

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

на тему: **“ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУПУТНИКОВОГО ЗВ’ЯЗКУ
В УКРАЇНІ”**

Виконав: студент 4 курсу, групи ТСД-43
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Зозуля А. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Плющ О.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

Київ-2021

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Освітній ступінь Бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мобільних та відеоінформаційних
технологій

_____ Кирпач Л.А.
“ ___ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Зозулі Андрію Юрійовичу

1. Тема роботи: «Перспективи розвитку супутникового зв'язку в Україні» керівник бакалаврської роботи Плющ Олександр Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2021 р. № _____
2. Строк подання студентом роботи
3. Вихідні дані до бакалаврської роботи:
 1. Історія та еволюція супутникового зв'язку;
 2. Супутниковий інтернет та телебачення;
 3. Розробка новітніх систем зв'язку;
 4. Проблеми розвитку супутникового зв'язку;
 5. Науково-технічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 1. Стан і перспективи розвитку супутникових систем зв'язку;
 2. Огляд сучасних технологій у засобах супутникового зв'язку;
 3. Можливість розгортання новітніх систем супутникового зв'язку.
5. Перелік графічного матеріалу:
 1. Титул;

2. Мета роботи;
3. Вступ;
4. Характеристика та основні стандарти в області супутникового зв'язку
5. Підвищення ефективності функціонування сучасних систем супутникового зв'язку;
6. Сучасні проекти супутникових телекомунікацій;
7. Система Starlink;
8. Висновки.

6. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури		Виконано
2.	Історія та стан супутникового зв'язку		Виконано
3.	Актуальність проблеми розвитку супутникових комунікацій		Виконано
4.	Тенденції розвитку технологій супутникового зв'язку		Виконано
5.	Проблеми розвитку супутникових комунікацій		Виконано
6.	Висновки, вступ, реферат		Виконано
7.	Підготовка презентації до захисту.		Виконано

Студент _____ Зозуля А.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Плющ О.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської роботи:

Об'єкт дослідження – процеси розвитку супутникових комунікацій.

Предмет дослідження – сучасні системи супутникового зв'язку та комунікацій.

Мета роботи – дослідження можливостей розгортання власної та іноземної комунікаційної інфраструктури супутникового зв'язку на території України.

Методи дослідження – аналітичний метод та метод імітаційного моделювання.

У бакалаврській роботі було проведено аналіз тенденцій розвитку та сучасного стану супутникових систем зв'язку. Було розглянуто сучасні технології наземного зв'язку, які можуть знайти своє застосування у сфері супутникових комунікацій.

Проведено аналіз переваг та недоліків існуючих та майбутніх систем супутникових телекомунікацій, переваги їх застосування для покращення наземних ліній зв'язку, а також виконано дослідження можливостей створення власних систем супутникового зв'язку в Україні без застосування іноземного ресурсу.

СУПУТНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ,
ОРБИТАЛЬНИЙ РЕСУРС, СИСТЕМА STARLINK, ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ
СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ, ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ІСТОРІЯ ТА ЗАВДАННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ	11
1.1 Розвиток супутникового зв'язку в СРСР.....	11
1.2 Характеристика та основні стандарти в області супутникового зв'язку	17
1.3 Методи та обладнання для прийому та передачі телевізійного та інтернет сигналів	20
1.4 Оператори супутникового зв'язку	26
2. ПЕРСПЕКТИВНІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	29
2.1 Підвищення ефективності функціонування сучасних систем супутникового зв'язку.....	29
2.2 Інтеграція супутникового зв'язку в екосистему 5G	34
2.3 Сучасні проекти супутникових телекомунікацій	36
2.4 Система Starlink.....	39
3. ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ	48
3.1 Основні проблеми розвитку та екологічності сучасних систем супутникового зв'язку.....	48
3.2 Орбітальний ресурс та фінансування космічної галузі в Україні.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

5G	п'яте покоління мобільного зв'язку
ГСО	геостаціонарна орбіта
ЗС	земна станція
КА	космічний апарат
КС	космічне сміття
ЛУЗ	лінії урядового зв'язку
НДІР	Науково-дослідний інститут радіо
НКП	навколоземний космічний простір
ННО	низька навколоземна орбіта
НШК	надширокосмугові
СВПЗ	супутник великої пропускнуої здатності
СЗ	супутниковий зв'язок
ССЗ	системи супутникового зв'язку
ТБ	телебачення
Ш	штучний інтелект
ШСЗ	штучний супутник Землі

ВСТУП

У сучасному світі проявляються тенденції надзвичайно швидкого розвитку технологій цифрового зв'язку, які вже стали невід'ємною частиною нашого життя, і без яких важко уявити нашу повсякденну діяльність. Серед таких тенденцій передове місце займає розвиток супутникового зв'язку.

На сьогоднішній день передача даних з використанням штучних супутників землі є одним із головних елементів зв'язку не тільки в Україні, а і в загальному ринку телекомунікацій, та займає близько чверті світового інформаційного трафіку. Однією з причин такого явища є те, що супутниковий зв'язок майже завжди був комерційно вигідним, завдяки чому швидко розвивався. З'явилися основні типи супутників: геостаціонарні та низькоорбітальні, технології ставали різноманітними, та не дивлячись на стереотипи про швидкість та ціну такого телебачення та інтернету, ставав все більш розповсюдженим.

В сучасних умовах цифрової економіки супутники відіграють велику роль у покращенні людського життя. У надзвичайних ситуаціях вони допомагають орієнтуватися у місцевості та рятують життя людей, а у звичайному житті є незамінною частиною інфраструктури. Супутникові телекомунікації сприяють розвитку майже кожної галузі економіки, від сільського господарства та транспорту до військової промисловості, а також допомагають піднімати рівень життя у важкодоступних та малонаселених містах. Завдяки ним у таких місцях люди вперше змогли використовувати супутникове телебачення та інтернет. З огляду на немалі відстані між великими населеними пунктами та відсутність достатньої кількості наземних ліній зв'язку, супутниковий зв'язок буде хорошим рішенням.

Ще з часів незалежності в Україні спостерігаються проблеми розвитку не тільки супутникового зв'язку, а й космічної галузі в цілому. Критичний економічний стан, відсутність відповідного фінансування, невелика кількість фахівців та доволі скудний орбітальний ресурс України спонукають до використання закордонного ресурсу у задоволенні своїх потреб.

У свою чергу звертання до закордонних друзів все більше і більше відкидає на другий план можливість створення власних систем супутникового зв'язку (ССЗ). Більша частина наукових та фінансових ресурсів кидається на розвиток інших галузей економіки, що сильно ускладнює розвиток власного супутникового зв'язку.

У дипломному проекті розглядається можливість застосування деяких мобільних технологій у сфері супутникового зв'язку, застосування супутникового зв'язку у сегменті наземного зв'язку, а також дослідження можливостей та необхідності України до створення власних супутникових систем.

1. ІСТОРІЯ ТА ЗАВДАННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

1.1 Розвиток супутникового зв'язку в СРСР

Артур Кларк був першим, хто висунув ідею створення глобальної системи супутникового зв'язку на Землі ще у 1945 році. 4 жовтня 1957 на орбіту був запущений перший штучний супутник Землі (ШСЗ). Для контролю за польотом цього штучного супутника було встановлено невеликий радіопередавач, який працював в діапазоні 27 МГц. Велика територія нашої країни, слабкий розвиток зв'язку та великі витрати на вже існуючі на той час засоби передавання інформації робили цей проект дуже перспективним.

З ініціативи директора Науково-дослідного інституту радіо (НДІР) проф. А. Д. Фортушенко в 1960 р в інституті була створена спеціальна лабораторія а також почався формуватися кваліфікований колектив досвідчених фахівців в галузі супутникового зв'язку (СЗ). У 1965 р на основі лабораторії, яка займалася питаннями СЗ під керівництвом Н. І. Калашникова було створено відділ для розробки систем СЗ та мовлення. Головним завданням такого відділу був розв'язок проблем, пов'язаних зі створенням систем СЗ та мовлення цивільного призначення. Ці завдання полягали у наступному:

- розробка ретрансляторів телевізійного мовлення та зв'язку;
- створення проектів для побудови систем СЗ і телевізійного мовлення;
- розробка апаратури для земних станцій (ЗС);
- створення нормативно-технічної документації на тракти та канали зв'язкового і телевізійного обладнання;
- розробка систем контролю та управління ЗС і мережами СЗ і мовлення;
- проведення комплексних робіт з забезпечення ЗС відповідним обладнанням.

У 1960-і роки в НДІР фахівці почали розробку приймально-передавального комплексу радіорелейної тропосферної системи «Горизонт», яка працювала в

діапазоні частот нижче 1 ГГц. Комплекс згодом був модифікований і на його основі була створена апаратура, названа «Горизонт-К», яка використовувалася для оснащення «Блискавка-1», першої вітчизняної системи супутникового зв'язку. Ця лінія була призначена для передачі ТВ-програми або 60 телефонних каналів. За участю фахівців НДІР міста де використовувалася ця система були обладнані двома ЗС. У науково-дослідному інституті зв'язку був розроблений бортовий ретранслятор першого штучного супутника зв'язку «Блискавка-1», успішний запуск якого відбувся 23 квітня 1965 г. Орбіта ШСЗ «Блискавка-1» зберегла своє значення і до сих пір використовується, незважаючи на переважний розвиток геостаціонарних супутників.

Після дослідження технічних можливостей ШСЗ «Блискавка-1» фахівці НДІР запропонували вирішити проблему подачі ТВ-програм центрального телебачення в східні райони країни створенням системи «Орбіта» - першої в світі системи мовлення в діапазоні 1 ГГц на базі апаратури «Горизонт-К». Пропозиція була схвалена. У 1965-1967 роках в рекордно короткі на той час терміни у деяких районах країни одночасно спорудили і ввели в дію 20 ЗС «Орбіта» і нова станція передачі «Резерв». Система «Орбіта» була першою в світі розподільною, циркулярною, телевізійною супутниковою системою. Робочий діапазон системи «Орбіта» 800-1000 МГц, не відповідав тому, який був розподілений відповідно до Регламенту радіозв'язку для фіксованої супутникової служби. Фахівці НДІР виконали роботу по переведенню системи в С-діапазон 6/4 ГГц в період з 1970 по 1972 роки. Створення такої системи стало великим технічним досягненням в області СЗ і забезпечило центральним ТВ-мовленням віддалені куточки країни та багато великих міст.

У зв'язку з розповсюдженням супутникових ретрансляторів з деякою кількістю стволів виникла необхідність у створенні приймального пристрою для станцій типу «Азимут», спочатку - для прийому сигналів трьох стовбурів, пізніше - шести. За допомогою смугових фільтрів та циркуляторів здійснювався поділ стовбурів. Необхідна смуга пропускання становила 34 МГц. При передачі сигналу зображення відхилення частоти становило ± 15 МГц. Для центральної ЗС

розробили передавач «Градiєнт-К», спочатку на три стовбури, потім – на шість. Станції «Орбіта-2» впроваджувалися з 1972 р, і близько 100 було побудовано до кінця 1986 року. Далі для роботи такої мережі було створено і виведено на орбіту перший радянський геостаціонарній ШСЗ «Веселка», бортовий ретранслятор якого створювався в НДІР. При цьому були освоєні та вдосконалені методи наземної обробки виробів супутникового зв'язку.

Швидкий розвиток та розповсюдженість такої системи наприкінці 1970-х років робили її економічно не вигідною. Велика вартість земних станцій робила недоцільним їх застосування в населених пунктах, де проживало до 200 тис. чоловік. Ефективнішою виявилася система «Екран», діапазон частот якої становить до 1 ГГц, та має потужний передавач бортового ретранслятора. Його метою було розповсюдження ТБ-мовлення у малонаселені пункти країни. Для реалізації такого проекту були виділені частоти 714 і 754 МГц. На таких частотах була можливість створити дешеві та досить прості приймальні пристрої. Ця система стала безумовно першою системою саме супутникового мовлення. Саме для цього проекту було розроблено та виготовлено бортовий ретранслятор, який на той час мав рекордну потужність – до 300 Вт. В системі «Екран» крім одного сигналу ТБ-програми передбачалася можливість трансляції однієї радіопрограми. 26 жовтня 1976 року було вперше запущено ШСЗ цієї системи, який виводився на геостаціонарну орбіту Землі (ГСО). ЗС, яка передавала сигнал на супутник «Екран», мала передавач «Градiєнт» з потужністю 5 кВт, що працював в частотному діапазоні 6 ГГц, та була обладнана антеною з діаметром дзеркала 12 м. Розроблені фахівцями НДІР установки такої системи були найбільш дешевими і простими серед багатьох, спроектованих та реалізованих у ті часи. До кінця 1987 р кількість встановлених станцій «Екран» досягала 4500 шт.

