні орбіти супутників

## 6. Календарний план графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 25.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	Загальні принципи побудови супутникових систем зв'язку	26.05.2023- 31.05.2023	Виконано
4	Аналіз сучасних систем радіомовлення	01.05.2023- 03.06.2023	Виконано
5	Супутникові системи	04.06.2023- 07.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Юлія Петрова

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис випускника)

Гінько Владислав

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Дослідження космічних та наземних систем радіомовлення» містить 54 сторінок, 9 рисунків, 4 таблиці, 13 використаних джерел.

### **СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ, НАЗЕМНИЙ СЕГМЕНТ, КОСМІЧНИЙ СЕГМЕНТ, РАДІОЛІНІЇ, ІСЕУЕ, СІЧ**

**Об'єкт дослідження** – космічні і наземні компоненти сучасних систем радіомовлення та їх взаємодія.

**Предмет дослідження** – використання супутникових систем зв'язку в цивільному житті та військовому сегменті

Мета кваліфікаційної роботи – проаналізувати роботу різних супутникових систем і їх використання у рамках військового стану та дізнатися чи можливо з перспективою на майбутнє створення свого військового супутника і запуск його на одну з орбіт.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел, порівняльний аналіз.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при аналізі та доцільності використання низькоорбітальних супутників.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ССЗ – супутникові системи зв'язку).

GEO – геостаціонарна орбіта (Geostationary Orbit).

MEO – середня орбіта (Medium Earth Orbit).

LEO – низька орбіта (Low Earth Orbit).

SSO – сонячно-синхронна орбіта(Sun-Synchronous Orbit ).

UDP– протокол датаграм користувача (User Datagram Protocol).

EMC – електромагнітна сумісність (Electromagnetic Compatibility,).

SAR – радар із синтезованою апертурою (Synthetic Aperture Radar).

ViSAR – відео радар із синтезованою апертурою.

АТС – автоматична телефонна станція.

АТГС – автоматична телеграфна станція.

АМТМ – апаратна міжміська телефонна мережа.

АМТ– апаратна міжміського телебачення.

ДІ – джерела інформації.

ПІ – приймачі інформації.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РАДІОМОВЛЕННЯ.....	9
1.1 Первинні поняття і визначення.....	9
1.2 Основні поняття та підходи до класифікації систем радіомовлення..	13
1.3 Вимоги до систем радіомовлення і критерії їх оцінювання.....	14
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ .....	27
2.1. Призначення, види і характеристики супутникових систем.....	27
2.2. Орбіти супутників .....	32
2.3 Протоколи супутникових систем .....	38
2.4 Наземний сегмент супутникових систем.....	41
РОЗДІЛ 3. СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ.....	45
3.1. Космічні супутники ІСЕУЕ .....	45
3.2 Супутники сімейства СІЧ .....	49
3.3 Порівняння супутникових систем ІСЕУЕ та СІЧ .....	50
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

## ВСТУП

Тема "Дослідження космічних та наземних систем радіомовлення" має велику актуальність у сучасному світі. Ось кілька причин, чому ця тема залишається актуальною:

**Космічні дослідження:** Космічні місії та дослідження стають дедалі складнішими та амбітнішими. Удосконалення систем радіомовлення дозволяє забезпечити ефективний зв'язок з космічними апаратами, передавати важливі дані, отримувати зображення та забезпечувати безпеку польотів.

**Зв'язок інтернету:** Швидкий та надійний доступ до Інтернету є необхідним для сучасного суспільства. Дослідження в цій галузі допомагають розвивати технології передачі даних, такі як 5G та 6G мережі, що забезпечують високі швидкості та потужність зв'язку.

**Наукові дослідження:** Радіомовлення використовується у наукових дослідженнях космосу, астрономії, планетології та інших галузях.

**Комунікація та безпека:** Космічні та наземні системи радіомовлення є важливим елементом комунікації між людьми, машинами та системами. Вони забезпечують надійний зв'язок, допомагають керувати космічними апаратами, забезпечувати безпеку та координацію в різних галузях, таких як авіація, транспорт, медицина та аварійна служба.

**Розвиток технологій:** Дослідження в цій галузі сприяють розвитку нових технологій, удосконаленню антен, пристроїв та методів передачі сигналів. Це стимулює інновації, покращує якість зв'язку та впливає на багато сфер життя людей.

Мета кваліфікаційної роботи – проаналізувати роботу різних супутникових систем і їх використання у рамках військового стану та дізнатися чи можливо з перспективою на майбутнє створення свого військового супутника і запуск його на одну з орбіт.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Вибір економнішої та кориснішої орбіти

## 2. Вибір характеристик супутника

Об'єкт дослідження роботи є космічні і наземні компоненти сучасних систем радіомовлення та їх взаємодія.

Предмет дослідження – використання супутникових систем зв'язку в цивільному житті та військовому сегменті.



# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РАДІОМОВЛЕННЯ

### 1.1. Первинні поняття і визначення

Сучасні системи радіомовлення представляють собою комплексні і передові технологічні рішення, що використовуються для передачі і отримання сигналів за допомогою радіохвиль. Основні сучасні системи радіомовлення включають в себе (повна класифікація наведена на рис. 1.1):

- Цифрове радіо
- Супутникове радіо
- Мобільні радіосистеми
- Локальні бездротові мережі

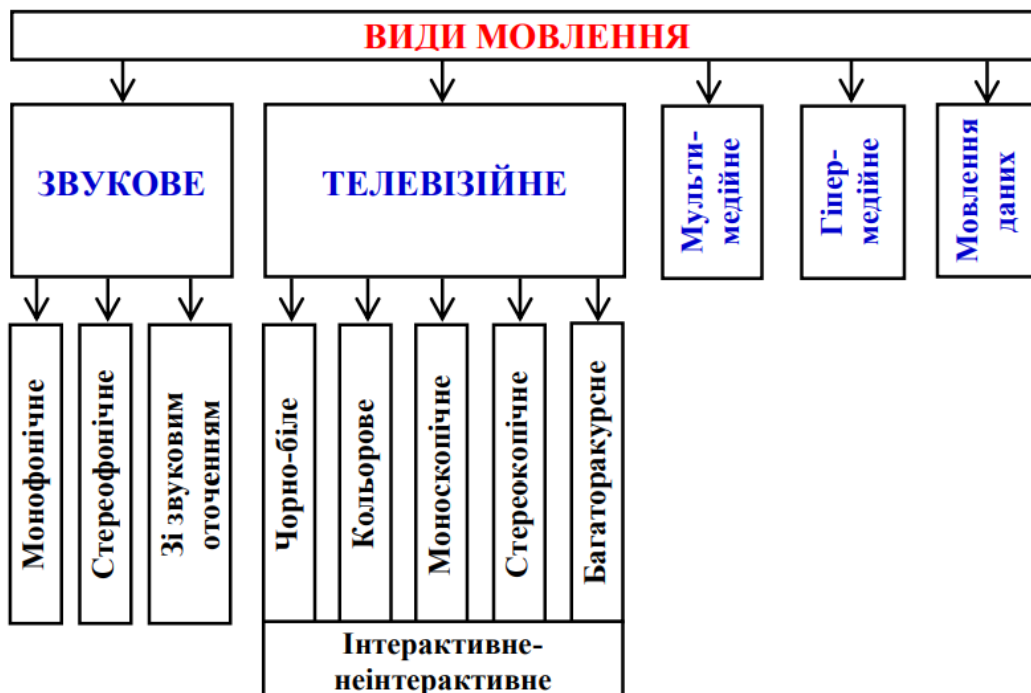


Рис. 1.1. Сучасна класифікація видів мовлення

Системи радіомовлення мали значні зміни та покращення за останні роки, що дозволяють нам отримувати швидку, надійну та якісну комунікацію. У системах радіомовлення використовуються різні техніки модуляції, які дозволяють

перетворити інформацію на передавальний сигнал. Після передачі сигнал демодулюється з метою відновлення початкової інформації. В даних системах мають місце методи множинного доступу, такі як часовий, частотний або кодовий розподіл, щоб забезпечити можливість одночасного доступу багатьох користувачів до супутникового каналу [4].

Синхронізація є важливим аспектом керування сигналами. Забезпечення точної синхронізації між передавачем й приймачем, що включає в себе синхронізацію часу, частоти і фази сигналу для правильного сприйняття і передачі даних.

Підсилення сигналу і використання підсилювачів: Для забезпечення необхідної сили сигналу під час передачі та отримання використовуються підсилювачі сигналу, які компенсують втрати сигналу, що виникають під час його поширення через вакуум космосу або атмосферу Землі.

Управління каналами: Цей аспект включає розподіл доступу до каналів, керування пропускнуою здатністю, призначення ресурсів та управління потоком даних з метою ефективного використання доступного спектра частот та інфраструктури.

Керування інтерференцією: Здійснюється виявлення, аналіз та управління інтерференцією, яка може походити від інших супутників, радіоперешкод або електромагнітних спотворень, що можуть впливати на супутникову систему, з метою забезпечення якості та надійності комунікації.

Керування потоками даних: Ця частина включає якісну обробку та передачу даних між різними вузлами системи з метою забезпечення ефективного управління потоками даних.

Телерадіомовлення використовує наявну мережу країни, що включає головний та місцеві тракти для формування програм. Головний тракт, розташований зазвичай у столиці, і місцеві тракти, розташовані у обласних, районних і міських центрах, здійснюють різні процеси, такі як підготовка і трансляція програм, тиражування, передача до розподільних мереж, контроль якості та забезпечення надійності функціонування всього обладнання. Технічні засоби цих трактів розташовані у радіобудинках. [11].

На рис. 1.3 представлена структура головного центру тракту формування програм і тракту первинного розподілу програм мовлення. В радіобудинках (телерадіомовних центрах) розташовані апаратно-студійні комплекси (АСК), що складаються з апаратно-студійних блоків (АСБ). У кожному АСБ є студія і одна-дві апаратних (наприклад, записувальна) монтажна (МА), трансляційна (ТА) і центральна апаратні (ЦА). Функціонування цих блоків пояснюється нижче.[11].

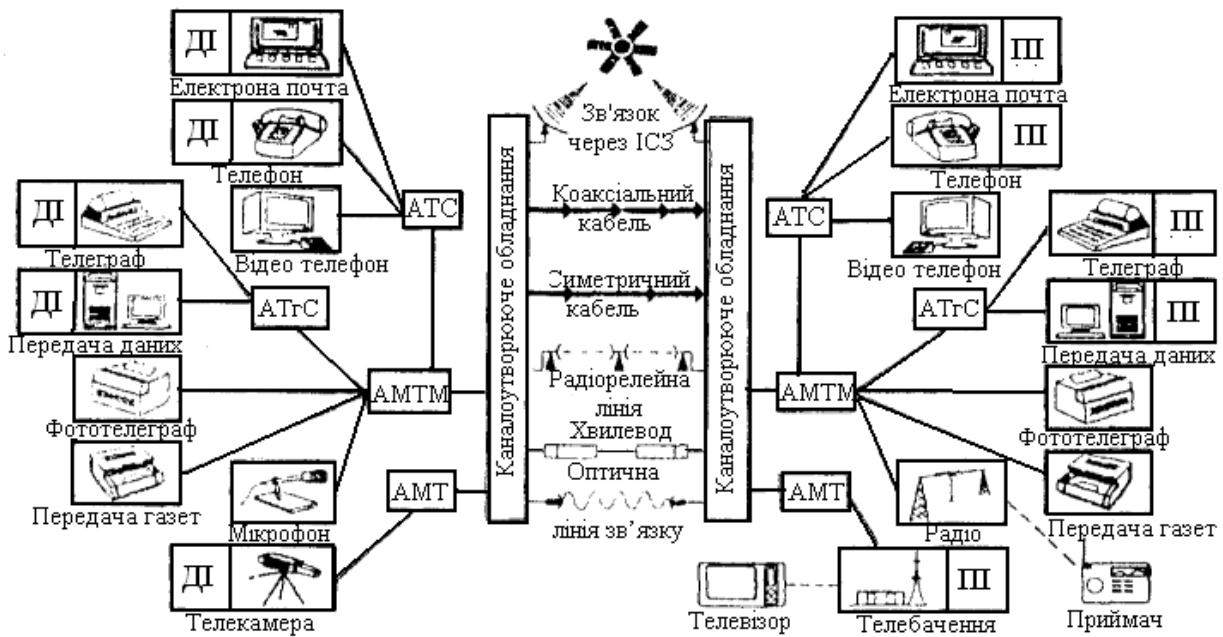


Рис. 1.2. Інтеграція служб мовлення в телекомунікаційні мережі

Система передачі первинної мережі програм головного центру мовлення включає міські з'єднувальні лінії, міжміські канали мовлення та відповідні апаратні компоненти, такі як комутаційно-розподільчі і міжміські системи мовлення, а також системи оперативно-технічного управління та обслуговування (включаючи наземні кабельні і радіорелейні з'єднання, супутникові з'єднання) [11].

