ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“МЕТОДИКИ ЩОДО ВИБОРУ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМ АПАРАТОМ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ”**

Виконав: студент 6 курсу, групи АРДМ-61
спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
Зозуля А. Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник Руденко Н.В
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль
(прізвище та ініціали)

Київ-2022

ВСТУП

У сучасному світі дуже швидко набувають тенденції розвитку цифрових комунікаційних технологій, які вже стали невід'ємною частиною нашого життя і без них важко уявити повсякденну діяльність. У цьому напрямі на передній план виходить розвиток супутникового зв'язку.

На сьогоднішній день передача даних через штучні супутники Землі є одним із основних елементів зв'язку не лише в Україні, а й на загальному телекомунікаційному ринку, на частку якого припадає близько чверті світового інформаційного трафіку. Одна з причин цього явища полягає в тому, що супутниковий зв'язок майже завжди є комерційно життєздатним, що призводить до швидкого розвитку. З'явилися основні типи супутників: геостаціонарні та низькоорбітальні технології стали різноманітнішими, і, незважаючи на стереотипи про швидкість та вартість такого телебачення та Інтернету, вони набувають більшого поширення.

У сучасній цифровій економіці супутники відіграють у поліпшенні життя людей. В екстрених ситуаціях вони допомагають орієнтуватися на місцевості та рятувати життя, а у повсякденному житті є незамінною частиною інфраструктури. Супутникові телекомунікації сприяють розвитку практично всіх галузей економіки, від сільського господарства до військової промисловості та транспорту, допомагають підвищити рівень життя у віддалених та малонаселених містах. Завдяки йому люди в таких місцях вперше отримали можливість користуватися супутниковим телебаченням та Інтернетом. Враховуючи значну відстань між великими населеними пунктами та відсутність адекватних наземних ліній зв'язку, супутниковий зв'язок був би добрим рішенням.

З моменту здобуття незалежності в Україні були проблеми не лише із супутниковим зв'язком, а й із розвитком усієї космічної галузі. Лихий економічний стан України, відсутність достатніх коштів, невелика кількість фахівців та досить мізерні оборотні ресурси спонукають використовувати іноземні ресурси для задоволення своїх потреб.

Звернення до зарубіжних партнерів, у свою чергу, збільшує можливість налаштування власної супутникової системи. Більшість наукових та фінансових ресурсів прямує на розвиток інших галузей економіки, що значно ускладнює розвиток власного супутникового зв'язку.

Робота розглядає можливість використання деяких мобільних технологій у сфері супутникового зв'язку, використання супутникового зв'язку у сфері наземного зв'язку, дослідження сучасних методів управління космічними апаратами, а також покращення супутникового зв’язку за допомогою новітніх засобів управління.

1 ІСТОРІЯ ТА ЗАВДАННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

1.1 Розвиток супутникового зв'язку в Україні

Першим, хто висунув ідею створення глобальної системи супутникового зв'язку на Землі, був Артур Кларк, ще у 1945 році. 4 жовтня 1957 на орбіту був запущений перший штучний супутник Землі (ШСЗ). Для контролю за польотом цього штучного супутника було створено передавач невеликого розміру, який працював в діапазоні 27 МГц. Велика територія нашої країни, слабий розвиток зв'язку та великі витрати на вже існуючі на той час засоби передавання інформації робили такий проект сильно 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.

Вивчивши технічні можливості радіостанції «Блискавка-1», фахівці НДІ запропонували вирішити проблему доставки телевізійних програм Центрального телебачення в східні регіони країни шляхом створення системи «Орбіта» - першої в світі трансляції. . Система діапазону 1 ГГц на базі обладнання Горизонт-К. Ця пропозиція була схвалена. У 1965-1967 роках, за рекордно короткий на той час термін, в окремих регіонах країни було одночасно побудовано і введено в експлуатацію 20 «орбітальних» центрів супутникового зв’язку і нову трансляційну станцію «резерв». Система «Орбіта» була першою в світі розподіленою сферичною телевізійною супутниковою системою. Робочий діапазон системи "орбіта" 800-1000 МГц не відповідає діапазону, призначеному Регламентом радіозв'язку для фіксованої супутникової служби. Над переведенням системи на С-діапазон 6/4 ГГц з 1970 по 1972 рік працювали вчені та фахівці НДІ. Створення такої системи стало великим технологічним досягненням у північно-західному регіоні та забезпечило віддалені куточки країни та багато великих міст центральною телевізійною трансляцією.