З 1976 в НДІР почалася робота зі створення нової в ті часи системи супутникового телебачення у виділеному на міжнародному плані діапазоні частот 12 ГГц, для супутникового ТБ-мовлення. Така система не мала б таких обмежень випромінювальної здатності, які мала на той час система «Екран».

У 1972 р було укладено міжурядову угоду між СРСР і США, в якій велась мова про створення прямої лінії урядового зв'язку (ЛУЗ) між главами двох держав на випадок надзвичайних обставин. На території СРСР було споруджено дві ЗС: одна з них розташовувалася в Дубні та мала антену з діаметром 12 м для організації каналу ЛУЗ за допомогою супутників «Блискавка-3», друга знаходилася у місті Золочеві під Львовом з діаметром дзеркала 25 метрів та використовувалася для роботи через міжнародні супутники «Intelsat-IVa». 1975 року відбулося введення ЛУЗ в експлуатацію. На той момент це був перший робочий досвід вітчизняних фахівців у міжнародній системі «Intelsat».

З 1960 по 1980 рік фахівці НДІР вирішували технічно складні питання створення національних систем супутникового зв'язку та мовлення. Такі супутникові системи як «Екран», «Орбіта», «Москва» та ін. стали на той час першими у світі.

Після 1991 року Україна переходила до вільної ринкової економіки. Цей процес супроводжувався істотними труднощами та проблемами, які виникли у наслідок недостатньо розвиненої інфраструктури країни. Переваги географічного положення та відродження економіки потребують забезпечити надійне управління в усіх сферах діяльності. Вирішенням цього питання був розвиток систем наземних та супутникових телекомунікацій з широким спектром послуг у зв'язку з виходом на міжнародну арену.

Тому в 1992-1993рр було видано низку організаційних документів: розпорядження Президента України "Про національну систему зв'язку", постанови Кабінету Міністрів України "Про заходи щодо створення національної системи зв'язку" та "Про супутникові системи зв'язку з використанням низькоорбітальних космічних апаратів", що в числі інших завдань визначають необхідність розробки "Програми створення системи супутникового зв'язку України".

Цією програмою визначалися основні завдання та принципи створення систем супутникового та ліній наземного зв'язку, а саме:

- надати послуги та задовольнити потреби усіх користувачів;

- пріоритет у розвитку надати системам супутникового телефонного зв'язку міжнародного рівня, а також ділового та відомчого зв'язку;
- довести кілька основних ТБ-програм до всіх регіонів країни;
- відповідність міжнародних стандартів у засобах телекомунікації та передача інформації в основному цифровими методами;
- міжнародна співпраця для максимальної реалізації технічних і виробничих можливостей України;
- вирішення оборонних і народно-господарських завдань країни.

Задача по досягненню цієї програми потребує скоординованої діяльності державних органів, залучивши до роботи підприємств різних форм власності по реалізації ССЗ, укладенні угод міжнародного рівня, вдосконаленню технологій, підвищення наукових та виробничих можливостей країни, а також пошук найбільш вигідних економічних рішень. При розробці системи враховувалися міжнародні угоди, стандарти та проекти зарубіжних організацій. При повному розгортанні ССЗ планувалося задіяти до 17 стовпів космічних апаратів (КА), що забезпечить зв'язок по 8000 телефонним каналам.

Створення ССЗ планувалося в три етапи.

На першому етапі (1993-1995рр) створюється основа національної ССЗ (розробка КА і ЗС) та вдосконалюється система управління ЗС та КА, але послуги супутникового зв'язку надаються з використанням бортових ретрансляторів ШСЗ інших країн.

Другий етап (1996-2000рр) – планувалося виконати з виведенням на геостаціонарну орбіту національного супутника «Либідь» та перевести основну частину трафіку супутникового зв'язку на нього.

Останній етап (після 2000р.) характеризується розширенням можливостей ССЗ з використання зарубіжних супутників та в більшій мірі реалізацією власних проектів з надання послуг зв'язку.

У відповідності до програми у 2000 р. вже повинна була проводитись пробна експлуатація з подальшим переходом на національний КА «Либідь». Аналогічні пункти порушувались різними документами, однак за рядом обставин

заходи, прописані у них, не були реалізовані. Спроби відновити поставлені питання були початі з 2001 р. у рамках створеної міжвідомчої робочої групи, згідно до якої було виконано декілька науково-дослідних робіт та зроблено 5 доповідей на науково-технічній раді Державного зв'язку.

Після 2000 року за сприяння Національного космічного агентства України (НКАУ) і ДП „Укркосмос” був розроблений новий план по реалізації системи «Либідь», який передбачає створення геостаціонарної ССЗ на базі малих вітчизняних супутників (вагою до 800 кг). Вартість такого супутника українського виробництва з 5 – 10 ретрансляторами на борту повинна була скласти всього 20 – 30 млн. доларів. Новий проект планувалося реалізувати до 2005 року, однак здійснити цього не вдалося. Літом 2009 року було прийнято чергове рішення уряду України про розробку, будівництво і запуск до 1 вересня 2011 року українського КА, на що планувалося витратити 412 мільйонів гривень, що реалізувати також не вдалось. В даний час українські системи супутникового зв'язку базуються на оренді іноземних ресурсів сегменту супутникових телекомунікацій.

Безуспішні намагання створити національну систему супутникового зв'язку спонукають до розгляду альтернативних шляхів вирішення цього питання. Не дивлячись на це вже набуті ресурси та досвід у цьому напрямку дозволили задовольнити потреби десятків мільйонів громадян, особливо тих, хто проживали в малонаселених куточках країни . Із впровадженням супутникових систем в таких регіонах громадянам вперше вдалося приймати програми центрального ТБ в реальному часі. За допомогою таких систем вирішувалися проблеми передачі, своєчасного випуску та оперативної доставки центральних газет у ці регіони. Впровадження ССЗ мало виключно позитивний вплив на соціальний та економічний розвиток країни.

1.2 Характеристика та основні стандарти в області супутникового зв'язку

На перших етапах зародження супутникового зв'язку використовувалися тільки пасивні супутникові ретранслятори, такими ретрансляторами були прості відбивачі радіосигналу. Вони не несли на борту КА будь-якого приймально-передавального обладнання. Такі супутники були малоефективними, через що не набули достатнього поширення. На даний момент усі сучасні ШСЗ мають виключно активні ретранслятори. Такі ретранслятори обладнані системами прийому, посилення, обробки та ретрансляції сигналів.

Вибір частот для передачі сигналу від ЗС до супутника і навпаки не є довільним. Від вибору частоти залежать багато факторів, зокрема вибір необхідних розмірів приймально-передавальних антен, або поглинання радіохвиль атмосферою.

Частоти, на яких передається сигнал від земної станції до КА, відрізняються від тих, на яких відбувається передача інформації від КА до земної станції (зазвичай перші вище).

Частоти, які використовуються в системах супутникового зв'язку, поділяють на діапазони, що позначають буквами, наведено у рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку, ITU-R V.431-6.

Таблиця 1.1

Частоти, які використовуються в засобах супутникового зв'язку

Назва діапазону	Частоти згідно ITU-R V.431-6 (ГГц)	Приклади систем	Застосування
P	0,23 - 1	E-SAT	Визначення місцезнаходження
L	1,53 - 2,7	Iridium, Globalstar, ICO, Thuraya	Телефонія, мобільний зв'язок, пейджинг
S	2,7 - 3,5	Globalstar	Рухомий супутниковий зв'язок
C	4, 6	Intelsat	Передача відео, фіксований зв'язок

Продовження таблиці 1.1

Частоти, які використовуються в засобах супутникового зв'язку

Назва діапазону	Частоти згідно ІТУ-R V.431-6 (ГГц)	Приклади систем	Застосування
X	8 - 12	-	Фіксований зв'язок, передача даних
Ku	11, 12, 14	Direct TV, Echostar	Фіксований зв'язок, супутникове телебачення
K	20	Spacewysy, Astrolink	Фіксований зв'язок, супутникове телебачення
Ka	30	Skybridge, Cyberstar	Ширококутний високошвидкісний зв'язок, міжсупутниковий зв'язок

Використовуються і більш високі частоти, але їх використання ускладнено високим поглинанням радіохвиль атмосферою. Ku-діапазон дозволяє виробляти прийом відносно невеликими антенами, і тому використовується для передачі ТБ-сигналів, незважаючи на те, що в цьому діапазоні погодні умови мають високий вплив на якість передачі.

Великими користувачами (зазвичай організаціями) часто застосовується С-діапазон. Він забезпечує більш високу якість прийому, але вимагає досить великих розмірів антени.

Для можливості одночасного користування декількома користувачами супутникового ретранслятора застосовуються системи множинного доступу:

- FDMA (англ. Frequency Division Multiple Access) – множинний доступ з частотним розділенням. Спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному діапазоні знаходиться тільки один абонент;
- TDMA (англ. Time Division Multiple Access) - множинний доступ з розділенням по часу. Кожному користувачеві в одному частотному інтервалі надається певний часовий інтервал (таймслот), протягом якого він здійснює передачу і прийом даних;
- CDMA (англ. Code Division Multiple Access) - множинний доступ з кодовим поділом. При цьому кожному користувачеві видається кодова послідовність, ортогональна кодовою послідовностям інших користувачів. Дані

користувача накладаються на кодову послідовність таким чином, що передаються сигнали різних користувачів не заважають один одному, хоча і передаються на одних і тих же частотах.

Окрім цих систем, також поширеною є технологія DAMA (англ. Demand Assigned Multiple Access) – множинний доступ з наданням каналів на вимогу. Зазвичай використовується користувачами, яким не потрібний постійний доступ до супутникового мовлення. Системи DAMA призначають канали зв'язку на основі новин, що надходять з терміналів користувачів до системи безпеки мережі. Коли схема вже не використовується, канали знову повертаються до центрального пулу для перепризначення іншим користувачам.

Сучасний супутниковий зв'язок має ряд недоліків:

- Невелика перешкодозахищеність. Великі відстані між ЗС та КА є причиною того, що відношення сигнал/шум на приймачі невелике. Для забезпечення невеликої вірогідності помилки, доводиться використовувати малошумні елементи, антени великих розмірів та складні перешкодостійкі коди;
- Вплив атмосфери. На якість СЗ має великий вплив ефекти в тропосфері та іоносфері;
- Поглинання в тропосфері. Ступінь поглинання сигналу залежить від його частоти. Максимум поглинання припадає на 22,3 ГГц та 60 ГГц. Поглинання має великий вплив починаючи з Ku-діапазону (вище 10 ГГц);
- Затримка поширення сигналу. Затримка поширення найбільш помітна в додатках реального часу, наприклад, в телемовленні або відео зв'язку;
- Вплив сонячної інтерференції.

1.3 Методи та обладнання для прийому та передачі телевізійного та інтернет сигналів

На даний момент існує два типи обміну даними через ШСЗ:

- Односторонній, інколи називають «асиметричний» - для прийому даних використовується сигнал, прийнятий с КА, для передачі – наземні канали зв'язку;
- Двосторонній, або «симетричний» - і для прийому, і для передачі використовуються супутникові канали зв'язку.