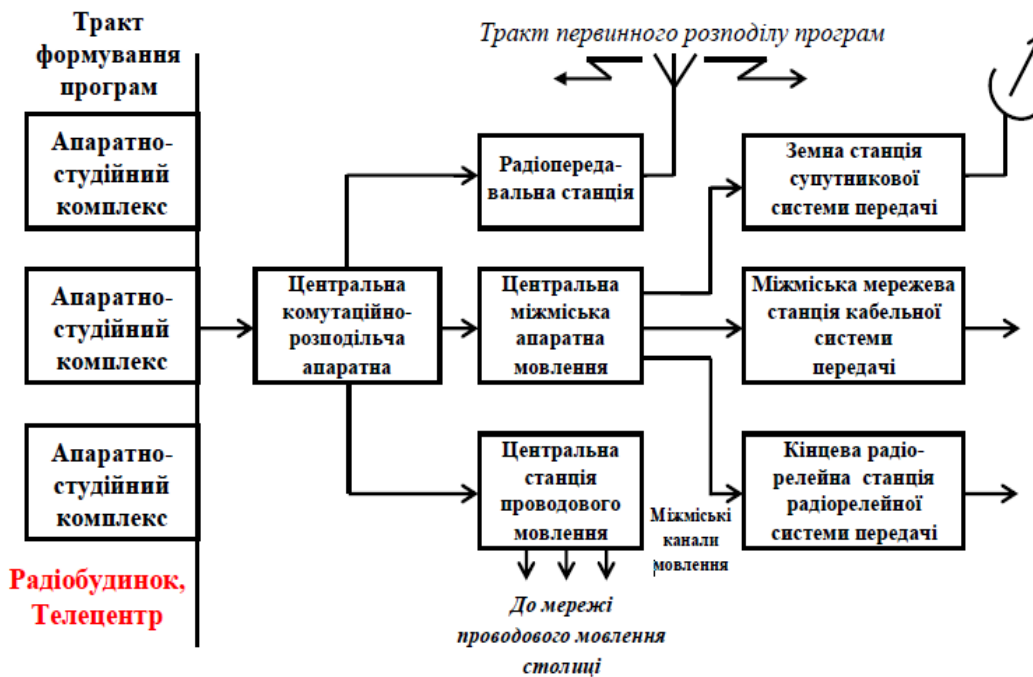


Рис. 1.3. Головний центр тракту формування програм і тракт первинного розподілу програм мовлення

В комутаційно-розподільчій апаратурі здійснюється прийом і контроль сигналів програм, що надходять від апаратно-студійних комплексів телерадіокомпаній. Після цього вони передаються до радіопередавальної станції мовлення столиці, Центральної міжміської апаратури мовлення та Центральної станції проводового мовлення[11].

У Центральній міжміській апаратурі мовлення здійснюється управління міжміськими каналами мовлення та їх контроль. Іншим варіантом міжміської апаратури мовлення може бути регіональна вузлова магістральна апаратура мовлення, що залежить від мережевого вузла первинної (транспортної) мережі міжміського зв'язку. Міжміська апаратура мовлення розташовується на кінцевій станції первинної мережі обласного центру.

Після Центральної міжміської апаратури мовлення, програмні сигнали подаються до магістральних каналів розподілу сигналів програм. Ці канали зазвичай інтегруються в стаціонарну первинну (транспортну) мережу, яка включає супутникові, кабельні та радіорелейні системи передачі, а також обладнання міжміських телефонних станцій. Отже, мережа розподілу програм звукового мовлення може відтворювати радіально-зонову структуру магістральної, внутрішньо-

зонової та місцевої телекомунікаційної мережі. Розподіл сигналів мовлення в обласних (зонових) центрах зазвичай здійснюється за радіальним принципом, що спрощує їх структуру [11].

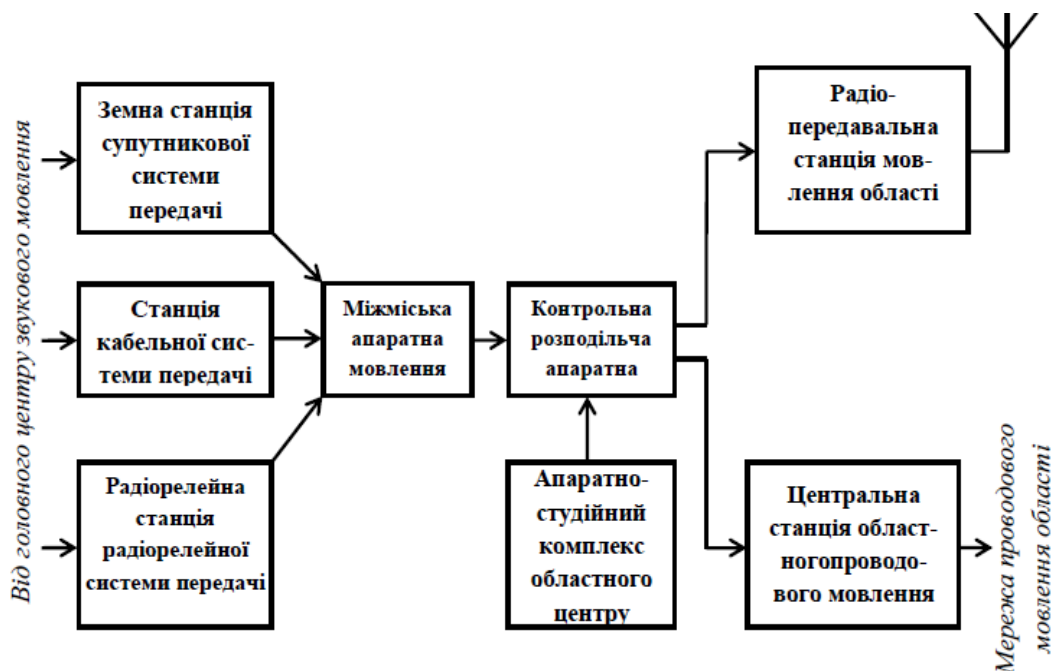


Рис. 1.4. Структура обласного центру мовлення

Від міжміської та контрольно-розподільчої апаратних мовлення (а також від апаратно-студійного комплексу обласних центрів) сигнали програм поступають до районних центрів кожної області (на станції радіо- і провідного мовлення). По місцевій мережі програми мовлення розподіляються від обласних центрів до сільських станцій провідного мовлення [11].

## 1.2. Основні поняття та підходи до класифікації систем радіомовлення

Системи радіомовлення можна класифікувати за способом передачі сигналу на такі основні підходи:

Аналогові системи радіомовлення: Вони використовують аналогову модуляцію для передачі сигналу. Приклади таких систем включають традиційне аналогове радіо та телебачення.

Цифрові системи радіомовлення: Ці системи використовують цифрову модуляцію для передачі сигналу. Вони забезпечують вищу якість звуку, стійкість до шумів і спотворень, а також більш ефективне використання спектра частот. Приклади цифрових систем радіомовлення включають цифрове радіо, супутникове телебачення та мобільні мережі.

За призначенням системи радіомовлення бувають такими :

- Комерційні системи радіомовлення: Використовуються для надання комерційних послуг, таких як радіомовлення, телебачення, мобільний зв'язок і бездротовий Інтернет.
- Військові системи радіомовлення: Використовуються військовими силами для забезпечення комунікації, розвідки, навігації та інших військових цілей.
- Аматорські радіосистеми: Використовуються радіоаматорами для спілкування, проведення експериментів і надання громадських послуг.

За діапазоном частот:

Низькочастотні системи радіомовлення: Використовуються для передачі сигналів на низьких частотах до кількох кілогерців. Це включає системи радіоаматорів та низькочастотне радіо.

Середньочастотні та високочастотні системи радіомовлення: Використовуються для передачі сигналів на середніх і високих частотах до декількох гігагерців. Це включає багатодіапазонні комерційні радіостанції, сотові мережі та Wi-Fi.

### **1.3. Вимоги до систем радіомовлення і критерії їх оцінювання**

Вимоги до систем радіомовлення визначаються залежно від їх призначення та конкретних потреб користувачів. Однак, загальні вимоги та критерії оцінювання можуть містити наступні аспекти:

1. Покриття: Система повинна забезпечувати достатнє покриття з урахуванням географічних особливостей та потреб користувачів. Вимоги до покриття включають площу покриття, якість сигналу і стабільність зв'язку.

2. Якість сигналу: Система повинна забезпечувати достатню якість сигналу, включаючи чіткість звуку, якість відео, швидкість передачі даних та мінімальний рівень спотворень та шумів.

3. Пропускна здатність: Система повинна мати достатню пропускну здатність для передачі необхідного обсягу даних з урахуванням кількості користувачів і їх вимог до швидкості передачі.

4. Надійність: Система повинна бути надійною і забезпечувати стабільний зв'язок навіть в умовах перешкод, спотворень або відмови деяких компонентів.

5. Енергоефективність: Система повинна ефективно використовувати енергію для передачі та отримання сигналу, забезпечуючи тривалу роботу без постійного заряджання або заміни батарей.

6. Безпека: Система повинна мати відповідні заходи безпеки, включаючи шифрування сигналу, захист від несанкціонованого доступу і захист від інтерференції.

7. Сумісність: Система повинна бути сумісною з іншими системами радіомовлення, пристроями та стандартами, що дозволяє інтеграцію та взаємодію з іншими мережами і пристроями.

Я розгляну варіант з військовим застосуванням тому тут вимоги дещо інші.

«Якість радіотехнічної системи характеризують, як правило, сукупністю декількох десятків її властивостей, основними з яких, переважно, є: точність відтворення повідомлень, затримка у відтворенні повідомлень, завадостійкість, електромагнітна сумісність, пропускна здатність, віддаль дії, надійність, прихованість дії, гнучкість використання, маса, об'єм та габарити, вартість, екологічна сумісність[4].

Затримка у відтворенні повідомлень зумовлена обмеженим значенням швидкості поширення їхніх носіїв – сигналів, як у відкритому просторі, так і в радіопристроях. У багатьох випадках величина реальної затримки повідомлень є набагато меншою ніж допустима, і тому не може бути істотним показником якості. Однак іноді затримку повідомлень необхідно враховувати як при розробці, так і при експлуатації системи, прагнучи, за можливості, її зменшення. Наприклад, якщо

система передавання (або видобування) інформації входить до складу замкненої системи керування, наявність навіть невеликої затримки (наприклад, у межах одиниць мілісекунд або менше) може призвести до втрати стійкості. У системах супутникового зв'язку величина затримки при поширенні радіохвиль по лінії «Земля – Супутник – Земля» може бути настільки великою (0,3 с і більше), що може виявитися неприйнятною навіть для дуплексної передачі мови. Це накладає обмеження на припустиму довжину зазначеної радіолінії. [4]

Під електромагнітною сумісністю (ЕМС) радіоелектронних засобів розуміють їхню здатність одночасно функціонувати при дії ненавмисних завад від радіоелектронних та інших технічних засобів, а також не створювати завади неприпустимого рівня іншим радіотехнічним засобам, зберігаючи при цьому задані показники якості. У зв'язку з тим, що насиченість земної кулі та космосу радіоелектронними та іншими технічними засобами з кожним роком все більше зростає, вимоги до електромагнітної сумісності набувають великого значення і їхнє виконання стає більш важким. [4]

У зв'язку зі значною різноманітністю завад, ЕМС прийнято характеризувати сукупністю великої кількості показників якості. Найважливішими з них є: ширина смуги частот випромінюваних радіосигналів, інтенсивність побічних та позасмугових випромінювань, нестабільність носійних частот, інтенсивність випромінювання гетеродинів приймачів, вибіркковість радіоприймальних пристроїв за сусідніми та комбінаційними каналами приймання, ширина діаграм спрямованості передавальних та приймальних пристроїв, рівень бічних пелюсток діаграм спрямованості, рівень індустрийних завад. Тому заданої ЕМС можна досягнути лише через проведення комплексу різноманітних заходів, починаючи від міжнародної регламентації діапазонів частот для різних радіотехнічних служб і закінчуючи екрануванням, заземленням та «зануленнями» окремих блоків і провідників. Останнім часом проблему досягнення заданої ЕМС конкретної радіосистеми або радіокомплексу розглядають як проблему відповідного керування цією системою або комплексом [4].