У зв'язку з розповсюдженням супутникових ретрансляторів з певними транками виникла необхідність створення приймальних пристроїв для станцій типу "азимут" спочатку - для прийому сигналів від трьох транків, потім - шести. За допомогою стрічкового фільтра та циркулятора стовбури розділяли. Необхідна смуга пропускання становила 34 МГц. При передачі сигналу зображення відхилення частоти становить ±15 МГц. Передавач «Градієнт-К» розроблявся для

систем центральної оборони, спочатку триствольний, потім шестиствольний. Станції «Орбіта-2» були розгорнуті з 1972 року, а до кінця 1986 року їх було побудовано близько 100. Пізніше для роботи такої мережі був побудований і виведений на орбіту перший радянський геостаціонарний супутник «Веселка», вбудований ретранслятор якого був побудований в НДІ ім. Одночасно освоювалися і вдосконалювалися методи наземної обробки продуктів супутникового зв'язку.

Швидкий розвиток і поширення такої системи наприкінці 1970-х років зробили її економічно життєздатною. Висока вартість земних станцій робила недоцільним їх використання в населених пунктах з 200-тисячним населенням. Більш ефективною виявилася система «Екран», яка має частотний діапазон до 1 ГГц і потужний вбудований передавач-ретранслятор. Його місія полягала в трансляції телевізійних передач у малонаселених районах країни. Для реалізації такого проекту була виділена частота 714 і 754 МГц. На таких частотах можна будувати дешеві і дуже прості приймальні блоки. Ця система, безперечно, була першою системою супутникового мовлення. Для цього проекту був розроблений і побудований вбудований повторювач, який на той час мав рекордну потужність до 300 Вт. У системі «Екран» можлива передача, крім телепрограмного сигналу. Радіопрограма. 26 жовтня 1976 року вперше стартувала МКС цієї системи, яка була виведена на геостаціонарну навколоземну орбіту (ГСО). ЗС, який посилав сигнал на супутник «Екран», мав «градієнтний» передавач потужністю 5 кВт, що працює в діапазоні частот 6 ГГц і оснащений антеною з діаметром дзеркала 12 метрів. Така система, розроблена фахівцями НДІ, була найдешевшою і найпростішою з багатьох розроблених і впроваджених на той час. До кінця 1987 року кількість встановлених станцій «Екран» досягла 4500 одиниць.

З 1976 року в Науково-дослідному науково-дослідницькому інституті почалася робота зі створення нової на той час системи супутникового телебачення в діапазоні частот 12 ГГц, виділеному на міжнародному рівні для супутникового телемовлення. Така система не матиме обмежень щодо потужності випромінювання, характерних для «екранної» системи.

У 1972 році між СРСР і США було підписано міжурядову угоду, в якій йшлося про створення прямого урядового зв'язку між керівниками двох держав на випадок надзвичайної ситуації. На території Радянського Союзу було побудовано дві системи протиповітряної оборони: одна з них була розташована в Дубні і мала антену діаметром 12 метрів для ведення каналу ЛУЗ за допомогою супутника «Блискавка-3», а друга — у місті. Золочів поблизу Львова з діаметром дзеркала 25 метрів і використовувався для роботи міжнародним супутником «Intelsat-IVA». У 1975 році введено в експлуатацію ЛУЗ. Але цей момент став першим досвідом роботи вітчизняних фахівців у міжнародній системі Intelsat.

З 1960-х по 1980-ті роки фахівці НДІ вирішували технічно складні завдання створення національної системи супутникового зв'язку і мовлення. Першими на той час у світі були супутникові системи типу «Екран», «Орбіта», «Москва» та ін.

Після 1991 року Україна перейшла до вільної ринкової економіки. Такий процес супроводжувався суттєвими труднощами та проблемами, які з’явилися 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.

Завдання досягнення цієї програми потребує скоординованої діяльності державних інституцій, у тому числі компаній різних форм власності, у впровадженні СКС, укладенні міжнародних угод, удосконаленні технологій, нарощуванні науково-виробничого потенціалу країни, а також пошуку найбільш прибуткових. Фінансові рішення. При розробці системи враховувалися міжнародні угоди, стандарти та проекти іноземних організацій. При повному розгортанні ССЗ планувалося використовувати до 17 колон космічного корабля (КА), які забезпечували б зв'язок по 8 тис. телефонних каналів.

Будівництво ССЗ планувалося в три черги.