Обладнання для використання двостороннього супутникового інтернету:

- Приймально-передавальна антена. Така антена сильно відрізняється від «приймальних» супутникових антен в першу чергу вимогами до точності виготовлення, міцності та здатність витримати встановлення достатньо важкого опромінювача і високочастотного блоку. Найчастіше використовується Ku-діапазон, для якого зазвичай потрібні антени з діаметром від 1,2 до 1,8 метрів. Також останній час з'являються сервіси з доступним діаметром антени 0,8 - 0,9 метра. В останні роки для надання послуг супутникового інтернету став доступний Ka-діапазон, для використання якого потрібні антени меншого діаметру, близько 0,7 метра;
- Високочастотне обладнання, а саме передавальний блок BUC (англ. block-up converter) і приймальний блок LNB (англ. low-noise block) які встановлюються на опромінювачі антени;
- Супутниковий термінал (модем). Модем є основним пристроєм для двостороннього супутникового зв'язку. Він забезпечує прийом та передачу супутникового сигналу, організує взаємодію з центральним вузлом постачальника супутникового інтернету та виконує передачу трафіка в локальну мережу користувача.

Переваги та недоліки двостороннього супутникового інтернету:

Головна перевага та відмінність від «одностороннього» супутникового зв'язку – повна незалежність від наявності локальний інтернет-провайдерів та

наземних ліній зв'язку. Для роботи такої системи потрібні тільки пряма видимість на супутник, джерело живлення та місце розташування антени.

До недоліків такого супутникового інтернету можна віднести порівняно високу ціну обладнання, проте останнім часом спостерігається тенденція до її зниження. Особливістю двостороннього супутникового інтернету великі затримки сигналу, які фізично не можуть бути менш 480 мс; нормальні значення затримки знаходяться в діапазоні 600 - 800 мс (залежить від взаємного розташування «центральної станція - супутник» і «супутник - абонентська станція»). Причиною таких затримок є те, що супутник знаходиться на геостаціонарній орбіті, відстань від ЗС до супутника складає приблизно 40000 км, щоб передати інформацію використовуючи супутниковий зв'язок, сигналу потрібно пройти 4 такі відстані. Через такі високі затримки двосторонній супутниковий не дає можливості користуватися on-line сервісами, наприклад такими як відео зв'язок.

Устаткування для одностороннього супутникового Інтернету:

- Супутникова плата (DVB-карта). Використовується для прийому сигналу в стандарті DVB-S або DVB-S2. Вона буває з інтерфейсом PCI, PCI-E або USB, вибір залежить від того, яким краще підключати до комп'ютера. Краще використовувати плати з підтримкою DVB-S2, оскільки все більше операторів переходять на цей стандарт;
- Супутникова антена («тарілка»). Така ж, як і для прийому супутникового ТБ; як правило, достатньо антени діаметром 0,9 м, але зазвичай потрібно уточнювати у інтернет-провайдера для конкретної місцевості, в залежності від області покриття супутником території;
- Встановлюваний на антені підсилювач-конвертер (як правило - «універсальний конвертер Ku-діапазону»). Працює з лінійною поляризацією, але деякі провайдери працюють в круговій поляризації, можливо також і використання С-діапазону.

Існує два взаємодоповнюючих підходи до реалізації ПО для супутникового інтернету:

У першому випадку DVB-карта використовується як стандартний мережевий пристрій (працює тільки на прийом), а для передачі використовується VPN-тунель (багато провайдерів використовують PPTP, в деяких випадках використовується IP- тунель). При цьому в системі відключається контроль заголовків пакетів. Запитальний пакет йде на тунельний інтерфейс, а відповідь приходить з супутника. Даний підхід дозволяє використовувати будь-які додатки, але має велику затримку. Більшість доступних супутникових провайдерів підтримують даний метод.

Другий варіант (іноді використовується спільно з першим): використання спеціального клієнтського програмного забезпечення, яке за рахунок знання структури протоколу дозволяє прискорювати отримання даних (наприклад, запитується веб-сторінка, сервер у провайдера переглядає її і відразу, не чекаючи запиту, посилає і картинку з цієї сторінки, вважаючи, що клієнт їх все одно запросить; клієнтська частина зберігає у кеш такі відповіді і повертає їх відразу). Таке програмне забезпечення з боку клієнта зазвичай працює як HTTP і Socks-проксі.

Можна виділити наступні плюси одностороннього супутникового Інтернету:

- Можливість отримати високі швидкості вхідного трафіку там, де мережі наземних операторів мають низьку швидкість і високу ціну;
- Порівняно недорогий комплект обладнання, що включає стандартні і компоненти також і для ТБ-прийому;
- Так як такий супутниковий зв'язок використовується у місцевості з розвиненими наземними шляхами передачі інформацію, існує велика ймовірність придбати найбільш громіздке обладнання (антену з опорою, кабелі) в безпосередній доступності, без складної доставки;
- Більш легка і проста в установці антенна система, ніж для двостороннього доступу;
- Традиційно невисока для супутникових послуг вартість трафіку, особливо в години мінімального завантаження мережі;

- Можливість одночасного перегляду супутникового ТБ і «риболовлі з супутника» - перехоплення інформації, переданої користувачеві супутникового Інтернету з супутника;

- Простота переходу від провайдера до провайдера, через прийняті світові стандарти програмного забезпечення та обладнання.

Недоліки одностороннього супутникового інтернету:

- Сильна залежність від якості наземних мережі, які використовуються як канали для відправки запитів. Затримки і втрати даних в сегменті наземної мережі можуть привести до зниження якості сервісу в цілому;

- Складність установки - потрібно не тільки точне наведення антени на супутник, а й встановлення та налаштування програмних компонент на комп'ютері користувача (VPN-підключення або "прискорювачів трафіку");

- Імовірність конфлікту необхідних для роботи одностороннього доступу додатків з іншими компонентами програмного забезпечення;

- Складність реалізації «групового підключення» - коли до одностороннього супутникового інтернету потрібно підключити домашню локальну мережу, з можливістю виходу в Інтернет, наприклад, смартфонів, планшетів, ноутбука і т.п.

Для використання супутникового ТБ-мовлення потрібне спеціальне обладнання, частина якого використовується і для доступу до мережі Інтернет. Стандартний набір складається з супутникової антени, супутникового конвертера та ресивера, який може бути частиною головної станції кабельного ТБ.

Супутник знаходиться або на геостаціонарній орбіті, або (у рідких випадках) на орбіті «Блискавка». Шлях радіосигналу починається на передавальних антенах-тарілках, дуже великих за розміром: 9-12 м в діаметрі, що дає більш якісний сигнал, який передається і влучно попадає в супутник. На ньому він приймається спрямованими антенами, кожна з яких орієнтована на свій передавальний центр. Ця ділянка шляху сигналу називається аплінком (англ. Uplink).

КА ретранслює сигнал у бік Землі на інших частотах, як правило 10,7-12,7 ГГц, але деякі і зараз використовують С-діапазон (4-6 ГГц) і/або Ku-діапазон (12-18 ГГц). Передавальних трактів супутника, на супутнику може бути до 32, якщо він працює в Ku-діапазоні або до 24, якщо в С-діапазоні, і більшу кількість для гібридних супутників. Ширина тракту супутника - від 27 до 72 МГц. Напрямок сигналу від супутника до Землі прийнято називати «низхідним каналом» або «лінією вниз» (англ. Downlink).

Супутники С-діапазону розміщують на орбіті не ближче 2° один від одного, щоб уникнути перешкод наземним приймачів, в діапазоні Ku - не ближче 1° . Таким чином, на орбіті може вміститися до 180 супутників С-діапазону або 360 Ku-діапазону. Також відмінністю діапазонів є чутливість С-діапазону до наземних перешкод, а Ku-діапазону - до дощу, так як вода поглинає саме цю радіочастоту. Крижані кристали всередині грозових хмар, якщо вони утворилися на шляху сигналу, впливають ще сильніше. Крім того, відомо явище сонячної засвічення: двічі на рік, в дати близькі до рівнодення, Сонце на декілька хвилин виявляється з точки зору земного спостерігача точно позаду супутника, і створює своїм випромінюванням перешкоди, що перешкоджають прийому сигналу, однак, наземне обладнання захищене від такого впливу і, як правило, виводить на екран відповідний ТБ-сигнал.

Ранні системи використовували аналогові сигнали, але сучасні використовують цифрові сигнали, які дозволяють передавати телебачення високої чіткості

Стандарти супутникового телебачення:

- Цифрове супутникове телебачення транслюється в стандартах DVB-S / DVB-S2, S-DMB і ISDB-S;
- У цифровому супутниковому телебаченні використовуються стандарти стиснення відео MPEG-2 і MPEG-4;
- Цифровий телевізійний сигнал або мультиплексований сигнал зазвичай модулюється QPSK або 8PSK;

- За ступенем доступності супутникове телебачення ділиться на вільне (FTA, англ. Free to air) і кодоване. Система умовного доступу включає в себе кодування: BISS, Conax, DigiCipher, Irdeto, Irdeto 2, Nagravision, PowerVu, Viaccess та ін;

- В даний час використання цифрового супутникового обладнання дозволяє отримувати зображення з високою роздільною цифрою якості, аж до HDTV (1080i) і 3D-TV (DVB 3D-TV). Оператори супутникового телебачення, як правило, надають своїм клієнтам кілька пакетів телеканалів в залежності від їх смаків і фінансових можливостей.

Цифрове супутникове телебачення дозволяє надавати різні сервіси та послуги:

- Багатоканальне мультиплексування;
- Цифрове супутникове радіо;
- Телебачення стандартної чіткості SDTV (576i) в форматах співвідношення сторін екрану 4:3 і 16:9;
- Телебачення високої чіткості HDTV (1080i);
- 3D-телебачення в стандарті DVB 3D-TV;
- Відео за запитом;
- Телегід, телетекст, субтитри, стереозвук;
- Об'ємний звук;
- Звук Dolby Digital;
- Вибір мови мовлення;
- Синхронізація часу і дати з цифровим телемовленням.

На сьогоднішній день в Україні супутникове телебачення схильне до впливу тренду на відмову від супутникового ТБ-мовлення та зсуву його на другий план перед супутниковим інтернетом. Такі тенденції розвитку ССЗ проявляються не тільки в Україні, а й по всьому світі.

1.4 Оператори супутникового зв'язку

Супутникова телефонія:

Залежно від оператора зв'язку, областю охоплення може бути або вся Земля, або окремі регіони світу. Пов'язано це з тим, що використовуються або супутники які летять достатньо низько до Землі, які при достатній кількості покривають зоною охоплення всю Землю, або супутники на геостаціонарній орбіті, де вони не рухаються щодо Землі і не «бачать» її повністю.

Існує кілька регіональних і міжнародних операторів супутникового зв'язку.

Intelsat - міжнародна організація супутникового зв'язку, заснована в 1964 році як міждержавна організація.

Eutelsat - французький оператор супутникового зв'язку, посідає перше місце за величиною обороту серед операторів супутникового зв'язку в світі.

Iridium - всесвітній оператор супутникового телефонного зв'язку. Покриття становить 100% поверхні Землі, включаючи обидва полюси.

Globalstar - один з найбільших в світі постачальників мобільного супутникового зв'язку і передачі даних.

Inmarsat - міжнародна компанія супутникового зв'язку, заснована в 1979 році, спочатку як міждержавна організація.

Thuraya - регіональний оператор супутникового телефонного зв'язку, який працює в Європі, Середній Азії, Австралії та Африці.

Інтерсупутник - міжнародна міждержавна організація з надання послуг супутникового зв'язку. Послуги супутникового телефонного зв'язку на основі обладнання Інтерсупутник надаються компанією Ісател.

Сьогодні три оператори, а саме Inmarsat, Iridium та Thuraya, гарантують високу якість сигналу по всій території нашої країни. Проблеми з покриттям території є тільки у Globalstar, який гарантує впевнену передачу даних тільки в Закарпатській області, на заході Чернівецької та на півдні Львівської області.

Жоден з даних операторів СЗ не представлений офіційно в Україні. Серед них тільки Inmarsat є партнером невеликої фірми Дніпропетровської області, але

все одного його не можна назвати повноцінним представником. Причинами такого явища є низький попит на супутникову телефонію, обмеження у законодавство та складні процедури отримання ліцензії.

Не дивлячись на це придбати та встановити можна будь-які моделі терміналів від всіх операторів.

Супутникове ТБ-мовлення:

На даний момент працює два оператори супутникового ТБ-мовлення на території України: «Viasat» та «Xtra TV».