Під прихованістю дії радіосистеми розуміють її здатність протистояти супротивникові, мета якого – розвідка та визначення параметрів радіосигналів і



створення організованих завад. Прихованість дії характеризують сукупністю показників якості: потужністю випромінювання, шириною головної пелюстки діаграми спрямованості передавальної антени, швидкістю згасання випромінюваних електромагнітних хвиль, тривалістю випромінювання, показниками невизначеності (випадковістю) режиму випромінювання тощо. Основними шляхами підвищення прихованості дії є зменшення інтенсивності випромінювання та його тривалості, звуження діаграми спрямованості передавальної антени, застосування радіохвиль, які поширюються лише у межах прямої видимості, зміна за випадковими законами величин робочих частот та інших параметрів радіосигналу [4].

«Під гнучкістю використання розуміють здатність системи нормально (тобто із допустимими значеннями показників якості) виконувати свої функції за умов роботи, що суттєво різняться, наприклад: віддалі дії, напрямку приходу радіохвиль, температури навколишнього середовища, умов транспортування, розгортання та ін. Очевидно, що гнучкість використання можна характеризувати лише сукупністю великої кількості показників, і відповідно шляхи їхнього поліпшення досить різноманітні. Деякі з цих шляхів збігаються із заходами щодо покращення низки більш окремих показників якості, наприклад таких, як маса та габарити [4].

### ***1.1.1. Оцінка точності відновлення повідомлень***

У системах передачі, витягування інформації та керування виникає потреба у визначенні точності (або ймовірності) відновлення повідомлень. Якщо повідомлення  $\Theta$  є дискретною випадковою величиною, тобто може мати лише одне з  $M$  можливих значень  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$ , то за міру ймовірності доцільно прийняти повну ймовірність похибки, або повну ймовірність правильного відтворення повідомлення, або сукупність умовних ймовірностей похибок різних видів. Повна ймовірність похибки  $P_{\text{пм}}$  визначається як де  $p_{\theta_j | \theta_k}$  – умовна ймовірність того, що при значенні повідомлення  $\theta_k$  відтворене якесь інше (не важливо, яке саме) повідомлення, тобто зроблена помилка;  $p$  – апіорна ( величина, відома до початку процесу відтворення) ймовірність значення повідомлення  $\theta_k$ . [4]

У разі відсутності повідомлень, цей факт можна також розглядати як передачу нульового повідомлення  $\theta_0$ . Таким чином, розглянута система повідомлень є повною, а значить має задовольнятися умова нормування [4]

$$\sum_{k=0}^M p(\theta_k) = 1. \quad (1.1)$$

Інколи зручніше обчислювати не повну ймовірність похибки  $p_{\text{пм}}$ , а повну ймовірність правильного відтворення де  $p(\theta_k | \theta_k)$  – умовна імовірність відтворення повідомлення  $\theta_k$ , коли дійсне значення повідомлення було насправді  $\theta_k$ . Очевидно, що  $p_{\text{пр}} = 1 - p_{\text{пм}}$ . При невідомих апіорних ймовірностях  $p(\theta_1), \dots, p(\theta_M)$  визначити  $p_{\text{пр}}$ ,  $p_{\text{пм}}$  у загальному випадку неможливо і якість відтворення повідомлень характеризують сукупністю умовних ймовірностей помилок, які інколи ще називають ймовірностями спотворень [4].

$$p\theta_j | \theta_k, \quad (j \neq k), \quad (1.2)$$

Якщо усі спотворення мають однакову ймовірність, то  $p\theta_j | \theta_k = p_{\text{сп}}$ , то  $p_{\text{пм}} = p_{\text{сп}}$ . У цьому окремому випадку, повна ймовірність похибки збігається з імовірністю спотворення, і для її визначення знати апіорний розподіл повідомлень немає потреби [4].

### **1.1.2. Роздільна здатність**

Роздільна здатність характеризує здатність системи зберігати точність відтворення повідомлень при дії суміжних радіосигналів. Під суміжними розуміють радіосигнали, які збігаються за формою з інформативним сигналом (тобто сигналом, що містить повідомлення) і лише незначно відрізняються від нього значеннями одного або декількох параметрів [4].

Припустимо, що відхилення параметрів якого-небудь суміжного сигналу від відповідних параметрів корисного сигналу дорівнюють  $\Delta\alpha_1, \dots, \Delta\alpha_n$ . Тоді роздільну

здатність системи кількісно можна характеризувати мінімальними значеннями  $\Delta\alpha_{1min}$ , ...,  $\Delta\alpha_{nmin}$  відхилень, за яких дія суміжного сигналу-завади зменшує номінальну точність відтворення повідомлення не більше ніж на задане число відсотків. Наприклад, при активній радіолокації певної цілі на фоні відбитків-завад від сусідніх цілей того ж типу, суміжні сигнали відрізняються від корисного за рахунок різниць відстаней  $\Delta r$ , кутових координат  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$  та радіальних швидкостей  $\Delta v$  цілей. У такому разі роздільна здатність складається з роздільної здатності за віддалю  $\Delta r_{min}$ , радіальною швидкістю  $\Delta v_{min}$  та кутовими координатами  $\Delta\alpha_{min}$ ,  $\Delta\beta_{min}$ , і що менші  $\Delta r_{min}$ ,  $\Delta v_{min}$ ,  $\Delta\alpha_{min}$ ,  $\Delta\beta_{min}$ , то краща роздільна здатність системи. Якщо повідомлення, які підлягають відтворенню, переносяться не тільки цим сигналом, а й усіма іншими суміжними сигналами, то радіосистема є багатоканальною, і у цьому випадку задача роздільної здатності системи зводиться до задачі розрізнення таких сигналів. При цьому завади, зумовлені взаємодією цих сигналів називають перехресними завадами або *перехресними спотвореннями*. Зі сказаного зрозуміло, що задача роздільної здатності має багато спільного або збігається із задачею розрізнення сигналів, і якість її розв'язку залежить не тільки від способу обробки, а й від характеристик самих сигналів. У теорії лінійного розрізнення сигналів доведено, що сигнали  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ , ...,  $s_n(t)$  можуть бути ідеально (без будь-яких спотворень) розділені [4].

Завадостійкістю радіосистеми називають її здатність зберігати показники якості незмінними при дії завад або мінливими лише у допустимих межах. З розвитком радіоелектронних систем проблема завадостійкості набуває все більшого і більшого значення: по-перше, унаслідок зростання числа можливих завад та їхньої інтенсивності; по-друге, унаслідок підвищення вимог до якості дії радіотехнічних систем. За походженням завади поділяють на: організовані (навмисні) і неорганізовані [4].

Існує різноманітність типів організованих завад, які можуть бути класифіковані як активні (створені спеціальними радіопередавальними пристроями), пасивні (включаючи відбиття, поглинання або заломлення радіохвиль, що випромінюються радіосистемою, що заглушується), а також комбіновані. Кількість різновидів організованих завад є значною. [4].

Неорганізовані завади поділяють на: природні (не пов'язані з роботою інших радіоелектронних засобів); індустрийні (від будь-яких джерел, створених людиною, за винятком завад від радіоелектронних засобів) і взаємні (за рахунок роботи інших радіоелектронних засобів). Основними видами природніх завад є: внутрішні шуми радіотехнічних систем; атмосферні шуми; космічні шуми (випромінювання Сонця, зірок, іоносфери та інших космічних об'єктів); завади, що виникають під час поширення радіохвиль (амплітудні, фазові, поляризаційні флуктуації сигналу, згасання та заломлення радіохвиль та інші явища) [4].

За математичним описом завади класифікують на детерміновані та випадкові (флуктуаційні). Випадкові завади, насамперед, можуть бути безперервними, імпульсними або проміжними. Імпульсними випадковими завадами називають завади, які складаються з окремих випадкових імпульсів, що не перекриваються в межах тракту радіосистеми. Якщо під час проходження через радіосистему імпульси перекриваються настільки сильно, що у кожний момент часу сумарне коливання є результатом накладання великої кількості імпульсів, то завада має згладжений характер. Звідси впливає: що вужча смуга пропускання системи, то більше підстав вважати діючі на неї випадкові завади згладженими [4].

Завади, що взаємодіють з радіосигналами, можуть бути класифіковані за способом впливу на сигнал. Вони поділяються на адитивні, коли вплив здійснюється шляхом алгебраїчного додавання до сигналу, та мультиплікативні, коли сигнал піддається паразитній модуляції. Збільшення потужності корисного радіосигналу може допомогти зменшити вплив деяких завад, проте для мультиплікативних та пасивних завад це не завжди ефективний підхід. Навіть якщо збільшення потужності прийнятого сигналу покращує його стійкість до завад, це не завжди можливо або доцільно через зростання маси, розмірів та вартості радіообладнання, а також збільшення впливу інших радіотехнічних засобів. Отже, основним методом підвищення стійкості до завад є оптимізація алгоритмів обробки сигналів у радіопередавальних і радіоприймальних пристроях, зокрема шляхом вибору відповідних діаграм напрямленості та поляризаційних характеристик антен, довжини хвилі, форми носійного сигналу, методів модуляції та демодуляції, кодування і

декодування, фільтрації. При цьому важливо використовувати апріорну інформацію про повідомлення, корисні радіосигнали та завади, а також застосовувати адаптацію, комплексування, компенсацію та інші методи підвищення стійкості до завад. Однак ці заходи можуть бути повністю реалізовані лише у системах передавання інформації. У системах видобування інформації обмежено можливість кодування повідомлень, а вибір модуляції радіосигналу обмежений. [4].

У пасивних системах видобування інформації форма прийнятого радіосигналу є незмінною, що обмежує можливість впливати на сам сигнал. Проте це не означає, що завадостійкість пасивних систем завжди нижча в порівнянні з активними або напівактивними системами. Навпаки, у деяких випадках вона може бути навіть вищою, особливо коли враховується дія організованих завад, де важливим фактором є прихованість дії радіосистеми. [4].

Розрізняють між реальною і потенційною завадостійкістю системи. Потенційна завадостійкість визначає теоретичну межу завадостійкості припустивши, що єдиним джерелом завади є внутрішній шум радіоприймального пристрою. В таких умовах мультиплікативні завади відсутні, тому сигнал на вході радіоприймального пристрою можна вважати повністю відомим (за винятком переданого повідомлення) або відомим з точністю до початкової фази високочастотного заповнення. Очевидно, для досягнення потенційного значення завадостійкості спосіб обробки сигналу в приймальному тракті повинен бути оптимальним з точки зору прийнятого критерію якості відтворення повідомлення. Знання потенційної завадостійкості має велике значення, оскільки порівнюючи її з реальною завадостійкістю конкретної системи, можна визначити можливість та практичну доцільність подальшого вдосконалення системи. [4].

Основною характеристикою завадостійкості системи є її здатність зберігати точність дії при наявності завад. Таким чином, концепція потенційної завадостійкості системи відноситься до поняття потенційної точності. Потенційна точність залежить від різних факторів, таких як характер повідомлення, тривалість його відтворення, тип модуляції носійного коливання, форма носійного коливання та відношення сигнал-шум на вході приймача. У випадку, коли приймальний пристрій має

багатоканальний вхід та одноканальний вихід, що означає, що одне й те саме повідомлення міститься у декількох сигналах, отриманих різними вхідними каналами, потенційна точність також залежить від кількості каналів. У випадку, коли приймальний пристрій має багатоканальний вихід, тобто призначений для отримання декількох різних повідомлень одночасно, потенційна точність залежить як від кількості відтворених повідомлень, так і від ступеня статистичного зв'язку між ними. Для типових випадків одноканального прийому повідомлення по входу й виходу існують формули, що характеризують потенційну точність. [4].

### ***1.1.3. Пропускні здатності радіосистем***

Пропускною здатністю системи називають максимальну кількість інформації, яка може бути передана або здобута цією системою із заданою точністю за одиницю часу (наприклад, секунду). За одиницю кількості інформації приймають двійкову одиницю (біт), тобто кількість інформації, яка міститься у повідомленні про те, що відбулася одна з двох однаково ймовірних подій. Кількість інформації, яка міститься у повідомленні про те, що відбулася одна з  $M$  однаково ймовірних подій, дорівнює[4]

$$I_0[\text{бит}] = \log_2 M, \quad (1.3)$$

тобто кількість інформації пропорційна логарифму числа можливих подій. При дискретному характері повідомлення кожне його значення можна розглядати як подію, і у попередній формулі під  $M$  варто розуміти число можливих повідомлень. Коли кожне повідомлення складається з  $p$  елементарних символів, вибраних із загального алфавіту, що містить  $t$  видів символів (причому можливі будь-які комбінації цих символів), загальне число можливих повідомлень становить[4]

$$M = t^n. \quad (1.4)$$

Якщо усі повідомлення незалежні та однаково ймовірні, то кількість інформації, що міститься у кожному повідомленні, становить[4]

$$I_0[\text{бит}] = \log_2 (m^n) = n \log_2 m. \quad (1.5)$$

Кількість інформації, що припадає на кожний символ переданого або прийнятого повідомлення, визначають за формулою[4]

$$I_{01}[\text{дв. од./символ}] = I_0 / n = \log_2 m. \quad (1.6)$$

При бінарних (двійкових) повідомленнях алфавіт містить усього два види символів 0 і 1, тобто  $t = 2$ , і у цьому разі маємо[4]

$$I_0[\text{дв. од.}] = n; \quad I_{01}[\text{дв. од.}] = 1 \text{ дв. од./символ}. \quad (1.7)$$

Наведені вище формули відносяться до випадку, коли усі передані або прийняті повідомлення незалежні та мають однакову ймовірність. [4]

#### **1.1.4. Віддаленість дії радіоліній зв'язку**

Визначення максимальної відстані, на яку можливий ефективний та надійний зв'язок між передавачем та приймачем, є важливим аспектом в радіотехнічних системах. Ця відстань залежить від різних чинників, таких як потужність передавача, частотний діапазон, використовувані антени, наявні перешкоди та погодні умови, і вимагає комплексного підходу до оцінки та розрахунку.

Одним з факторів, що впливають на віддаленість дії радіолінії, є потужність передавача. Зазвичай, використання великої потужності передавача дозволяє покрити більшу відстань, оскільки сигнал має більше енергії і може подолати деякі втрати та шуми на своєму шляху. Застосування високопотужних передавачів або підсилювачів може сприяти збільшенню віддаленості зв'язку. [4].

Частотний діапазон також має вплив на віддаленість дії радіолінії. Різні частоти мають різні характеристики поширення сигналу в атмосфері та інших середовищах. Вищі частоти, наприклад, зазвичай мають скорочену віддаленість дії через більшу

втрату сигналу. Тому, вибір оптимального частотного діапазону є важливим кроком для досягнення бажаної віддаленості радіолінії. [4].

Використання ефективних антен також має вплив на віддаленість дії радіолінії. Антени з високою спрямованістю сигналу можуть допомогти збільшити відстань зв'язку. Наприклад, спрямовані антени з великим коефіцієнтом посилення можуть сконцентрувати енергію сигналу в певному напрямку, що сприяє досягненню великої віддаленості дії радіолінії. [4].

Різноманітні перешкоди, такі як будівлі, географічні перешкоди, електромагнітні завади та інші джерела радіочастот, можуть має вплив на віддаленість дії радіолінії. Ці перешкоди можуть обмежувати поширення сигналу та викликати зниження сили та якості сигналу на великих відстанях. Тому, при проектуванні радіотехнічних систем необхідно враховувати можливі перешкоди та вживати заходів для їх подолання або уникнення. [4].

Віддаль дії є однією з найважливіших характеристик більшості радіотехнічних систем. Віддаль дії – це максимальна відстань  $D = D_{max}$ , на якій прийнятий сигнал досягає мінімально допустимого (граничного) рівня  $P_c = P_c \min$ , достатнього для виконання системою основних функцій з якісними показниками не гірших від заданих. Розглянемо максимальну віддаль дії радіоліній, які застосовуються у радіосистемах різного цільового призначення: радіолінії зв'язку, радіолінії з активним відгуком та радіолінії з пасивним відгуком [4].

Віддаль дії радіолінії зв'язку. Радіолінія зв'язку складається з передавача та приймача радіосигналу. Якщо припустити, що в радіолінії з довжиною радіохвилі  $\lambda_0$ , потужністю сигналу  $P_c$ , що випромінюються передавальною антеною з коефіцієнтом підсилення  $G_a$ , застосовується приймальна антена з коефіцієнтом підсилення  $G_{пр}$ , і приймач чутливість якого  $P_c \min$ , то густина потоку потужності, що створюється випромінюваним сигналом у місці розташування приймальної антени на відстані  $D$  від передавальної, дорівнює

$$\Pi = \frac{P_a G_a}{4\pi D^2}, \quad (1.8)$$



а потужність сигналу, який нею сприймається, становить величину

$$P_c = P S_{np} = \frac{P_a G_a G_{np} \lambda_0^2}{(4\pi)^2 D^2} \quad (1.9)$$

де  $S_{np} = G_{np} \lambda_0^2 / (4\pi)$  – ефективна площа приймальної антени. При збільшенні віддалі  $D$  потужність прийнятого сигналу зменшується і досягає граничного рівня  $P_c = P_{cmin}$ , який обмежує максимальне значення віддалі дії радіолінії до величини  $D_{max}$ . Потужність  $P_{cmin}$  має бути достатньою для отримання інформації із заданою ймовірністю за наявності завад, б3 включно з власним шумом приймача, приведеним до його входу [4]

### ***1.1.5. Надійність радіо систем.***

Під надійністю системи розуміють її властивість виконувати задані функції при збереженні експлуатаційних показників у заданих межах протягом певного інтервалу часу при роботі за певних умов. Зміну стану системи, яка призводить до втрати зазначеної властивості, називають відмовою. Відмови системи можуть бути викликані різноманітними причинами, зокрема: – методичними помилками при її проектуванні; б7 – початковим розкидом параметрів системи, тобто відмінністю значень параметрів, отриманих при виготовленні системи, від розрахункових (номінальних); – нестабільністю параметрів системи внаслідок механічних впливів, змін температури, вологості, тиску, ефекту старіння (зношування) тощо; – обривами та короткими замиканнями; – динамічними помилками (інерційністю дії системи); – помилками, викликаними дією завад, у тому числі завад, створюваних суміжними сигналами. При визначенні надійності, як правило, враховують лише фактори з другого по п'ятий у наведеному переліку. На відміну від цього, узагальнена надійність визначається з урахуванням усіх можливих причин відмов. Часто надійність системи (у тому числі й узагальнену) пропонують оцінювати зміною ефективності системи

$$K_N = \frac{E_p}{E_i} \quad (1.10)$$

де  $E_p$  – ефективність реальної системи;  $E_i$  – ефективність ідеально надійної системи. Що більше  $K_N$ , то вища надійність системи. Цей показник досить добре відповідає такому визначенню надійності, але має низку серйозних недоліків. По-перше, оцінити ефективність системи всього за одним показником, загалом, неможливо. По-друге, не завжди можна однозначно визначити  $E_i$ . По-третє, теоретичне або експериментальне знаходження величини  $E_p$  наштовхується на істотні труднощі. Для подолання цих труднощів пропонується надійність характеризувати сукупністю таких властивостей, як безвідмовність роботи, ремонтпридатність та довговічність і визначити не одним показником якості, а їхньою сукупністю. При цьому головний показник надійності – безвідмовність роботи характеризують імовірністю  $P_b$  безвідмовної роботи за заданий інтервал часу  $\Delta t$  або середнім часом безвідмовної роботи  $T_{c.p.}$  Для визначення цих показників знімають криву інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ . Тут  $\lambda$  – відношення числа однотипних пристроїв (блоків, вузлів і т. п.), що відмовили протягом певного інтервалу часу (наприклад, одна година), до загального числа однотипних пристроїв, які залишалися справними до початку цього інтервалу.

Основними шляхами підвищення надійності є:

- заміна аналогової обробки інформації цифровою;
- оптимальний вибір елементної бази (на основі аналізу умов роботи апаратури та режиму роботи її елементів) [11], зокрема, застосування більш надійних матеріалів, деталей і вузлів, виключення механічних переміщень, зменшення числа з'єднань та механічних роз'ємів;
- спрощення схеми та конструкції системи;
- уведення апаратурної, функціональної та аналітичної надмірності;
- забезпечення ремонтпридатності апаратури;
- удосконалення технології виробництва, застосування інтегрованих технологій;

- попереднє тренування виготовленої апаратури (перед переходом до стану нормальної роботи);
- профілактичний контроль (регламентні роботи) під час зберігання апаратури;
- оптимізація технічного обслуговування [4].

## **РОЗДІЛ 2**

### **ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

#### **2.1. Призначення, види і характеристики супутникових систем**

У 1962-1963 роках були вперше розроблені супутникові системи зв'язку, які активно переадресовували сигнали. У 1965 році з'явилися супутникові системи дальнього зв'язку, такі як INTELSAT у США та Блискавка-1 у СРСР.

Протягом наступних років було створено системи різних видів: внутрішнього, національного та міжнародного рівнів. Залежно від передаваної інформації, ці системи можна класифікувати як багатофункціональні або спеціалізовані. Перші призначені для одночасного обміну

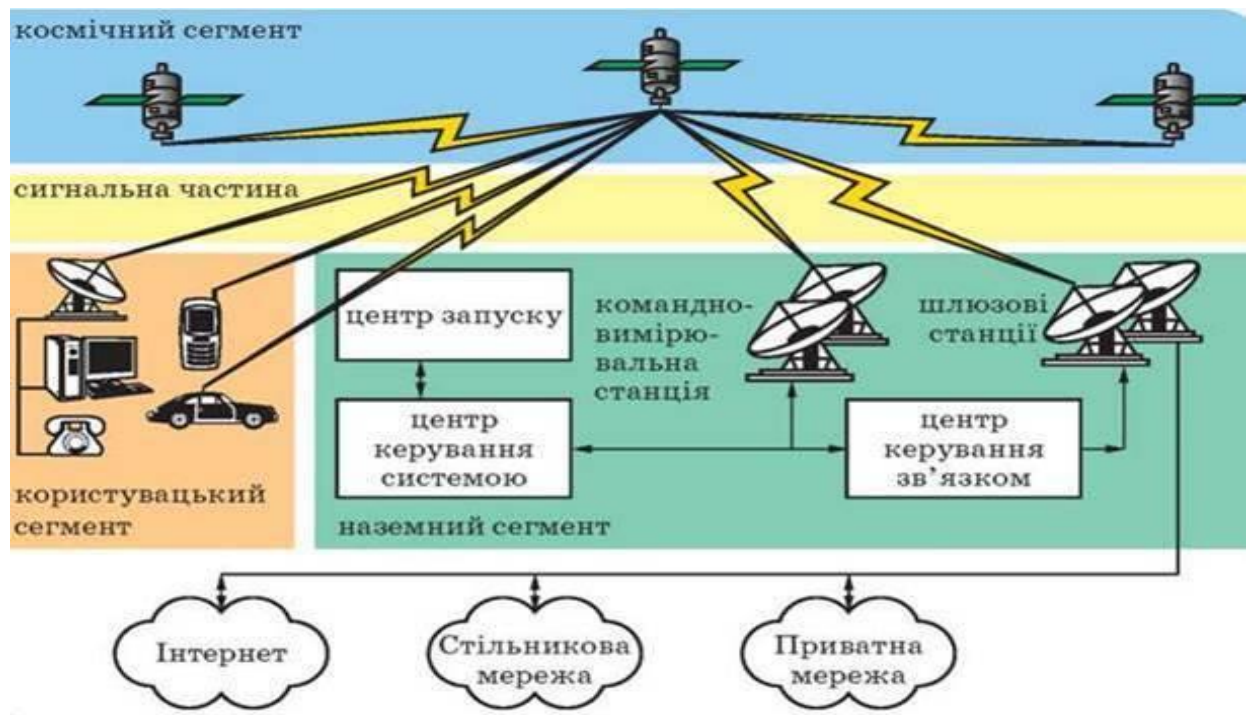


Рис. 2.1. Основні елементи супутникової системи зв'язку

різними видами інформації, такими як телефонні розмови, телеграфні повідомлення, телевізійні трансляції, радіомовлення тощо (рис. 2.1).

Другий тип - це системи зв'язку, які призначені для передачі одного або двох конкретних типів інформації, наприклад, тільки телевізійного мовлення або комбінації теле- та радіомовлення. Деякі системи військового та цивільного застосування також можна віднести до спеціалізованих систем зв'язку, оскільки вони призначені для вирішення певних завдань. Система супутникового зв'язку складається з одного або кількох супутників-ретрансляторів, які утворюють космічний сегмент системи [7][6].

Супутник зв'язку є пристроєм, що отримує сигнали від наземної станції, підсилює їх та ретранслює одночасно до всіх наземних станцій, які знаходяться в зоні видимості супутника[5].

Основними компонентами супутника є (рис. 2.2):

- Ретранслятор з приймальними і передавальними антенами;
- Космічна платформа.