Український підрозділ компанії Viasat, Viasat Україна прийшов на український ринок супутникового ТБ-мовлення ще у квітні 2008 року і став першим на той час провайдером з надання платних послуг супутникового телебачення в нашій країні, який отримав ліцензію від Національної ради с питань телебачення та радіомовлення.

Самий обширний на даний момент пакет послуг Viasat коштує 299 грн. в місяць та налічує 138 не тільки українських, а і зарубіжних каналів.

«Xtra TV» — міжнародний представник з надання послуг супутникового ТБ-мовлення, який з'явився у 2011 році і першим запустив на ринку України послугу ТБ-мовлення на умовах передплати. Серед своїх особливостей оператор має можливість призупинити надання послуг на час відсутності необхідності абонентів у супутниковому телебаченні. Сигнал який передає телесигнал, передається з КА Amos 3/7, Astra 4A та Eutelsat 9B. Самим обширним на даний момент тарифом Xtra TV, є тариф, який налічує 125 телеканалів.

Не дивлячись на швидкий розвиток та поширення серед громадян наземних систем зв'язку, супутникове ТБ поряд з супутниковим інтернетом набуває все більшої популярності. За оцінками компанії BigDataUa станом на 2019 рік в Україні налічувалося близько 200000 домогосподарств, які користуються таким видом телебачення. Вже до кінця 2021 року кількість підключених систем може збільшитися до 1 млн.

Оператори з надання супутникового інтернету:

Супутниковий інтернет не отримав великої популярності в Україні загалом через його недоліки у вигляді великих затримок сигналу та чималої вартості, тому сьогодні діють лише два оператори супутникового інтернету на території нашої країни: «SkySat +» та «Datagroup».

Датагруп є українським оператором зв'язку, який також працює у сфері телекомунікацій для великого бізнесу. Окрім надання доступу супутникового інтернету має ряд інших послуг: побудова корпоративних мереж, послуги телебачення, доступ до банківських сервісів, послуги дата-центру, телефонія, передача даних, хмарні сервіси та послуги з комп'ютерної безпеки.

Компанія займає найбільшу частину ринку серед усіх операторів в області передачі даних, міжнародного трафіку та супутникового зв'язку.

Міжнародний оператор Skysat+ є менш популярним на території України, так як має менші швидкості передачі даних, а саме до 1МБ/с на відміну від конкурента, швидкість мовлення якого досягає 20Мб/с. SkySat має велику область покриття, але більше розрахований на роботу у центральній Європі, через що має гірше покриття на Сході України ніж на західній частині.

У 2017 році почалося тестування та впровадження інноваційної ССЗ Starlink приватної компанії SpaceX. Starlink – глобальний провайдер в області супутникового інтернету, який вже у 2022 році може зайняти передове місце на ринку супутникового зв'язку в Україні. Він сам розробляє, створює, запускає та у подальшому обслуговує усі компоненти супутникової групи, без участі держави. Запланована зона покриття – вся поверхня планети Земля. На даний момент запущено вже 1623 КА, 1553 з яких вже знаходяться на орбіті. Ціллю проекту є забезпечення широкополосним доступом до Інтернету усієї поверхні а також розповсюдити даний вид зв'язку серед населення.

2. ПЕРСПЕКТИВНІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Підвищення ефективності функціонування сучасних систем супутникового зв'язку

Фахівці в області супутникових комунікації у будь який час їх розвитку були зацікавлені у розробці перспективних методів передачі інформації. В останні часи почали проводитися дослідження деяких систем наземного зв'язку у застосуванні в ССЗ, такі як MIMO, OFDM та надширокосмугові (НШК) системи зв'язку.

Технологія MIMO

Якість передачі інформації та пропускну здатність передачі інформації в супутникових системах можна значно підвищити за рахунок інтеграції технології MIMO.

У загальному випадку структура схеми MIMO має в своєму складі певну кількість передавачів (передавальних антен) M_t і приймачів (приймальних антен) M_r . Розглянемо MIMO-систему $M_t \times M_r$, зображену на рис. 1. Високошвидкісний потік даних розбивається на M_t незалежних послідовностей зі швидкістю $1/M_t$, які потім передаються одночасно з декількох антен, відповідно не користуючись тільки $1/M_t$ їх первинної смуги частот. Перетворювач потоку даних на передавальному наприкінці лінії зв'язку перетворює послідовний потік в паралельний, а на приймальному – виконує зворотне перетворення.

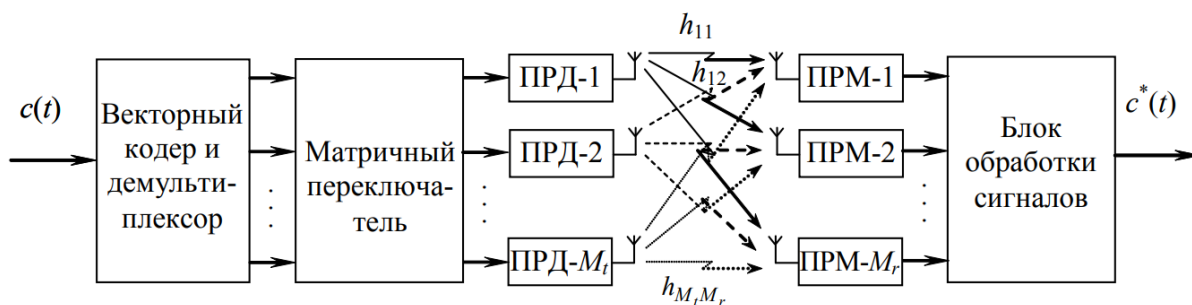


Рис.1. Структурна схема MIMO

Засоби радіозв'язку МІМО забезпечують:

- розширення зони покриття радіосигналами згладжування в ній мертвих зон;
- використання декількох незалежних шляхів поширення сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менший вплив завмирань;
- підвищення пропускнуої спроможності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів.

Однак, МІМО-технології включають в себе ціле сімейство технологічних напрямків: розраховані на одного користувача, на багато користувачів і розподілене (віртуальне) МІМО. Тому, виникає питання вибору виду МІМО-технологій, які можуть бути найбільш раціонально застосовані в супутникових системах зв'язку, та які відрізняються від наземних систем областю покриття, топологією каналу зв'язку, величиною затримки поширення сигналу, рівнем перешкод в каналі зв'язку.

Виходячи з особливостей супутникового зв'язку найбільш перспективними варіантами використання МІМО-систем в системах супутникового зв'язку можуть бути:

- схема передачі з використанням одного або двох супутників розрахована на одного користувача;
- схема передачі з використанням одного супутника розрахована на багато користувачів.

Надширокосмугові системи для супутникового зв'язку

До основних переваг НШК зв'язку відносяться:

- відсутність необхідності ліцензування;
- низька складність обладнання та низька вартість;
- стійкість до багатопроменевого розповсюдження;
- низька ймовірність перехоплення;
- низьке споживання потужності.

Однак ключові особливості (НШК) систем можуть бути використані в супутниковому зв'язку. Для цього необхідно: змінити обмеження на випромінювану потужність для впровадження (НШК) супутникового зв'язку, що не вимагає ліцензії, або для перенесення діапазону робочих частот на частоти, що знаходяться вище діапазону Ка, де широка частина діапазону доступна для розподілу при ліцензійному використанні

Відносно застосування (НШК) зв'язку в супутникових системах ключовим завданням є вивчення впливу перешкод на наземні системи. При цьому необхідно вирішити і інші важливі завдання: вибір діапазону частот для (НШК) супутникових систем зв'язку; визначення впливу перешкод, які створюються такою системою для інших супутникових систем.

Побудова високошвидкісних систем супутникового зв'язку можливо на основі об'єднання технології MIMO і (НШК) сигналів.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка (НШК) систем MIMO (UWB-MIMO) для досягнення гігабітних швидкостей не тільки в наземних, але і в супутникових системах.

Мультиплексування з ортогональним поділом сигналів (OFDM) широко використовується в сучасних системах зв'язку. Основними перевагами даної технології є висока стійкість щодо частотно-селективних завмирань в каналі при меншій обчислювальній складності в порівнянні з системами з однієї несучої, а також висока спектральна ефективність. OFDM застосовується на фізичному рівні більшості використовуваних бездротових стандартів, таких як, наприклад, IEEE 802.11, IEEE 802.16 / WiMAX, а також в наземному цифровому відео мовленні (DVB-T).

До недавнього часу, дана технологія передачі вважалася непридатною для використання в супутниковому зв'язку, оскільки OFDM-сигнал характеризується великим пікфактором. З цієї причини OFDM сигнали чутливі до нелінійних спотворень підсилювачів потужності передавача, що є одним з найважливіших показників при роботі з супутниковими системами. Однак, останнім часом було доведено, що застосування спеціальних алгоритмів кодування OFDM-сигналу в

поєднанні з використанням методу компенсації нелінійних спотворень може забезпечити задовільну продуктивність навіть при режимі роботи підсилювача, близькому до насиченню.

Використання OFDM в супутникової зв'язку викликає інтерес з наступних причин:

- висока спектральна ефективність в умовах багатопроменевого поширення;
- можливість зменшення загального навантаження на супутниковий приймач (розглядається регенеративна архітектура);
- нова архітектура розбиття на канали, що використовує принципи OFDM;
- при використанні наземної і супутникової гібридної системи зв'язку, в наземному сегменті з OFDM, застосування тієї ж технології для супутникового компонента може зменшити складність приймача.

Штучний інтелект (ШІ)

Окрім загальноприйнятих методів використання штучного інтелекту у повсякденному житті, він починає все частіше і частіше інтегруватися у системи телекомунікацій, не тільки наземні, а й супутникові.

Штучний інтелект та машинне навчання найближчим часом стануть основними передовими технологіями зв'язку і революціонізують загальноприйнятю ідею СЗ. Поверх сучасних прийнятих систем управління СЗ, ШІ у найближчому майбутньому стане їх невід'ємною частиною. Такі системи повністю реконфігурують корисне навантаження систем супутникового зв'язку. Тенденції переходу ССЗ до використання штучного інтелекту потягнуть за собою ряд покращень, а саме:

- Зменшення інженерних зусиль. ШІ допомагає зменшити використання людського ресурсу у проектуванні або налаштуванні обладнання супутникових систем;
- Велика швидкість обчислень. За рахунок машинного навчання, ШІ обчислює та аналізує дані отримані від попереднього досвіду використання СЗ,

що допомагає розподілити корисне навантаження супутників в залежності від погодних умов там, де вони використовуються.

Перший в історії супутник з обладнанням на базі штучного інтелекту, запуск якого відбувся у 2020 році, показав позитивні результати роботи. Мова йде про апарат PhiSat-1, до складу якого увійшла «розумна» система обробки даних з візуальним процесором (VPU) Intel Movidius Myriad 2. Супутник PhiSat-1 обладнаний новою камерою з функціями гіперспектрального тепловізора. Апарат призначений для моніторингу полярних льодів і контролю вологості ґрунту, а також тестування системи зв'язку між супутниками. Фахівці відзначають, що близько двох третин поверхні нашої планети зазвичай вкрите хмарами і непридатне для моніторингу. А тому величезна кількість зображень, що пересилається на Землю з супутників по дорогим каналам зв'язку, по суті, не несуть ніякого інформаційного навантаження. Процесор Movidius Myriad 2 якраз і застосовується на новому супутнику для відсіювання непотрібних знімків. За рахунок цього може заощаджуватися до 30% пропускної здатності каналу зв'язку. Супутник PhiSat-1 був виведений на геліосинхронну орбіту у вересні минулого року. Проведені з тих пір тести показали ефективність застосованих програмно-апаратних рішень. І тепер Європейське космічне агентство оголосило, що об'єднана команда розробників створила перший в історії апаратний прискорювач з функціями для спостереження за поверхнею Землі і обробкою зображень безпосередньо на орбітальному супутнику.

По даним Deep Knowledge Analytics Україна займає друге місце на ринку штучного інтелекту Східної Європи. Уряд країни ухвалив концепцію розвитку штучного інтелекту до 2030 року, але на даний момент, розвиток ССЗ з використанням ШІ не планується.