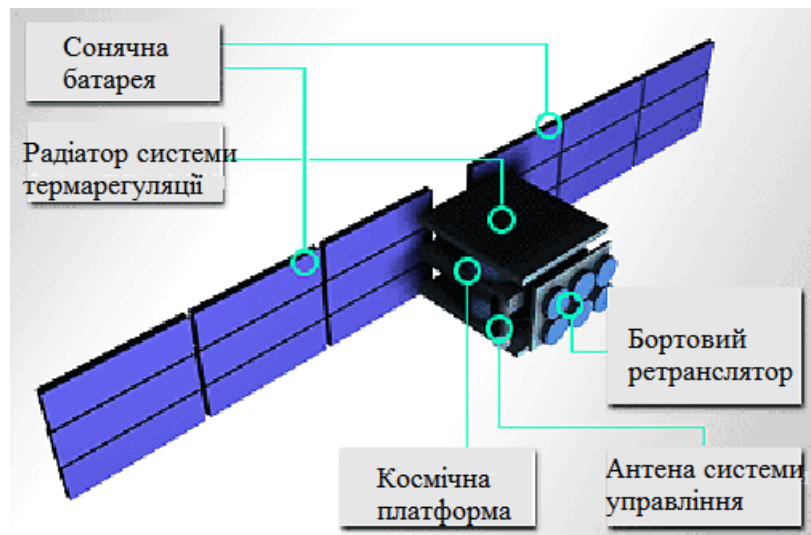


Рис. 2.2. Основні компоненти супутника

Бортовий ретранслятор отримує сигнали від земних станцій, підсилює їх та передає на землю. За допомогою бортових антен, переданий сигнал супутником фокусується в один чи кілька променів, створюючи необхідну зону покриття.

Космічна платформа призначена для підтримки роботи супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення електроживлення та підтримка супутника на визначеній орбіті. Склад космічної платформи може включати центральний процесор, радіоелектронне обладнання, антенні системи, систему орієнтації і стабілізації, двигуни та систему електроживлення (акумулятори та сонячні батареї) [2].

Основними параметрами супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів або стовбурів ретрансляторів, потужність передавачів у кожному стовбурі та кількість та розміри зон обслуговування. Для уникнення взаємних перешкод, сигнал передачі із супутника (Downlink) використовує частоту, відмінну від частоти передачі сигналу з землі на супутник (Uplink). Тому ретранслятори супутника мають перетворювачі частоти, а частота Downlink зазвичай нижча, ніж частота Uplink [1].

Супутникові системи зв'язку використовують різні частотні діапазони. Ширина смуги супутникового каналу визначається кількістю інформації, яку він може передати за одиницю часу. Зазвичай, типовий супутниковий прийомопередавач має ширину смуги 36 МГц у діапазоні частот від 4 МГц до 6 МГц. Загалом, на супутнику

може бути встановлено від 12 до 24 таких прийомопередавачів, що дає сумарну ширину смуги від 432 до 864 МГц [2].

У системах супутникового зв'язку використовуються різні смуги частот. Земна станція передає сигнал на супутник на вищій частоті (Uplink), тоді як приймає на нижчій частоті (Downlink). Найпоширенішими смугами є С-смуга (6 ГГц вниз та 4 ГГц вгору) і Ku-смуга (14 ГГц вниз та 12 ГГц вгору), які мають ширину 500 МГц.

Супутники на низькій орбіті (LEO) використовують інші смуги, такі як L-смуга (1,5-1,6 ГГц) для комунікації між супутником і мобільними пристроями, і Ka-смуга (30-120 ГГц) для зв'язку між супутниками та між супутниками і земними станціями [2].

У таблиці 2.1 [4] наведено використання різних частотних діапазонів та їхні позначення ширини смуги у різних системах супутникового зв'язку.

На сьогоднішній день, системи супутникового зв'язку (ССЗ) охоплюють майже всі наявні комунікаційні служби і постійно інтегруються з іншими системами. Цей процес інтеграції продовжується безперервно.

За територіальним підходом, ССЗ можна розділити на кілька типів. Глобальні системи охоплюють всю земну кулю своєю зоною обслуговування. Національні системи забезпечують зв'язок в межах окремої країни або групи близько розташованих країн. Регіональні системи забезпечують зв'язок в певних регіонах.

За орбітальним підходом, супутникові системи поділяються на геостаціонарні (стаціонарні), середньорбітальні (середньовисотні) та низькоорбітальні (низьковисотні). Геостаціонарні супутники розташовуються на великій висоті над екватором і залишаються практично нерухомими відносно земної поверхні. Середньорбітальні супутники рухаються на середній висоті над землею. Низькоорбітальні супутники рухаються на низькій висоті, що набагато менше за геостаціонарну та середньорбітальну [2].

## Супутникові системи

Позначення смуги	Діапазон частот (ГГц)	Приклади систем	Використання
P	0.23 - 1.00	Orbcomm, E-SAT	передавання повідомлення, визначення місцезнаходження
L	1.53 - 2.70	Iridium, Globalstar, ICO, Thuraya	Телефонія, мобільний зв'язок, передавання повідомлення, низькошвидкісна передача даних
S	2.70 - 3.50	Globalstar	голосові дзвінки, передавання повідомлення, передавати дані, у віддалених районах, де відсутня наземна інфраструктура зв'язку
C	3.70 - 6.50	Intelsat, Skynet	Фіксований зв'язок, передача відео, VSAT-застосування
X	7.25 - 8.50	ICEYE	моніторинг стихійних лих, морське спостереження, моніторинг інфраструктури, моніторинг навколишнього середовища, військові потреби
Ku (Європа)	11.0 - 14.0	Direct TV, EchoStar, Astra	Фіксований зв'язок, TV, передача даних, мобільний зв'язок, широкополосний зв'язок, Інтернет
Ku (США)	11.0 - 17.8	Spaceway, Cyberstar, Astrolink, Teledesic	
Ka	17.7 - 30.5	Teledesic, Skybridge, Cyberstar	Широкополосний зв'язок, високошвидкісна передача даних, доступ до Інтернет
V	31.0 - 70.0	Milstar, AFSATCOM, USTS	Військові застосування

## 2.2. Орбіти суптників

### 2.1.1. Геостаціонарна орбіта GEO

Геостаціонарна орбіта GEO. Геостаціонарні орбіти розташовані на висоті приблизно 36000 км і мають таку швидкість обертання, що відповідає швидкості обертання Землі. Це дозволяє супутнику зберігати "нерухоме" положення відносно певної точки на землі. Ширина діаграми напрямленості антенних систем супутника може бути вибрана на рівні 17,3, що дозволяє забезпечити повне покриття всієї земної поверхні всього трьома супутниками.

Розглянемо основні орбіти супутників, насьогодні використовуються для радіомовлення (рис. 2.3).

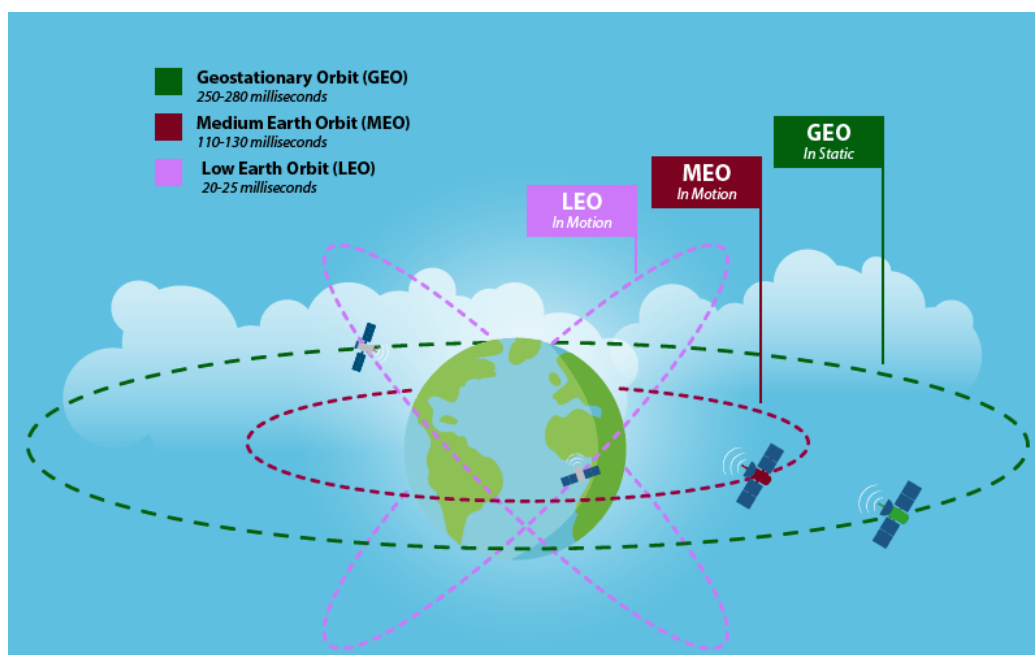


Рис. 2.3. Основні орбіти супутників

Орієнтація супутників обрана таким чином, що перший супутник розташований в зоні Індійського океану, другий - в зоні Тихого океану, а третій - в зоні Атлантичного океану. Геостаціонарна орбіта може бути екваторіальною, коли її кут схилення збігається з площиною екватора, або похилою, коли орбіта має похил [2].

Переваги геостаціонарних ССЗ:



- Для забезпечення охоплення всієї земної поверхні мінімальним числом супутників, використовуються не менше трьох супутників. Однак на практиці зазвичай використовується більше супутників, щоб збільшити надійність системи і забезпечити більш стабільний зв'язок.

- можливість безперервного зв'язку в глобальній зоні обслуговування;
- практична відсутність, обумовленого взаємним переміщенням КА і Землі;
- Енергетичні витрати, необхідні для коригування траєкторії руху супутника та підтримання його на орбіті у визначеній точці, є відносно невеликими.

Варто відзначити, що супутники, включаючи ті, що перебувають на геостаціонарній орбіті, піддаються впливу гравітаційних полів Місяця та Сонця, причому вплив Місяця є близько втричі сильнішим. Ці гравітаційні поля викликають добові коливання радіуса орбіти, що призводить до поступового нахилу площини орбіти на приблизно  $0,85^\circ$  на рік. За 26,6 років нахил орбіти може змінитися від  $0^\circ$  до  $14,67^\circ$ , а протягом наступних 26,6 років нахил знову зменшиться до  $0^\circ$ .

Недоліки геостаціонарних ССЗ.

- великий рівень затримки сигналів (до 600 мс), пов'язаний з кінцевим часом поширення радіохвиль;
- Геостаціонарні супутники не можуть забезпечити ланки у широтах з високою широтою, та для охоплення таких районів потрібно використовувати еліптичні орбіти. Ці орбіти можуть мати апогей у північній півкулі (приблизно 40 тис. км) та перигей у південній півкулі (у радіусі від 400 до 600 км). Крім того, нахил площини такої орбіти повинен становити приблизно  $63,40$  градусів. Наприклад, цей тип орбіти використовується для супутникової системи "Блискавка".
- необхідність досить високою енергетики, що ускладнює персональний зв'язок.

### ***2.1.2. Середньовисотні супутники зв'язку МЕО.***

Середньовисотні супутники зв'язку знаходяться між геостаціонарними та низькоорбітальними супутниками і займають кругові орбіти на висоті від 5000 до 15000 км. Для повного покриття земної поверхні необхідно використовувати від 7 до

12 таких супутників. МЕО виконують функціонування повторної передачі сигналів земних станцій за дозволеними супутниками, і самі супутники повинні бути здатні одночасно працювати з кількома земними станціями [2].

Переваги середньовисотних ССЗ:

- Збільшення кількості робочих каналів охоплення та наявність кількох спутників, які періодично перебувають у полі зору абонента на землі, може покращити якість обслуговування.

- порівняно невисокі значення затримки сигналів (не вище 130 мс) при проведенні сеансів зв'язку;

- поліпшені енергетичні показники ССЗ в цілому і можливість забезпечення персонального зв'язку безпосередньо з КА при відносно невеликих енергетичних витратах.

Недоліки середньовисотних ССЗ:

- Пояси Ван Аллена, якщо містить заряджені частинки, може вбратися шкідливий вплив на якість і навіть перешкоджати стабільному зв'язку. Перший радіаційний пояс розростається на висоті від 2000 до 9000 км і простягається на  $30^\circ$  в образі боки від екватора. Інший пояс розростається на висоті від 13000 до 19000 км і огинає  $50^\circ$  проти екватора. Ці пояси виявляють стійкість до впливу на стійкість зв'язку. [2].

- більш низька ніж у геостаціонарних ССЗ тривалість перебування в зоні радіовидимості земних станцій (1,5 - 2 год).

### **2.1.3. Низькоорбітальні супутники LEO.**

У низькоорбітальних спутниках полярна сфера може бути представлена трьома типами орбіт, залежно від їх розташування щодо екватора: низькі екваторіальні орбіти (з кутом  $\alpha = 0^\circ$ ), полярні орбіти (з кутом  $\alpha = 90^\circ$ ) та похилі орбіти  $^\circ$ ). На сьогоднішній день вибираються низькі орбіти з висотою від 500 до 1500 км та полярні орбіти, а також екваторіальні орбіти з приближеною висотою 2000 км [2].

Переваги низькоорбітальних ССЗ:

- значно кращі енергетичні показники в порівнянні з GEO і МЕО;

- можливість організації персональної зв'язку при мінімальних енергетичних витратах споживача.

Недоліки:

- мала тривалість сеансу зв'язку з одним КА;

- Порівняно з іншими системами, низькоорбітальні космічні апарати мають меншу годину активного функціонування. Це пояснюється двома чинниками. По-перше, більша частина години (до 30%) космічні апарати перебувають у тіньовій зоні Землі, коли сонце не досягає їх сонячних батарей для живлення. По-друге, вплив радіаційного поясу також впливає на тривалість активного функціонування космічних апаратів. [2].

- велика схильність до деградації орбіт, пов'язаної з впливом атмосфери (підвищена щільність), що призводить до коливань ексцентриситету;

- У користувачів з низькими орбітами може виникнути подружня взаємодія обслуговування, що призводить до необхідності використовувати велику кількість супутників у групах. Це може призвести до конфліктів із геостаціонарними та середніми неорбітальними випадками та викликати специфічні орбітальні характеристики. Головні відмінності, наведені в табл. 2.2.

Будь-яка ССЗ має в своєму складі чотири сегменти: космічний, сегмент засобів виведення супутників на орбіту, наземний і призначений для користувача.

Таблиця 2.2

Системи GEO MEO LEO

Характеристики	Тип орбіти		
	GEO	MEO	LEO
Висота орбіти, км	36000	10355	700-1500
Кількість КА в угрупованні при безперервному охопленні території, шт.	3	8-12	48-72
Площа зони покриття одним КА відносно поверхні Землі (кут місця - 50),%	34	25-28	3-7
Час перебування КА в зоні радіовидимості, ч	безперервне	1,5-2	0,15-0,25
Затримка при передачі сигналів, мс - регіональний зв'язок - глобальний зв'язок	не менше 500	80-130 250-400	20-70 170-300

Характеристики орбітальних систем

Характеристики	Тип орбіти		
	GEO	MEO	LEO
Максимально відносний доплеровський зсув	$\pm 10^{-8}$	$\pm 6 \cdot 10^{-6}$	$\pm (1,8 - 2,4) \cdot 10^{-5}$
Кут місця на краю зони обслуговування, град	5°	25 – 30°	10 – 15°
Час перемикання з одного променя в інший, мин	10 -15	5- 6	1,5-2

Космічний сегмент системи складається з групи космічних апаратів (КА), що виводяться на орбіту. Конфігурація орбітального угруповання залежить від призначення системи та потреби в обслуговуванні певної зони, і може бути керованою. Кожний КА має у своєму складі радіоелектронне обладнання, центральний процесор, систему орієнтації та стабілізації, рухову установку та систему електроживлення (СЕП), що включає сонячні батареї. Крім того, на кожному КА встановлюються різні типи антен, які використовуються як для прийому, так і для передачі сигналів. Деякі з цих антен можуть бути багатолучовими, лучі яких охоплюють певну зону обслуговування на поверхні Землі. Наприклад, у системі зв'язку "Iridium" кожен космічний апарат має три групи антен: шість фазованих решіток для формування 48 парціальних променів у діапазоні 1616...1626 МГц, чотири антени для організації фідерних ліній зв'язку зі станціями сполучення у діапазонах 19,4...19,6; 29,1...29,3 ГГц і чотири хвилеводно-щілинні антени для міжсупутникового зв'язку в діапазоні 23,18...23,38 ГГц.[2]

Останнім часом використання спеціальних універсальних космічних платформ стало популярним методом для запуску космічних апаратів на орбіту. Це дозволяє скоротити терміни та вартість розробки, а також запускати кілька космічних апаратів одночасно. Використання таких платформ дозволяє також використовувати перспективні та добре відпрацьовані технології при створенні космічних апаратів. На сьогоднішній день існує широкий вибір космічних платформ, які можуть відповідати

різними вимогами щодо розмірів, енергетичних характеристик, умов космічної експлуатації, надійності та вартості для різних типів корисних навантажень.

Сегмент засобів виведення супутників на орбіту. У стартових комплексах, ракетно-носіях з космічними платформами та центрах управління польотом космічних апаратів використовуються не тільки для розгортання та експлуатації супутників, а й для інших систем цивільного та військового застосування. Сучасні ракетно-космічні комплекси призначені для створення та поповнення орбітальних угруповань, включаючи передстартову підготовку, виведення космічних апаратів на орбіту та розподіл супутників по орбіті при групових запусках [3].

Багатосупутникові системи виводять космічні апарати на орбіту за допомогою групових запусків, де від 3 до 12 апаратів запускаються одночасно за допомогою однієї ракети-носія. Цей метод є найефективнішим, оскільки вимагає менших витрат на створення орбітального угруповання та зменшує навантаження на стартовий комплекс. Також це є доцільним з точки зору екології, оскільки дозволяє зменшити кількість запусків ракет-носіїв [3].

Сучасні космічні платформи сумісні з більшістю ракет-носіїв середнього і важкого класу, такими як Delta, Atlas, Ariane 4, Ariane 5, Pegasus XL, Long March і H-2. Як засоби поповнення орбітального угруповання використовуються легкі ракети-носії, розраховані на запуск одного або двох супутників (Conestoga, Taurus).

Легкі низькоорбітальні космічні апарати (КА) можуть бути запущені з різних пускових установок, включаючи традиційні та мобільні, включаючи морські запуски, наприклад, за допомогою ракетоносія "Зеніт". Запуск легких КА може бути проведений у короткі терміни (менше 48 годин) і не вимагає залучення дорогоцінного обслуговуючого персоналу. Цей тип спутників особливо вигідний для країн, які не мають власних космодромів. За деякими оцінками, витрати на запуск малих КА будуть складати приблизно 15% від загальних витрат на запуск [3].

### 2.3. Протоколи супутникових систем

Першим протоколом був Aloha був винайдений в 70-роках в Гавайському університеті. Метою створення цього протоколу було заміна проводних комунікаційних систем на альтернативу з використанням радіопередачі.

Початкову версію цього протоколу використовували асинхронний підхід. Наземна станція могла розпочати передачу даних у будь-який момент, а потім слухала ефір, очікуючи на ретрансляцію супутником. Якщо ретрансляція не відбулася, передача повторювалася. Таким чином, ці протоколи використовували множинний доступ з виявленням колізій, схожий на Ethernet, але час обробки колізій на великих відстанях, таких як десятки тисяч кілометрів, був значно більшим, ніж у локальних мережах.

При роботі за синхронними протоколами всі наземні станції, які працюють з супутником, жорстко синхронізуються з ним. Година розділяється на фіксовані інтервали, і станція має розпочати передачу на початку такого інтервалу. Цей підхід, в середньому, зменшує кількість конфліктів на два рази порівняно з асинхронною версією протоколу.

Протокол Aloha може бути покращений шляхом надання конкретним наземним станціям виділеного годинного проміжку за запитом та присвоєння пріоритетів цим станціям. Для передачі сигналу використовують два методи: FDM (мультиплексування з розділенням частот) та TDM (мультиплексування з годинним розділенням).

Метод FDM спрямований на передачу аналогових мовних сигналів. Шкірному потоку виділяється смуга шириною 4 КГц у загальній смузі пропускання. Для передачі цифрових даних вони спочатку конвертуються в аналоговий сигнал, а потім кілька одночасних сигнальних потоків мультиплексуються в одну смугу пропускання.

У методі TDM година розбивається на кванти, і сигнал з одного потоку "розподіляється" на всю смугу пропускання та передається протягом виділеного

інтервалу. Потім обробляється інший потік і так далі. Такий підхід дозволяє гнучко використовувати смугу пропускання, але потребує більш складного обладнання.

Існують і інші системи супутникові мережі використовують різні протоколи для забезпечення комунікації між супутниками та користувачами.

TCP/IP - це набір протоколів, що складаються з Transmission Control Protocol (TCP) та Internet Protocol (IP), й використовуються для забезпечення з'єднання та передачі даних у мережі Інтернет. Ці протоколи також можуть застосовуватись у супутникових мережах для передачі даних між супутниками та земними станціями [3].

DVB-S2, що означає Digital Video Broadcasting – Satellite – Second Generation, є стандартом для цифрового супутникового телебачення та доступу до Інтернету через супутник. Цей стандарт використовується для ефективної передачі даних по супутникових каналах [3].

CCSDS (Консорціум зі стандартів космічних даних) є організацією, що розробляє різноманітні протоколи та стандарти для використання у космічних місіях, включаючи супутникові мережі. Наприклад, одним із таких стандартів є протокол Space Link Extension (SLE), який визначає стандартні процедури передачі даних між супутниками та наземними станціями [3].

UDP (User Datagram Protocol) – це протокол без з'єднання, який дозволяє передавати короткі повідомлення без необхідності отримання підтвердження про їх доставку. Використання UDP є передусім наслідком потреби у швидкості передачі даних, яка має більше значення, ніж точність та надійність доставки [3].

#### ***2.1.4. Протокол UDP***

Детальніше зупинюсь на протоколі UDP оскільки протокол UDP працює на більш низькому рівні та надає просту та швидку передачу даних без забезпечення контролю передачі та повторної передачі.

Для себе я визначив декілька переваг і великий недолік у цього виду протоколу з плюсів

- Відсутність з'єднання: UDP не вимагає перед відправкою та після отримання створення з'єднання між відправником та отримувачем. Це означає, що кожен пакет

даних розглядається окремо та може бути маршрутизований незалежно від інших пакетів.

- Пріоритет на швидкість: У випадках, де пріоритетом є швидкість передачі даних, а не гарантована доставка, протокол UDP може бути корисним. UDP має менші накладні витрати порівняно з TCP, оскільки він не вимагає підтвердження доставки, повторної передачі пакетів або контролю потоку.

- Підтримка мультикасту: UDP має можливість мультикастингу, що дозволяє відправляти один пакет даних одночасно до кількох отримувачів, які належать до однієї групи.

Під великим недоліком я мав на увазі його надійність, ненадійний: UDP не забезпечує гарантовану доставку даних. Після відправки пакету відправник не отримує підтвердження про його доставку або про можливі помилки. Якщо пакет втрачається або пошкоджується під час передачі, він буде втрачений без можливості відновлення.

Втрата даних: UDP не має вбудованих механізмів для автоматичного відновлення втрачених пакетів. У разі, якщо пакети втрачаються під час передачі через мережу (наприклад, через пробки, помилки передачі чи перевантаження), UDP не вживає жодних заходів для відновлення втрачених даних просто втрачені пакети не будуть отримані отримувачем. Але протокол UDP використовується в різних областях, де швидкість передачі даних та низька затримка є важливими, а втрата або недоставка окремих пакетів не є критичною він є ефективнішим наприклад [3]:

Мультимедійні потоки: UDP є популярним протоколом для передачі аудіо та відео потоків у режимі реальної години, таких як стрімінгове відео, VoIP (голосовий інтернет-протокол) та онлайн-ігри. У таких додатках має велике значення забезпечення мінімальної затримки, і втрата окремих пакетів може бути вигіднішою альтернативою, ніж затримка всього потоку через повторну передачу до TCP.

DNS (Domain Name System): Під час вирішення доменних імен DNS використовує UDP для швидкої передачі запитів та відповідей. DNS-запити є невеликими пакетами даних, які можна ефективно передати через UDP.



Trivial File Transfer Protocol (TFTP): TFTP використовує UDP для передачі файлів у простих мережевих середовищах. Цей протокол широко використовується для завантаження програмного забезпечення на пристрої або для віддаленого зберігання даних [3].

Real-time applications: Додатки в режимі реальної години, такі як системи відеоконференцій, трансляція спортивних подій, онлайн-торгівля та фінансові ринки можуть використовувати UDP для передачі даних з низькою затримкою [3].

В результаті, хоча UDP є швидким і простим протоколом, він не забезпечує гарантовану доставку, надійність та контроль потоку, як це робить TCP. Однак, у деяких сценаріях, де пріоритетом є швидкість і мінімальна затримка, використання UDP може бути виправданим.

## **2.4. Наземний сегмент супутникових систем**

У наземному сегменті супутникової системи зв'язку можуть бути відведені окремі ресурси або резервування для різних цілей або використання.

Центр запуску відповідає за планування запуску, збірку ракети-носія, передстартові перевірки та випробування. Після запуску супутника керування ним переходить до центру керування системою.

Центр управління системою відповідає за управління космічним групуванням, включаючи контроль запуску та точності виведення на орбіту, контроль стану супутників, управління орбітами супутників, виведення супутників з орбітального угруповання та інші функції. Він отримує інформацію від супутників, а також може передавати службову інформацію через командно-вимірні станції, розташовані на різних територіях.

Центр управління зв'язком планує використання ресурсів супутників і відповідає за аналіз та контроль зв'язку через національні шлюзові станції.