Таким чином, такі технології наземних комунікацій як MIMO, OFDM, використання надширокопосмугових сигналів та машинного навчання можуть зайняти важливе місце у проектуванні систем супутникового зв'язку не тільки в Україні, а і у всьому світі.

2.2 Інтеграція супутникового зв'язку в екосистему 5G

Якщо казати про перспективи використання супутникового зв'язку, то не можна не згадати п'яте покоління мобільного зв'язку (5G). Особливістю цього стандарту є поєднання різноманітних типів зв'язку. У такій системі ССЗ будуть одним із головних компонентів. Доповнення наземних каналів передачі інформації мережі 5G лініями СЗ, допоможуть операторам стати важливими гравцями в новій екосистемі, яка зароджується в Україні. Концепція застосування космічного сегмента зв'язку заснована на деяких передумовах, а саме:

- супутниковий сегмент буде інтегруватися з іншими мережами мобільного та фіксованого зв'язку;
- системи космічного зв'язку є фундаментальними компонентами для надійного надання послуг 5G не тільки на території України, але і у всіх інших регіонах світу, весь час і за доступною ціною;
- супутниковий сегмент 5G буде сприяти характеристикам глобальності, збільшення можливостей послуг 5G і рішенням проблем, пов'язаних з підтримкою зростання мультимедійного трафіку, повсюдного покриття, зв'язку між машинами і критично важливих телекомунікаційних місій при оптимізації вартості для кінцевих користувачів;
- космічний сегмент може стати частиною гібридної мережевої конфігурації, що складається з ширококомовної і ширококутової інфраструктури, керованих таким чином, щоб вони забезпечували негайну і безперебійну конвергенцію послуг 5G для всіх кінцевих користувачів.

Технічними специфікаціями 3GPP (Партнерського проекту третього покоління) визначено кілька варіантів використання супутникових мереж 5G:

- 1) Супутникова мережа 5G і роумінг з операторами наземних мобільних мереж. Оператор супутникової мережі 5G організовує надання послуг передачі даних на глобальній території. Оператор наземної мережі укладає роумінгові угоди з оператором супутникової мережі 5G і з іншими операторами наземних мереж;

- 2) Глобальна супутникова мережа мовлення 5G. Оператор супутникової мережі 5G організовує надання послуг ширококомовної передачі відео або іншого контенту;
- 3) Супутникова мережа Інтернету речей 5G. Оператор супутникового мережі 5G організовує надання послуг Інтернету речей;
- 4) Супутникова мережа 5G в кризових ситуаціях. Супутникова мережа 5G організовує надання послуг передачі даних в кризових ситуаціях (наприклад, у разі стихійного лиха або війни), коли наземні мережі зв'язку пошкоджені;
- 5) Спільна супутникова і наземна мережа 5G. Оператор будує спільну супутникову та наземну мережу. На територіях спільного радіо покриття (супутникового і наземного мереж) організовується оптимальна маршрутизація трафіку;
- 6) Супутникова мережа 5G для абонентських пристроїв без підтримки супутникового інтерфейсу. Масові абонентські пристрої не підтримуватимуть супутниковий інтерфейс. Взаємодія таких абонентських пристроїв із супутниковою мережею зв'язку передбачається через проміжні (релейні) абонентські пристрої (Relay UE), що підтримують супутниковий інтерфейс;
- 7) Глобальна мобільна транспортна мережа 5G. Супутникова мережа використовується для організації транспортних каналів Midhaul, Backhaul між рухомими базовими станціями.

У доступному для огляду майбутньому Інтернет речей глибоко проникне в усі сфери життя, і, без сумніву, в деяких регіонах для обміну машинним трафіком можна буде використовувати супутниковий зв'язок. Саме супутниковий зв'язок завдяки географічним охопленням і гарантованій передачі даних стане однією з основних технологій для IoT (Internet of things).

Проблемами розвитку супутникового сегмента стандарту 5G можуть стати спільне використання радіочастотного спектра в смугах частот, виділених на первинній основі супутниковому і наземному сегментам 5G, а також міжсистемна електромагнітна сумісність бортового обладнання і земних станцій з обладнанням базових і абонентських станцій наземного сегмента 5G.

Слабкі сторони супутникових телекомунікацій такі як велика затримка сигналу, недостатня швидкість передачі, низька пропускна здатність, невисока ступінь надійності зв'язку вже відходять в минуле завдяки розгортанню супутників на нижчих орбітах, використання нових технічних рішень, створення нових супутників з високою пропускною здатністю.

2.3 Сучасні проекти супутникових телекомунікацій

Геостаціонарні системи з великою пропускною здатністю

Наприкінці першого десятиріччя 2000х років з'явився новий тип геостаціонарних супутників зв'язку – супутники великої пропускної здатності (СВПЗ) (скор. англ. HTS – High Throughput Satellite).

Реалізація ефективного використання ресурсів КА досягається формуванням зон покриття. Для зв'язку між ЗС через супутник першого покоління спектр частот використовується тільки один раз, виділений супутниковій мережі. При формуванні загальної зони покриття використовується сукупність невеликих зон, за рахунок чого у різних мережах можна використовувати однаковий спектр частот, сигнали у якому конфліктували б між собою на супутниках першого покоління.

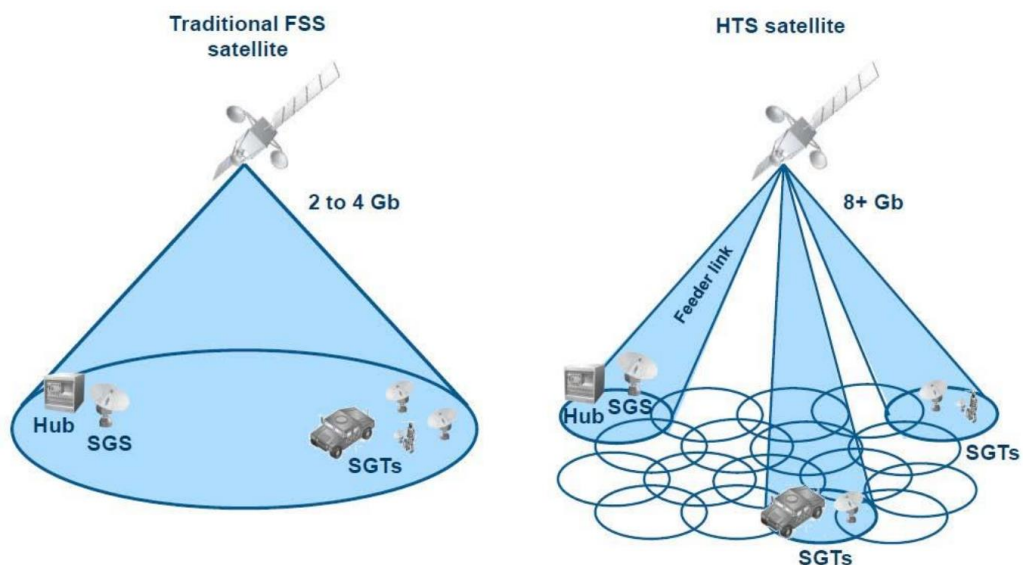


Рис. 2.1. Формування зон покриття супутників першого покоління (зліва) та супутників 2 покоління (справа)

До головних відмінностей та особливосте СВПЗ відносяться:

- Супутник обслуговується за допомогою великої кількості невеликих променів кругової або еліптичної форми. Ширина кожного променя становить $1,0^\circ - 1,5^\circ$. Кількість променів може бути 100 або більше;
- кожен вузький промінь підключений тільки до одного каналу зв'язку зі смугою пропускання від 62,5 МГц до 250 МГц або навіть 500 МГц;
- багаторазове використання виділеної смуги частот (більше 10 разів);
- для роботи СВПЗ потрібна спеціальна наземна інфраструктура – шлюзові станції;
- усі шлюзову станції з'єднуються з окремими наземними лініями для покращення ефективності роботи системи;
- сумарний ресурс пропускної здатності супутників першого покоління 70-150 Гбіт/с, другого покоління від 300 до 500 Гбіт/с.

Система ViaSat

На сьогоднішній день супутник ViaSat-2 залишається самим потужним КА, виготовленим компанією Boeing Satellite Systems. Супутник призначений для надання доступу широкопasmового доступу до інтернету в діапазоні частот Ка (20/30 ГГц). Сумарна пропускна здатність супутника складає близько 300 Гбіт/с, що в два рази більше його попередника ViaSat-1. Супутник використовує технологію SurfBeam 2 для надання широкопasmового доступу абонентів до мережі Інтернет. Компанія ставить на меті забезпечити покриття усього тільки в частотному діапазоні Ku, але й в діапазоні Ка. Новою тенденцією для операторів СВПЗ стало об'єднання зон обслуговування супутників для розширення зони надання послуг на основі спільної технології передачі інформації SurfBeam 2 DOCSIS на термінали користувачів

На даний момент система покриває більшу частину Північної Америки та усю територію Європи.

Система Inmarsat

КА Inmarsat-5 F4 є четвертим супутником в серії з чотирьох супутників великої пропускної здатності, які формують космічний сегмент системи GlobalXpress.

В Ка-діапазоні КА Inmarsat-5F4 формує 89 фіксованих вузьких променів еліптичної та кругової форми (в залежності від регіону) та 8 променів, які мають можливість перенацілюватися, два з яких використовуються для зв'язку зі станціями спряження. В кожному фіксованому промені забезпечується загальна швидкість передачі інформації 100 Мбіт/с, яка розподілена між лінією «вниз» та «вверх». Кожний термінал споживача в області одного променя може забезпечити приймання сигналу зі швидкістю до 50 Мбіт/с та передавання зі швидкістю 5 Мбіт/с. Керовані промені найчастіше використовуються для військових та комерційних користувачів зі смугою пропускання 40, 125, 270, 400 та 730 МГц.

Система Intelsat

Система Intelsat Epic обслуговує суходіл та основні морські і авіаційні шляхи. За допомогою такої зони обслуговування з'являється можливість для реалізації нових послуг, а саме забезпечення ширококутового доступу літаків у повітрі на шляхах трансокеанських перельотів та морських суден у відкритому морі.

OneWeb – англійська компанія з надання телекомунікаційних послуг. Планами компанії було створити сузір'я навколо всієї Землі з метою забезпечити широкополосним доступом в мережу Інтернет кожен куточок планети. Запуски КА почалися ще у 2019 році, на даний момент на орбіту було виведено 182 супутники. Супутники важать по 150 кг. Вони обертаються навколо Землі на 18 орбітах на висоті близько 1200. Швидкість передачі інформації повинна досягати 50 Мбіт/с. У 2020 році компанія тимчасово збанкрутувала, причиною чого була відсутність належного фінансування.

Усі перелічені системи досить продуктивні на даний момент та досі набувають все більшого розповсюдження серед користувачів та будуть використовуватися і у майбутньому за рахунок великої пропускної спроможності.

Але такі ССЗ не позбавлені основного недоліку – великих затримок при передачі сигналу.

Після 2017 року на ринку супутникового зв'язку з'являється іще один гравець, система Starlink приватної компанії SpaceX, який особливо швидко набуває популярності після реалізації перших успішних запусків та тестів супутників системи. На відміну від системи OneWeb, при розробці цього проекту застосовувалися найновітніші технології та ідеї, за рахунок яких ССЗ здобуває все більшого фінансування та схвалення у світі.

2.4 Система Starlink

Кожна супутникова мережа складається з трьох сегментів: космічного, користувацького та контрольного. Це також стосується супутникової мережі Starlink. Космічний сегмент містить усі супутники Starlink на низькій орбіті Землі. Користувацька частина складається з обладнання зв'язку, встановленого на Землі, і передає супутникові дані кінцевому користувачеві. Користувачам не потрібно буде встановлювати фіксовані супутникові антени та подібне обладнання. Ілон Маск, засновник компанії SpaceX, на першій презентації сказав, що їх метою є забезпечення передачі більшості Інтернет-трафіку на великі відстані та близько 10% місцевого Інтернет-трафіку в певних областях. Він також зазначив, що супутникові мережі Інтернету мають перевагу над земними, оскільки швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі приблизно на 30% вища, ніж в оптичному волокні, і тому, що для того, щоб інформація дісталася до віддаленого пункту призначення, потрібно менше вузлів. Проект отримав значне схвалення, а також спротив у світовій астрономічній спільноті.

Основні характеристики Starlink дозволяють мінімізувати затримки часу, використовуючи низькі орбіти. Основним недоліком супутників у низькій навколосемній орбіті (ННО) є невелике поле зору. Це означає, що окремий супутник може спостерігати або спілкується лише з невеликою площею Землі

протягом короткого часу (на висоті 550 км протягом приблизно 4,5 хвилин) (Рис. 2.2).

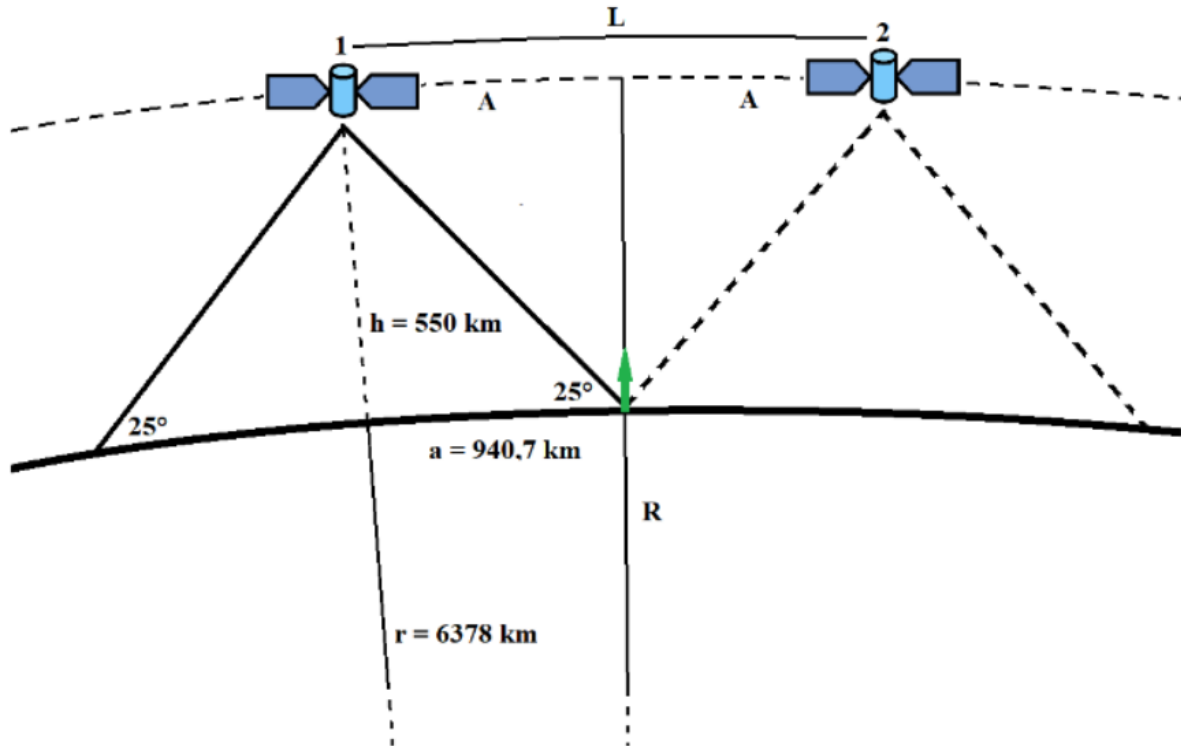


Рис. 2.2. Ескіз для обчислення часу, коли супутник видно спостерігачеві (зелена стрілка)

Розрахунок відстані А (2.1)

$$A = \frac{R \times a}{r} = \frac{(r+h) \times a}{r} = \frac{(6378 \text{ км} + 550 \text{ км}) \times 940,7 \text{ км}}{6378 \text{ км}}, \quad (2.1)$$

$$A = 1021,8 \text{ км},$$

де А – половина відстані між супутниками;

R – відстань від центру Землі до супутника;

r – радіус Землі;

h – відстань від поверхні Землі до КА;

a – відстань від спостерігача до перпендикулярної точки супутника на Землі.

Розрахунок швидкості супутника $v_{\text{СУП}}$ на висоті 550 км (2.2) та часу t , коли супутник видно спостерігачеві під кутом висоти 25° (2.3).

$$v_{\text{СУП}} = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = \sqrt{\frac{3,986 \times 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2}{(550 + 6378) \times 10^3 \text{ м}}} = 7585 \text{ м/с}, \quad (2.2)$$

$$L = 2 \times A,$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2043,6 \text{ км}}{7,585 \text{ м/с}} = 269,4 \text{ с}, \quad (2.3)$$

$$t = 4,49 \text{ хв.},$$

де μ - гравітаційний параметр.

Тому постійне покриття вимагає сузір'я більшої кількості супутників, які працюють разом як мережа та забезпечують зв'язок у будь-який час. Окрім невеликого поля зору, ННО також приносить швидке зниження орбіти супутників через опір повітря у верхніх шарах Землі, що вимагає повторного прискорення або запуску нового супутника для підтримки орбіти. Швидкий занепад орбіти має і позитивну сторону, оскільки неактивні супутники падатимуть до Землі і згорятимуть в атмосфері, що також означає зменшення космічного сміття. Звичайний супутниковий зв'язок, який закріпився у нашому повсякденному житті має затримки передачі сигналу близько 300-400 мс. На практиці цифри трохи вищі, приблизно 600 мс або більше. Нижні орбіти супутників Starlink приносять більш практичні менші затримки від 25 мс до 35 мс, що можна порівняти з існуючими кабельними оптичними мережами. Система використовуватиме одноранговий (P2P) протокол, який простіший за IPv6, і включатиме наскрізне

шифрування. Зв'язок між супутником і ЗС, а також для телеметрії, відстеження та управління супутники будуть використовуватися в діапазонах частот Ku і Ka.

За даними Федеральної комісії зв'язку, SpaceX має до березня 2024 року прокласти половину свого сузір'я ННО. Через три роки, у 2027 році, також і інші сузір'я повинні бути повністю вимощені. Сузір'я Gen2, яке складається з 30 000 супутників, повинно бути повністю завершено SpaceX до 2029 року. На сьогоднішній день 1623 супутників із спочатку запланованих 4 408 було вже запущено. Потім, кількість запланованих супутників збільшилася, та зараз становить від 12 до 44 тисяч КА.

Міжсупутниковий зв'язок

Запущені до цього часу супутники оснащені радіочастотними (РЧ) зв'язками, які будуть надсилати дані на Землю в смугах частот Ka, Ku і V, залежно від висоти орбіти, на якій вони перебувають. Зв'язок із Землею є радіозв'язком, оскільки він надійніший, ніж лазер. Радіосигнали, на відміну від інфрачервоних, набагато краще проникають у хмари та райони опадів. Компаніям, які все ще обиратимуть лазерні з'єднання із Землею, Консультативний комітет стандартів систем космічних даних (CCSDS) рекомендував використовувати 1550 нм для лінії зв'язку «вниз» та 1030-1080 нм для лінії зв'язку «вверх», щоб довжини хвиль були розділені. Супутники Starlink будуть взаємодіяти між собою за допомогою оптичних лазерних зв'язків. Оптичний зв'язок між супутниками використовуватиме лазери і в основному розробляється на базі існуючих наземних оптичних систем. Лазери випромінюють інфрачервоне світло, яке є таким же електромагнітним, як і радіохвилі, але воно має досить багато переваг. Оскільки частота інфрачервоного світла набагато вища (від 300 ТГц до 470 ТГц), доступна більша пропускна здатність, а це означає, що теоретично ми можемо передавати в рази більше інформації, ніж при радіохвилях. Лазерне з'єднання може забезпечити пропускну здатність близько 13160 Гбіт/с. Крім того, інфрачервоні сигнали не настільки суворо регулюються, як радіо. Причина зниженого регулювання світла полягає не в тому, що оптична технологія новітня, а в механізмі поширення радіохвиль. Радіосигнал, надісланий з низької

навколоземної орбіти, може охоплювати тисячі квадратних кілометрів площі на Землі, і якщо декілька людей використовують один і той же частотний канал, відбувається перекриття, порушення. З іншого боку, набагато більш спрямований лазерний промінь, надісланий з Місяця, наприклад, охоплює лише площу близько 20 км² на Землі. Через вищезазначену причину та великий діапазон частот дуже важко завадити такому виду зв'язку. Крім того, для лазерного зв'язку використовується набагато менше енергії (радіопередавач на Місяці використовував би в 50 разів більше енергії, ніж інфрачервоний передавач). У космосі радіус дії лазерного зв'язку становить десятки тисяч кілометрів і придатний для зв'язку між супутниками. Дуже спрямований промінь ставить перед собою інженерні завдання, такі як «націлювання» пучком і його отримання, оскільки навіть найменші вібрації означають відхилення в десятки метрів на відстань в десятки тисяч кілометрів. Зв'язок між приладами є важливим компромісом між орієнтацією та потужністю передавача. Чим менше відхилення променя, тим більша потужність прийому, але тим більше вимоги до орієнтації.

Перший лазерний зв'язок був здійснений японцями в 1995 році, і з тих пір такий вид передачі інформації стає все більш потужним (зараз до 10 Гбіт / с), і ця технологія розробляється і використовується все більшою кількістю компаній. Лазерні комунікації використовувались у проекті Європейської системи ретрансляції даних у 2014 році між супутниками в ННО та ГСО, LeoSat для супутників у ННО, а також BridgeComm та Cloud ConstellationSpaceX витратили багато грошей на технологію своїх міжсупутникових з'єднань, а тому, вони не розкривають подробиці своєї технології. Однак у своїй заявці на FCC вони заявили, що їх лазери будуть випромінювати електромагнітні хвилі з частотою 10000 ГГц, що означає інфрачервоне світло. Кожен супутник буде обладнаний чотирма лазерними терміналами зв'язку: одним спереду, одним ззаду та одним з кожного боку. Передній і задній термінали підключаються до супутників на одній орбіті (рисунок 2.3 – червоний), тому вони постійно залишаються однаковими, а бічні термінали повинні рухатися і слідувати за супутниками на інших орбітах (рисунок 2.3 - помаранчевий).