- Шлюзові станції можуть бути розташовані в різних регіонах або країнах і мають різні види послуг, обладнання та належність до стандартів. Вони забезпечують

доступ до супутників із наземних мереж, виконують мультиплексування, модуляцію, обробку сигналу та перетворення частот.

- Наземні станції включають радіочастотне та каналостворювальні обладнання. Радіочастотне обладнання включає антени для прийому та ретрансляції сигналів та транспондерів. Каналостворювальні обладнання працює за певними стандартами (наприклад, SCPC, DAMA, TDMA, TDM/TDMA) та визначає принципи роботи наземної станції та мережі.

До інших компонентів технічного забезпечення належать комп'ютери для управління інформацією, комутаційне обладнання для з'єднання з різними наземними системами зв'язку.

VSAT-термінали є популярними наземними станціями, оскільки вони мають невеликі розміри, легкі установки та доступну ціну. Ці компоненти наземного сегмента співпрацюють разом, щоб забезпечити ефективну роботу супутникової системи зв'язку, управління спутниками, передачу сигналів та надання послуг комунікації клієнтам.

### ***2.1.5 Співпраця наземного і космічного сегмента***

Зв'язок від земної станції до супутника: Земна станція використовує антенну та високочастотне обладнання для передачі сигналу до спутника у вигляді радіохвиль. За допомогою точно зорієнтованої антени земна станція встановлює зв'язок з конкретним супутником і передає сигнал, який обробляється та передається назад. Зв'язок від спутника до земної станції: Супутник отримує сигнал від земної станції та обробляє його на своєму борту. Супутник також використовує власну антенну для передачі сигналу назад до земної станції. Цей сигнал може мати різні типи інформації, такі як передача даних, телевізійні сигнали або голосові розмови. Сигнал від супутника до земної станції може бути спрямований на конкретну земну станцію або передаватися до більшої мережі земних станцій для подальшої обробки та передачі даних [9,10].

Вимоги до наземних сегментів і терміналів ССЗ у даний час є такими:

- зниження вартості за рахунок використання НВІС і елементів та вузлів з малим енергоспоживанням;
- використання мультимодальних терміналів гідних як для супутникового так і для наземного зв'язку;
- використання підсистем, що програмуються, для мобільних терміналів; - використання супутникового рознесення для фіксованих терміналів у режимах широкопasmового зв'язку;
- використання технології нових частотних смуг (Ka, V); СФ ЗМ1 Г1 ППЧ1 ЗМ2 ППЧ2 АО ЧДв ВФ Г2 АПЧ Фз Фв ЧДз ВП АМ – 115 – - широке застосування ефективних методів модуляції і кодування;
- максимальна стандартизація усіх протоколів і інтерфейсів;
- використання стандартних транспортних протоколів для пакетної передачі даних [6][7].

Керування супутником: Наземний сегмент, який включає контрольно-керуючий центр, відповідає за керування рухом супутника, налаштування його параметрів, коригування траєкторій та інші операції. Цей центр взаємодіє зі спутником через земну станцію, надсилаючи команди та одержуючи телеметрію[5].

Синхронізація та координація: Наземний сегмент та космічний сегмент співпрацюють для забезпечення синхронізації та координації дій. Наземний сегмент відстежує положення супутника, розраховує оптимальні траєкторії та встановлює зв'язок зі спутником у потрібні моменти години. Космічний сегмент передає телеметрію та інші дані до наземного сегменту для аналізу та прийняття рішень.

Ця взаємодія між наземним та космічним сегментами дозволяє забезпечити ефективну передачу даних та комунікацію через супутникову систему зв'язку. Наземний сегмент відповідає за керування, комунікацію та обробку сигналів на землі, тоді як космічний сегмент здійснює передачу сигналів від супутника до земної станції та назад[5].

Що стосується військової взаємодії то в рамках військового наземного сегменту зв'язку, який охоплює наземний рівень, використовуються різноманітні технології та

системи, що мають на меті забезпечення зв'язку та обміну інформацією військовими силами.

- Щодо радіозв'язку, військові користуються радіостанціями, радіотелефонією, радіоантенами та іншими радіотехнологіями, що дозволяють передавати інформацію на короткі та довгі відстані. Цей вид зв'язку використовується для комунікації між командними пунктами, військовими одиницями на полі бою, спостережними постами та іншими військовими елементами[12].

- Супутниковий зв'язок використовується військовими для забезпечення глобального охоплення та зв'язку з віддаленими військовими одиницями. Це може включати використання як військових, так і цивільних супутникових систем зв'язку, які адаптовані до потреб військових операцій[12].

- Мережеві системи використовуються для об'єднання різних військових комунікаційних пунктів, обміну даними та керування комунікаціями. Це може включати використання локальних мереж (LAN), місцевих мереж (MAN) або широких мереж (WAN), що забезпечують інтеграцію різних систем зв'язку[12].

- Криптографія використовується для забезпечення конфіденційності, цілісності та аутентифікації переданих даних. Вона дозволяє захистити важливу військову інформацію від несанкціонованого доступу та зловживань[12].

- Мобільні комунікації використовуються для забезпечення зв'язку між військовими операторами у рухомому режимі. Це можуть бути портативні радіостанції, смартфони або спеціальні військові комунікатори, які дозволяють забезпечити зв'язок навіть на полі бою[12].

## РОЗДІЛ 3

### СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ

#### 3.1. Космічні супутники ICEYE

ICEYE — фінський виробник мікросупутників. Компанію створено 2014 року як підрозділ Університетського факультету радіотехнологій Університету Аалто, яка спеціалізується на спостереженні Землі за допомогою супутникової технології радарів із синтезованою апертурою (SAR). ICEYE запустила групу невеликих супутників, оснащених датчиками SAR, що забезпечує можливість отримання зображень із високою роздільною здатністю та часте відвідування певних областей [9].

ICEYE розгорнув угруповання невеликих супутників. Такий підхід до групового зв'язку забезпечує розширене покриття, гнучкість і оперативність у порівнянні з традиційними більшими супутниками.

Висока роздільна здатність і точність одна з переваг цих супутників ICEYE пропонують зображення з високою роздільною здатністю та здатністю захоплювати деталі всього за кілька метрів. Цей рівень деталізації робить їх придатними для різноманітних застосувань, включаючи моніторинг стихійних лих, морське спостереження, моніторинг інфраструктури та моніторинг навколишнього середовища [9].

3. Можливість швидкого перегляду: Завдяки групі супутників ICEYE може забезпечувати часті повторні відвідування певних сфер інтересу. Це дозволяє відстежувати зміни з часом, фіксувати динамічні події та підтримувати критичні до часу програми.

4. Комерційні послуги: ICEYE пропонує комерційні дані SAR та аналітичні послуги для різних галузей і секторів, включаючи державні установи, оборону, морський транспорт, страхування, інфраструктуру тощо. Користувачі можуть переглядати та аналізувати зібрані дані SAR для своїх конкретних потреб.

5. Глобальне покриття: супутники ICEYE забезпечують глобальне покриття, забезпечуючи можливість отримання зображень і моніторингу в різних регіонах світу.

Ці супутники знаходяться на більш конкретній орбіті Сонячно-синхронній орбіті

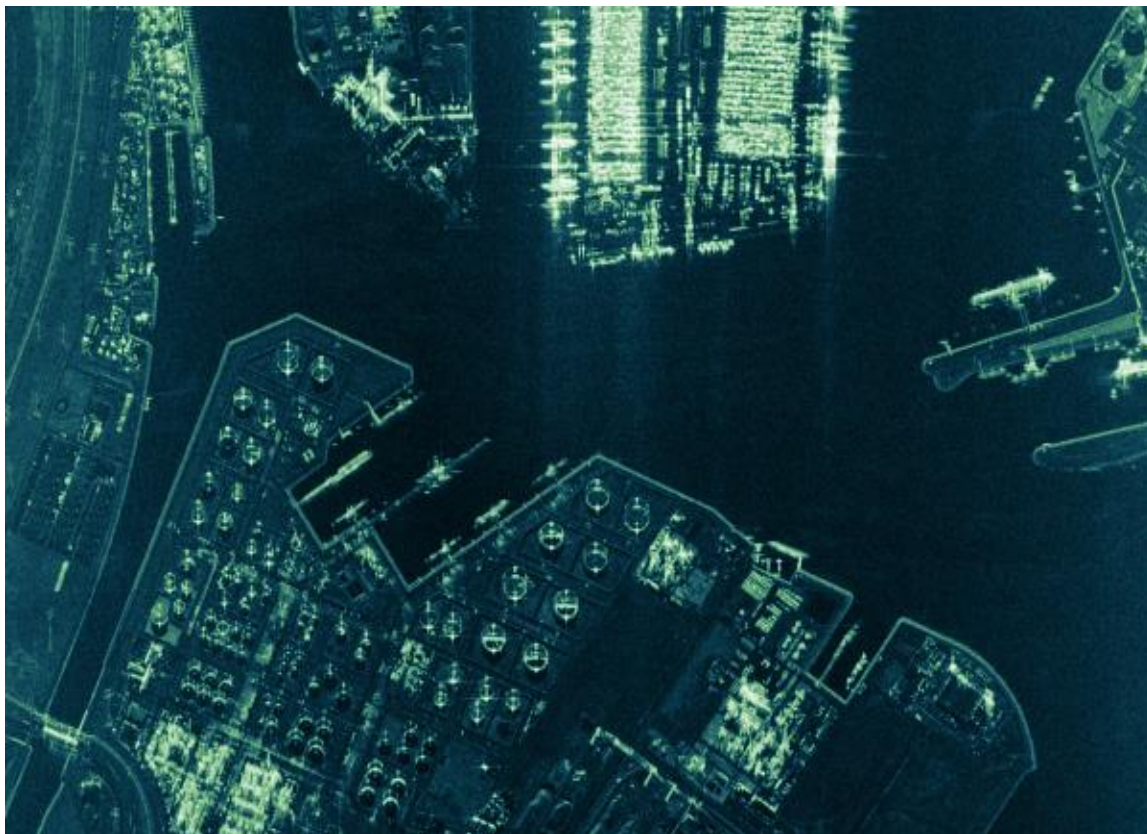


Рис. 3.1. Роттердам у радіолокаційному діапазоні

Сонячно-синхронна орбіта (SSO) - це тип орбіти, на якій супутник синхронізує свій рух з рухом Сонця. Це означає, що супутник проходить над будь-якою точкою Землі практично в один і той же час кожного дня. Для досягнення такої синхронізації параметри орбіти, такі як нахил і висота, регулюються таким чином, щоб забезпечити оптимальну позицію відносно Сонця [7].

SSO-орбіта широко використовується в різних супутникових системах для спостереження Землі, включаючи метеорологічні супутники, супутники зондування Землі і картографічні супутники. Ця орбіта дозволяє забезпечити регулярне покриття всієї поверхні Землі та отримувати спостереження в однаковий часовий діапазон

кожного дня. Це дуже корисно для моніторингу клімату, погоди та інших географічних параметрів, оскільки дозволяє отримувати сталу і послідовну інформацію про зміни на Землі.[2]

### ***3.1.1. Супутники ICEYE в Україні***

Так як Україна купила один такий супутник зрозуміло що його використання можливе і військових цілях

ICEYE є невеликими радіолокаційними супутниками, вага яких становить близько 100кг. Вони обладнані радарми з активними фазованими решітками в діапазоні х-частоти (8-12 ГГц), що є найбільш поширеним діапазоном частот для радарів цивільного та військового призначення. Супутники знаходяться на низькій навколоземній орбіті на висоті близько 600 км. Така орбіта дозволяє отримувати зображення радіолокацій поверхні Землі площею до 10 тисяч квадратних кілометрів з високим ступенем деталізації. Розміри площі можуть варіюватися від 100x100 до 10x10 кілометрів в залежності від режиму сканування і необхідної роздільної здатності.

Що означає термін "радіолокаційні"? Ці супутники дають змогу отримувати не звичайні оптичні фотографії, а радіолокаційні зображення з високою роздільною здатністю, що досягає 25 сантиметрів на піксель. Це вважається високою роздільною здатністю. Навіть супутники компанії Махаг, які роблять фотографії у видимому діапазоні, забезпечують роздільну здатність 30 сантиметрів на піксель (з можливістю програмного збільшення якості зображення до 15). Супутникові знімки в Google Maps мають роздільну здатність 50 сантиметрів.

Які плюси для України від цих супутників ?

- SAR-спутник здатний працювати цілодобово незалежно від погодних умов, як вдень, так і вночі.
- Характерні полоси засвітки, які виникають на "знімках" через використання радарів, засобів РЕБ та інших пристроїв, що працюють у радіодіапазоні, дозволяють їх виявляти.

- Завдяки програмному забезпеченню автоматично виявляються зміни та розпізнаються об'єкти на зображеннях.
- засоби маскуванню на кшталт маскувальних мереж для радіолокаційних хвиль не становлять проблеми.