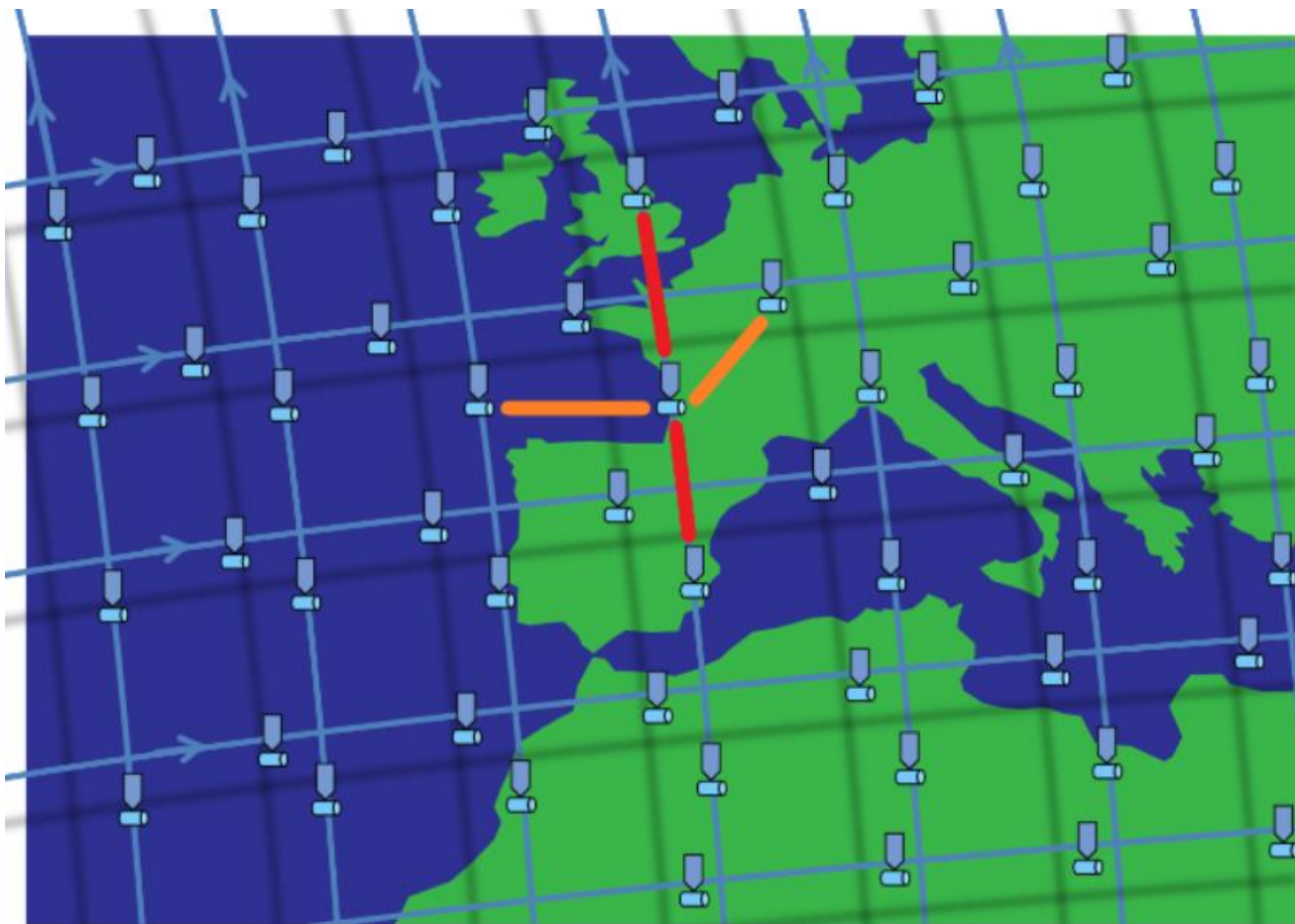
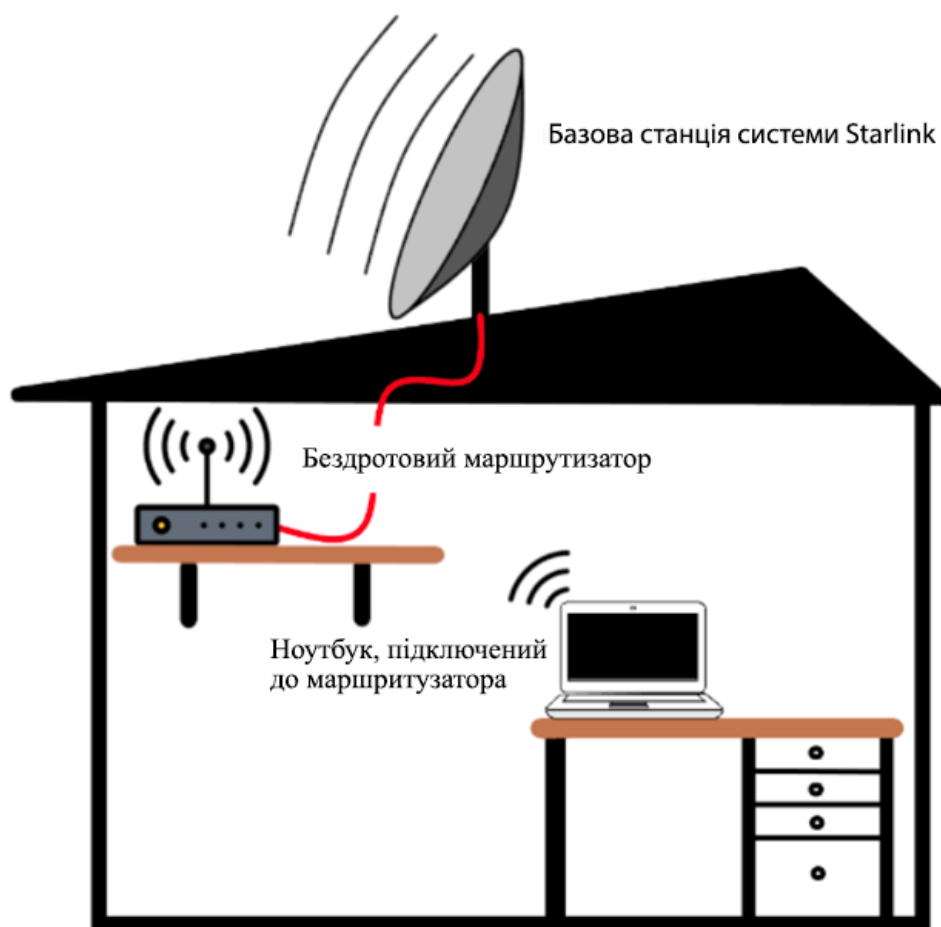


Рис. (2.3) Ескіз зв'язку між кількома супутниками

Сегмент системи на Землі

Безперечною перевагою геостаціонарної орбіти є досить проста конструкція приймаючих ЗС, оскільки супутник завжди знаходиться вище однієї точки на Землі, а наземна антена завжди спрямована в одну і ту ж точку на небі. Оскільки супутники рухаються з великою швидкістю, обладнання для відстеження дуже дороге (незалежно від того, чи відстеження виконується на наземному обладнанні або супутники спрямовують свої промені до певних точок на Землі). Термінали користувачів мережі Starlink не підключатимуться безпосередньо до супутникової мережі на відміну від інших подібних постачальників (Iridium, Globalstar, Thuraya та Inmarsat), але будуть підключені за допомогою бездротового маршрутизатора, який буде підключений до базової станції розміром із супутникову антену діаметром 0,48 м (Рис. 2.4)



(Рис 2.4) На ескізі показано ноутбук, підключений до Інтернету через маршрутизатор та базову станцію Starlink

Базова станція Starlink буде обладнана кількома антенами, які слідкуватимуть за супутниками за допомогою фазових ротаторів (рис. 2.5). Базові станції можна встановлювати де завгодно, за умови, що вони мають вільний вид на небо.

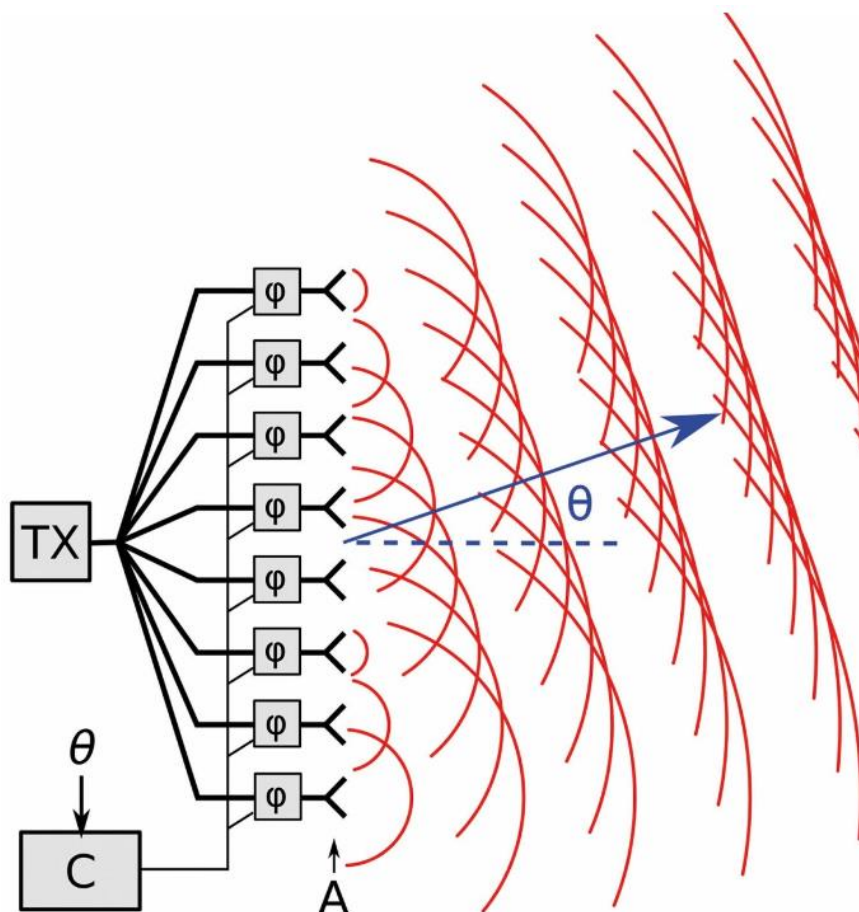


Рис 2.5 Ескіз фазової антенної решітки, що дозволяє електронно контролювати напрямок передачі

Вони складаються з масиву антенних елементів (А), що живляться від передавача (ТХ). Струм подачі для кожної антени проходить через фазообертач (φ), керований комп'ютером (С). Червоні лінії показують фронти хвиль радіохвиль, випромінюваних кожним елементом.

Сузір'я таких розмірів, як супутникова мережа Starlink, буде турбувати астрономів, оскільки вони вважають, що стільки яскравих об'єктів у небі заважатиме космічним спостереженням.

Недоліком низької наземної орбіти є менша зона охоплення супутників та їх швидкість. Поки геостаціонарний супутник весь час знаходиться над нами, ННО супутник обертається навколо нас на низькій орбіті Землі за п'ять хвилин. З цієї причини для покриття території потрібна велика кількість супутників

Крім того, Starlink, мабуть, найбільш перспективний з проектів з багатьох причин, насамперед оскільки SpaceX прагне мінімізувати космічні витрати.

Роль Starlink полягає в тому, щоб заповнити телекомунікаційну прогалину, яка панує в менш розвинених частинах світу, та створити конкурентні зони, доступ до яких в даний час можливий через одного оператора.

SpaceX наближається до завершення свого останнього сузір'я з кожним запуском. Вони вже мають достатньо супутників, щоб забезпечити зв'язок у Північній Америці. Приблизно у кінці 2022 року, система Starlink може почати свою роботу у багатьох куточках світу, а також і в Україні. Якщо все піде за планом, до 2027 року в космос буде запущено майже 44 000 супутників, які вийдуть на глобальну мережу Інтернету.

Перевагами системи порівняно з вже існуючими ССЗ очевидні: неймовірно низькі затримки сигналу, близькі до наземних ліній зв'язку; простота у налаштуванні обладнання, за інструкцією компанії SpaceX все що необхідно – це підключити обладнання до мережі живлення та направити антену у небо; завдяки постійному фінансуванню проекту, така система може стати першою у світі, яка б покривала територію усієї планети, та забезпечувала б таку високу якість; технології, такі як зв'язок між супутниками та боротьба з космічним сміттям можуть стати популярними та використовуватися у всьому світі завдяки популярності системи.

Недоліки системи Starlink можна виділити наступні: необхідність у великій кількості КА, що робить проект значно дорожчим; дороге обладнання для наземних станцій; завади у вигляді супутників при вивченні космосу з Землі; низький термін роботи супутників, що збільшує можливість залишити космічне сміття на ННО та також здорожує обслуговування такої системи.

3. ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

3.1 Основні проблеми розвитку та екологічності сучасних систем супутникового зв'язку

Однією з головних проблем розвитку супутникового зв'язку та космічної галузі України в цілому є засмічення космічного простору космічним сміттям (КС).

Ще з запуску першого КА почалося засмічення навколоземного космічного простору (НКП). Під космічним сміттям мається на увазі всі штучні об'єкти і їх фрагменти в космосі, які вже несправні, не функціонують і ніколи більше не зможуть служити ніяким корисним цілям, але є небезпечним фактором впливу на функціонуючі космічні апарати. У складі космічного сміття налічується багато різних фрагментів, такі як частинки відпрацьованих свій термін КА, останні ступені ракет носіїв, елементи конструкцій або втрати робочих рідин.

Міжнародна співпраця з вирішення проблем КС розвивається з наступними пріоритетними цілями:

- спостереження за космічним сміттям та ведення списку «небажаних об'єктів»;
- математичне моделювання космічного сміття та створення міжнародних інформаційних систем для прогнозу засмічення НКП і її загрози для космічних польотів;
- розробка та створення засобів захисту космічних апаратів.

Орбіти крупних об'єктів КС зараз включені в каталог та відомі в центрах управління польотами. КА виконують маневри та уникають зіткнення з великими об'єктами. Але гірша справа йде з мілким космічним сміттям, який неможливо зафіксувати та відслідкувати, та який рухається зі швидкостями до 10 км/с по орбітам з вільною формою та параметрами. КС зустрічається з космічними об'єктами під різним кутом та різними швидкостями, які можуть складати від 0,1 до 25 км/с, а іноді і вище.

Ефективних практичних заходів по знищенню космічного сміття на орбітах понад 600 км (де не позначається очищаючий ефект від гальмування об атмосферу) на цьому рівні технічного розвитку людства поки не розроблено. Хоча в ряді інших розглядалися, наприклад, проекти супутників, які випаровують уламки потужним лазерним променем або змінюють їх орбіту іонними пучками, які повинні гальмувати уламки для їх входу в атмосферу з частковим або повним згорянням в ній або, в разі апаратів на геостаціонарній орбіті, відводити їх на орбіту поховання, або наземні лазери. Разом з тим актуальність завдання забезпечення безпеки космічних польотів в умовах техногенного забруднення навколоземного космічного простору і зниження небезпеки для об'єктів на Землі при неконтрольованому входженні космічних об'єктів в щільні шари атмосфери і їх падінні на Землю стрімко зростає.

Прикладом є супутник Ірідіум 33, який у 2009 році був вражений і зруйнований непрацюючим КА Cosmos 2251. Проблема таких зіткнень полягає у тому, що при зіткненні утворюється багато дрібних частинок, які становлять основну загрозу для функціонування супутників.

Час існування фрагментів КС залежить від величини балістичного коефіцієнту:

$$\sigma_x = \frac{s_M c_x}{m} \quad (3.1)$$

Де s_M – площа миделевого перетину фрагмента, c_x – коефіцієнт аеродинамічного опору, m – маса фрагмента, кг

Значення балістичного коефіцієнту мілкового КС лежить в межах від 0,5 до $0,01 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$. Час існування КС можна визначити за формулою:

$$T = \frac{F(h)}{\sigma_x} \quad (3.2)$$

Чим більше коефіцієнт, тим довше частинка живе на орбіті. Час існування маленьких частинок на висоті 200 км становить близько 20 суток, на висоті в 600 км можуть проіснувати близько 100 днів, а на геостаціонарній орбіті, на якій на даний момент в основному працює супутниковий зв'язок, такі частинки можуть проіснувати навіть 100 років.

На відміну від можливих рішень, американська компанія SpaceX у своєму проєкті Starlink запропонувала практичне рішення проблеми – падіння супутників на Землю. Термін дії КА рівний 25 рокам, що значно нижче міжнародного стандарту, а також те, що супутники знаходяться на низькій навколоземній орбіті дозволяє реалізувати цю ідею. Перші прототипи супутників системи Starlink які падають до Землі згорали у атмосфері не повністю, близько 5% КА діставалося землі. Існує ризик того, що частини супутників що впали спричинять смерть або травму землян. Фахівці зрозуміли це та спроектували конструкцію так, щоб при падінні КА кожна частинка згорала у атмосфері. Таке рішення дозволяє не тільки зменшити розповсюдження космічного сміття, а ще й зменшити кількість частинок, які досягають Землі.

На даний момент вірогідність зіткнення КС з космічними апаратами дуже низька, але не дивлячись на це, кожне наступне зіткнення потягне за собою все більше забруднення НКП, що в найближче майбутнє, може унеможливити використання супутникового зв'язку.

3.2 Орбітальний ресурс та фінансування космічної галузі в Україні

Україна має великий потенціал у космічній галузі, не дивлячись на те, що майже усі роки незалежності вона в доволі скрутному економічному стані. На сьогодні одним з головних напрямків космічної галузі країни – це створення нових систем ракетно-космічної та модернізація існуючої техніки. Такий напрямок розвитку дозволяє зменшити навантаження на бюджет країни, зменшити залежність від міжнародних партнерів та отримати фінансове забезпечення за рахунок комерційних послуг, та послуг зв'язку. Українська

космонавтика на даний час бере активну участь у розробці міжнародних проектів багатьох країн. Такі інформаційні технології як телекомунікації, комп'ютерні, інженерні та інтернет-технології піддаються великому впливу саме космонавтиці. Але на даному етапі економічного розвитку вона випробовує на собі великі труднощі. На даний момент українська космічна галузь співпрацює з 208 компаніями й організаціями різних країн світу: 44 компанії в американському регіоні, європейському — 56, у країнах Близького Сходу та Африки — 74, азійсько-тихоокеанському — 34 компаніями.

Фінансування космічної галузі – це інвестиції в майбутнє країни, її безпеку, підготовку висококваліфікованих фахівців, а також розвиток нових та модернізацію існуючих технологій. Але зараз переважає тенденція припинення наукових досліджень та недофінансування космічної галузі, застарілість основних виробничих фондів та проблеми практичного застосування сучасних інновацій в багатьох сферах економіки.

Відсутність стабільного та достатнього за обсягами фінансування зумовлює застарілість технологічного базису космічної галузі, а відсутність нових технологій, які підвищують ефективність передачі сигналів, та які підвищують ефективність виробництва та якість продукції, є причиною достатньо низької конкурентної спроможності української космічної галузі на світовому ринку телекомунікацій.

Численні недоліки фінансового та організаційного характеру не дозволяють Україні ефективним образом підтримувати галузь супутникових телекомунікацій. Без належного фінансування, не тільки з боку нашого уряду, а й з іноземного боку, немає можливості у повній мірі забезпечити виконання багатьох завдань космічної галузі, а саме:

- здійснення дистанційного зондування Землі з космосу;
- удосконалення космічних систем передачі інформації та навігації;
- проведення наукових космічних досліджень;
- створення КА та комплексів;
- забезпечення промислово-економічного розвитку;

- розширення кількості кваліфікованих спеціалістів;
- вихід на світовий ринок у сфері супутникового зв'язку.

У сфері супутникових СЗ все більшу частину у розробці нових проектів займають недержавні та закордонні інвестори. Наслідком цього є складна та розгалужена схема фінансування.

Головними завданнями інвестицій є збільшення конкурентоспроможності та збільшення вартості активів космічної галузі на світовому ринку. Серед функцій, які виконують інвестиції можна виділити декілька:

- 1) підвищення конкурентоспроможності космічної галузі;
- 2) розширення виробництва та завоювання нових іноземних ринків збуту продукції;
- 3) підвищення технічного рівня виробництва в космічній галузі;
- 4) підвищення якості продукції космічної галузі;
- 5) забезпечення працездатного населення новими робочими місцями;
- 6) підвищення рентабельності виробництва;
- 7) збільшення ВВП країни.

Для реалізації космічних програм до 2032 року Кабінетом міністрів України виділено 38,5 млрд грн (4,8125 млрд дол.). На рік це приблизно складає 2 млрд грн (250 млн дол.) У порівнянні лідер світового ринку у розробці космічних систем НАСА витрачає понад 18 млрд. дол. на рік.

Через недостатнє фінансування космічної галузі, Україна має доволі скудний власний орбітальний ресурс, на даний час на орбіті розташовано лише два українських супутники PolyITAN-1 та PolyITAN-2 – наносупутники, створений в Національному Технічному Університеті України, запущених, в основному, для дослідження атмосфери Землі. Реалізація супутникового зв'язку в Україні здійснюється за рахунок використання іноземного ресурсу.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі розглянуті ринкові і технологічні аспекти розвитку супутникового зв'язку.

Відсутність відповідного фінансування, застарілі власні технології, використання іноземних супутників та відсутність належної кількості досвідчених фахівців роблять майже неможливим створення власних систем супутникового зв'язку в Україні. Але не дивлячись на це, Україна в повній мірі може приймати участь у створенні та розгортанні сучасних проектів іноземних країн-партнерів.

Для створення українських ССЗ України можна виділити декілька основних напрямків вирішення проблеми:

- збільшення фінансування області супутникових комунікацій з державного бюджету та залучення до розвитку іноземних компаній;
- залучення коштів інших держав та інвесторів є одним із головних напрямків розвитку космічної діяльності України;
- введення проектного фінансування для збільшення швидкості окупності інвестиційних проектів;
- збільшення ефективності використання космічного ресурсу та потенціалу України для розвитку інших галузей економіки;
- створення інформаційної відкритості для забезпечення раціонального розподілу ресурсів та інвестицій;
- створення власних КА для надання послуг зв'язку для відмови від оренди іноземного ресурсу;
- переймання закордонного досвіду та застосування передових технологій.

Усі вищеперелічені пункти сприяють економічному розвитку країни, а саме: зменшують ціну на послуги супутникового зв'язку на всій території України, сприяють зменшенню залежності від іноземних КА та допомагають реалізувати можливості України на світовому ринку телекомунікацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бухун Ю.В. Шляхи формування механізму інвестиційного забезпечення відтворювальних процесів в космічній галузі / Ю.В. Бухун // Економічний вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". — 2015. — № 12. — С. 121—128
2. Применение сверхширокополосных импульсных радиосигналов в спутниковых системах связи и системах дальней радиосвязи / С.Г. Бунін, Д.О. Долженко, М.В. Висоцький, К.О. Плотник // Научные вести НТУУ «КПИ». – Вып. 6, – 2010
3. Wang L., Jezek B., «OFDM modulation schemes for military satellite communications», Proc. of IEEE Military Comm. Conf., 2008, SAC 8–5
4. R.T. Schwarz, A. Knopp, B. Lankl, «The channel capacity of MIMO satellite links in a fading environment: A probabilistic analysis» in Int. Work. Satell. Space Commun., IWSSC 2009, pp. 78–82, Tuscany, Italy, Sept. 2009.
5. Тихвинский В.О., Стрелец М.В. Перспективы создания спутникового сегмента 5G // Первая миля. 2018. № 1.
6. Соколов А. В. Первые радиорелейные, первые тропосферные и первая спутниковая линия связи. Как это было? Как это начиналось? // Труды НИИР, 1999
7. Горностаев Ю.М. Перспективные системы спутниковой связи / Ю. М. Горностаев, В. В. Соколов, Л. М. Невдяев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 132 с
8. Jonathan Bechter, Muhammad Rameez and Christian Waldschmidt. «Analytical and Experimental Investigations on Mitigation of Interference in a DBF MIMO Radar», IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, pp. 1727-1734, May. 2017.

9. «Starlink Block v0.9», https://space.skyrocket.de/doc_sdat/starlink-v0-9.htm, сайт відвідувався 15.04.2021
- 10.«Starlink Block v1.0» https://space.skyrocket.de/doc_sdat/starlink-v1-0.htm, сайт відвідувався 15.04.2021
- 11.«Application to Launch and Operate on a Satellite Space Stations filing –SPACEX GEN2 NON_GEOSTATIONARY SATELLITE SYSTEM», <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20200526-00055/2378671>, сайт відвідувався 12.04.2021
- 12.«SpaceX wants to land Starship on the moon within three years, president says, with people soon after» https://www.cnbc.com/2019/10/27/spacex-president-we-will-land-starship-on-moon-before-2022.html?_source=sharebar%7Ctwitter&par=sharebar сайт відвідувався 20.04.2021
- 13.Satoshi Suyama, Jun Mashino, Yoshihisa Kishiyama and Yukihiro Okumura. «5G multi-antenna technology» NTT DoCoMo Tech. Jou., vol. 17, pp. 29-39, April 2016
- 14.«SpaceX Starship», <https://www.spacex.com/vehicles/starship/> сайт відвідувався 07.04.2021
- 15.Bengio, Y., Lodi, A., & Prouvost, A. (2018). Machine Learning for Combinatorial Optimization
- 16.Кантор Л. Я. Из истории НИИР и моей // Труды НИИР, 2005
- 17.<https://www.iridium.com> сайт відвідувався 10.04.2021
- 18.<https://www.orbcomm.com> сайт відвідувався 10.04.2021
- 19.<https://www.globalstar.com> сайт відвідувався 10.04.2021
- 20.<https://ru.wikipedia.org/> сайт відвідувався 6.03.2021
- 21.<https://www.oneweb.world> сайт відвідувався 10.04.2021
- 22.<http://www.intelsat.com> сайт відвідувався 10.04.2021