### ***3.1.2. Радарні технології SAR-ViSAR***

Технологія Synthetic Aperture Radar (SAR) використовує радар для створення високоякісних зображень земної поверхні. Він заснований на передачі радіосигналів і реєстрації їх відбиття від об'єктів на землі. Аналізуючи ці відбиті сигнали, технологія SAR створює детальні радарні зображення незалежно від погодних умов і часу доби[8].

Це дозволяє отримати важливу інформацію про ландшафт, об'єкти, рух і зміни навколишнього середовища. Завдяки використанню групи SAR-супутників можна отримати тривимірне зображення зондованого ландшафту, що не досягне за допомогою оптичних супутникових камер [8].

Застосування інтерферометричних радарів з синтезованою апертурою (InSAR) дозволяє отримувати інформацію про геодезичні процеси, такі як рух земної кори та вулканічна активність [8].

У бойових діях ця технологія дозволяє виявити пошкодження та швидко оцінювати ситуацію. Інтерферометричне сканування ландшафту також надає дані про теплове випромінювання від рухомих об'єктів, таких як бронетехніка, вантажівки та автомобілі.



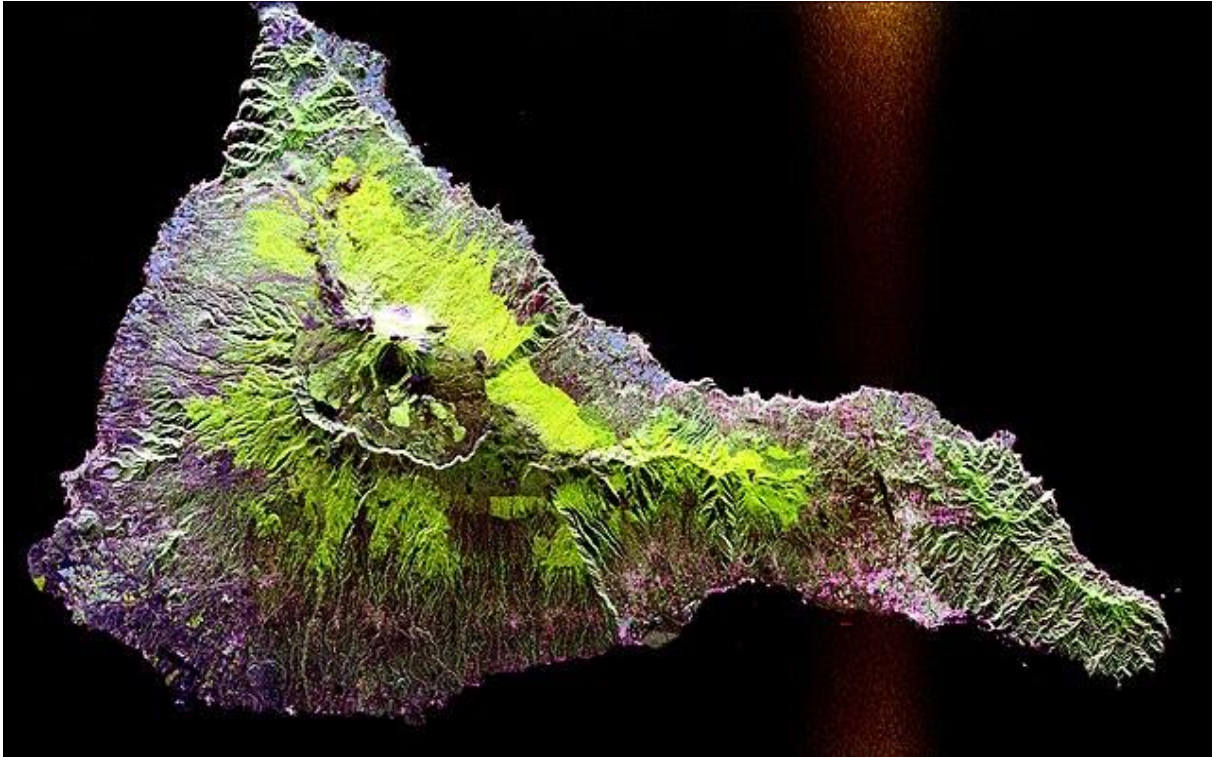


Рис. 3.2 радар SIR-C/X-SAR Космічного корабля Ендевор із зображенням вулкана Тейде

Однією з перспективних технологій які в майбутньому з'являть на різних системах це ViSAR розроблювана американською компанією DARPA

ViSAR (Variable Inclination Synthetic Aperture Radar) - це радарна технологія, яка включає в себе синтетично-апертурний радар (SAR) з можливістю налаштування кута нахилу радарного променя, що дозволяє гнучко зображувати поверхню Землі під різними кутами, надаючи різноманітні перспективи та режими зображення. Технологія ViSAR дозволяє отримувати високороздільні радарні зображення з поліпшеною просторовою покриттям та покращеною інтерпретацією. Застосовується в галузі дистанційного зондування, моніторингу довкілля, управління надзвичайними ситуаціями та військових цілях [9]

### **3.2. Супутники сімейства СІЧ**

Українським Аналогом цього супутники є Супутник Січ-2-30 створений для виконання завдань дистанційного зондування. Він розроблений та виготовлений на Державному космічному науково-виробничому центрі імені М. К. Янгеля (КБ «Південне»). Супутник Січ-2-30 обладнаний оптико-електронним приладом, який

забезпечує зйомку з високою роздільною здатністю. Він призначений для проведення досліджень в галузі атмосферних та земельних процесів, геологічного картографування, оцінки регіональних змін у природному середовищі, моніторингу лісових масивів та інших сфер діяльності. Січ-2-30 здатний працювати як самостійно, так і входити в склад космічних систем зондування Землі [10].

Також у задумці були космічні супутники СІЧ 2-М та СІЧ-3-О.

Січ-2-М більш схожий на модифікацію СІЧ-2-30 с покращеною роздільною здатністю до 2м та більшою вагою.

СІЧ-3-О вже набагато цікавіше так як інформації не багато про нього відомо що його запуск планувався до 2025 року .Ті характеристики що відомі це роздільна здатність 1м та ширина огляду 10.4 км<sup>2</sup>.але до супутників ICEYE треба ще працювати щоб досягти при невеликій масі така ж роздільна здатність та ще й інтегрована технологія SAR у набагато менший супутник.

### **3.3. Порівняння супутникових систем ICEYE та СІЧ**

Порівняльні характеристики супутникових систем ICEYE та СІЧ наведені в наступній таблиці (1.4).

Проводячи аналіз усіх наведених у таблиці супутників визначив чим відрізняються наші системи від фінської.

Нажаль наші супутники не мають ні однієї переваги перед ICEYE

- маса кардинально відрізняються при однакових задачах
- з 2014 року ICEYE запустив 10 супутників у той час ми з 2014 майже не вивели КА на орбіту і тільки у 2022 вивели СІЧ-2-30 який пролітає територію України раз на добу.

- Запущений український СІЧ-2-30 з дуже поганою роздільною здатністю в 7.8 метри відносно преспективних аналогів СІЧ та ICEYE

## Порівняння супутникових систем

Супутникові системи				
	ICEYE	Січ-2-30	Січ-2М	Січ-3-О
Маса (кг).	85	180	260	820
Висота (км).	570	682	490	667
Орбіта	сонячно-синхронна	сонячно-синхронна	сонячно-синхронна	сонячно-синхронна
Дата запуску	Останній запуск 24 січня 2021	13 січня 2022 року	Був запланований на 2018 рік	Невизначена
Роздільна здатність на місцевості (м)	1	7.8	2	1

Залежність від умов спостереження: СІЧ-2-30, як і більшість супутників, може бути обмеженим у своїй здатності до спостереження залежно від погодних умов, хмарності, освітленості території тощо. Це може призводити до обмеженого доступу до даних у певні періоди часу.

- Відсутність певних передових технологій: СІЧ-2-30 може відставати у використанні передових технологій, які використовуються в більш сучасних супутникових системах. Це може вплинути на його точність, роздільну здатність та інші параметри.

Перспективні СІЧ-3-О мають майже тіж характеристики що і ICEYE але з недоліком у великій масі та без технолгогії SAR яка на мою думку дуже ефективна. Думаю що в 820 кілограм можна інтегрувати набагато більше цікавих систем типу SAR чи ViSAR, або ще кращу камеру з потужнішою роздільною здатністю та більшою площею охопту

## ВИСНОВКИ

У підсумку зрозуміло що існують багато орбіт але для нас на зараз я думаю підходить більше всього низькорбітальна так як вона не така дорога в запуску КА на цю орбіту так як на ній набагато менше сміття що спрощує обслуговування. Має найкращу затримку та роздільну здатність фото також є можливість контролю супутника з подальшим поверненням його на землю.

Так як для покриття більшої області потрібно більше супутників тобто і потрібне правильне керування Наземний сегмент, який включає контрольно-керуючий центр, відповідає за керування рухом супутника, налаштування його параметрів, коригування траєкторій та інші операції. Цей центр взаємодіє зі спутником через земну станцію, надсилаючи команди та одержуючи телеметрію.

Що стосується супутника для державних потреб то він на всі сто відсотків має бути схожим на останні версії супутників ICEYE з охоплення великої частини поверхності, з хорошою роздільною здатністю, з невеликою масою з передовими технологіями типу SAR а можливо більше новішою ViSAR з інтегрованою тепловою камерою, а можливо і якимись своїми технологіями як що інвестувати в університети. Тому-що ще років 10-15 ніхто і подумати не міг що Фінляндія буде космічною країною. Що стосується наших супутників вони мають право на існування, але, я певен, що якщо розвивати цю сферу можна досягнути цікавіших результатів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Uplink-vs-Downlink.html>
2. INNOVATIONS IN SATELLITE COMMUNICATIONS AND SATELLITE TECHNOLOGY  
[https://data.kemt.fei.tuke.sk/DigitalnaTelevizia/prednasky/Prednaska\\_DTV\\_7\\_1\\_1\\_17/eBooks%20\(12-03-2015\)/adn8c.Innovations.in.Satellite.Communication.and.Satellite.Technology.pdf](https://data.kemt.fei.tuke.sk/DigitalnaTelevizia/prednasky/Prednaska_DTV_7_1_1_17/eBooks%20(12-03-2015)/adn8c.Innovations.in.Satellite.Communication.and.Satellite.Technology.pdf)
3. "Satellite Systems: Principles and Technologies" by Maini and Agrawal  
[https://data.kemt.fei.tuke.sk/DigitalnaTelevizia/Prednaska\\_STaS\\_5\\_11\\_18/Ludka\\_kniha.pdf](https://data.kemt.fei.tuke.sk/DigitalnaTelevizia/Prednaska_STaS_5_11_18/Ludka_kniha.pdf)
4. [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Kichak\\_P1\\_2018\\_122.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Kichak_P1_2018_122.pdf)
5. Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А. Супутникові системи зв'язку і навігації. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2019. –123 с.  
[https://dut.edu.ua/uploads/1\\_1736\\_47543061.pdf](https://dut.edu.ua/uploads/1_1736_47543061.pdf)
6. Ніколаєнко Б.А., Пелешок Є.В. Сучасні супутникові системи зв'язку: навч. посібник. К.: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.Радіотехнічні системи (основи проектування. частина 1) Навчальний посібник Автори: Кичак В. М. Воловик А. Ю. Шутило, М.А.Червак О. П.
7. Orbit-Attitude Coupled Motion Around Small Bodies: Sun-Synchronous Orbits with Sun-Tracking Attitude Motion Shota Kikuchia \*, Kathleen C. Howellb , Yuichi Tsudac , and Jun'ichiro Kawaguchid  
[https://engineering.purdue.edu/people/kathleen.howell.1/Publications/Conferences/2016\\_IAC\\_KikHowTsuKaw.pdf](https://engineering.purdue.edu/people/kathleen.howell.1/Publications/Conferences/2016_IAC_KikHowTsuKaw.pdf)
8. <https://nvkarta.com/project/library/what-is-sar>
9. <https://www.darpa.mil/program/video-synthetic-aperture-radar>
10. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Січ-2-30>
11. «Технології радіо та телевізійного мовлення». Частина 1 «Технології радіомовлення»:Конспект лекцій для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та

радіотехніка» спеціалізації «Інженерія та програмування інфокомунікацій» / Уклад.: Г.Л.Авдеєнко, – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського,

12. Організація військового зв'язку (В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін). Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.

[https://shron1.chtyvo.org.ua/Sholudko\\_Vasyl/Orhanizatsiia\\_viiskovoho\\_zv'язku.pdf](https://shron1.chtyvo.org.ua/Sholudko_Vasyl/Orhanizatsiia_viiskovoho_zv'язku.pdf)

f