1) На першому етапі (1993-1995 рр.) будується Національна база МКС (Розробка космічних кораблів і кораблів) і вдосконалюються системи управління МКС і космічними апаратами, але послуги супутникового зв'язку надаються за допомогою бортових ретрансляторів. OSS в інших країнах
2) Другий етап (1996-2000 рр.) полягав у виведенні на геостаціонарну орбіту національного супутника "Либідь" і передачі на нього основного трафіку супутникового зв'язку.
3) Останній етап (після 2000 р.) характеризується розширенням можливостей ССЗ по використанню іноземних супутників і в широкому масштабі шляхом реалізації власних проектів з надання послуг зв'язку.

Згідно з програмою, у 2000 році мала бути проведена дослідна експлуатація, після чого її було передано національній КА "Либідь". Подібні положення порушувалися різними документами, але в багатьох випадках передбачені в них засоби правового захисту не були реалізовані. У рамках міжвідомчої робочої групи,

створеної у 2001 році, зроблено спробу відновити поточні питання, за якими виконано багато науково-дослідних робіт та підготовлено 5 доповідей на науково-технічній конференції в державному зв'язку.

Після 2000 року за сприяння Національного космічного агентства України (НКАУ) та ДП «Укркосмос» було розроблено новий план впровадження системи «Либідь», який дозволяє створювати геостаціонарні супутники на базі малих вітчизняних супутників. до 800 кг). Такий супутник українського виробництва з 5-10 ретрансляторами мав коштувати всього 20-30 мільйонів доларів. Новий проект планували запустити в 2005 році, але це зробити не вдалося. Влітку 2009 року також не було виконано чергове рішення уряду України про розробку, будівництво та введення в дію до 1 вересня 2011 року української авіабази, на що планувалося витратити 412 мільйонів гривень. Зараз українські системи супутникового зв'язку базуються на оренді іноземних ресурсів у сфері супутникового зв'язку.

Невдалі спроби створити національну систему супутникового зв'язку спонукають до розгляду альтернативних шляхів вирішення цієї проблеми. Незважаючи на це, ресурси та досвід, які вже накопичені в цьому напрямку, можуть задовольнити потреби мільйонів громадян, особливо тих, хто проживає в малонаселених районах країни. З впровадженням супутникових систем у таких регіонах громадяни вперше отримали можливість отримувати програми центрального телебачення в режимі реального часу. За допомогою таких систем вирішувалися проблеми тиражування, своєчасного виходу та оперативної доставки централізованих газет у ці регіони. Впровадження СКС мало виключно позитивний вплив на соціально-економічний розвиток країни.

1.2 Характеристика та основні стандарти в області супутникового зв’язку

З ранніх етапів розвитку супутникового зв'язку використовувалися тільки пасивні супутникові ретранслятори, такі ретранслятори є простими відбивачами радіосигналів. У літаку не було приймально-передавального обладнання. Оскільки такі супутники не були широко розгорнуті, вони не були ефективними. В даний час всі сучасні космічні апарати мають тільки активні реле. Такі ретранслятори прикрашені програмами, завданнями і сигнальними релейними системами.

Не дозволяється вибирати частоти для передачі сигналів із супутника на Землю і навпаки, тому що частотний ресурс є обмеженим. Від вибору частоти залежить багато факторів, особливо вибір необхідних розмірів приймальної та передавальної антен або поглинання радіохвиль навколишнім середовищем.

Частоти, на яких сигнали передаються від наземної станції до космічного корабля, відрізняються від частот, на яких інформація передається від космічного корабля до наземної станції (зазвичай перша 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 ITU-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	Spacewsy, Astrolink	Фіксований зв’язок, супутникове телебачення
Ka	30	Skybridge, Cyberstar	Широкосмуговий високошвидкісний зв’язок, міжсупутниковий зв’язок

Використовуються також вищі частоти, але їх використання ускладнюється високим поглинанням радіохвиль атмосферою. Ku-діапазон забезпечує прийом за допомогою відносно невеликих антен і використовується для передачі телевізійних сигналів, зазначаючи, що правильний інтелект має великий вплив на якість трансляції.

Інтенсивні користувачі (зазвичай організатори) часто використовують C-діапазон. Це забезпечує кращу якість прийому, але для цього потрібен більший розмір антени.

Для одночасного використання супутникових ретрансляторів кількома користувачами була запущена система 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. Коли для кожного користувача в одному частотному інтервалі надається певний часовий інтервал (таймслот), протягом якого він здійснює прийомо-передачу даних;
- CDMA (англ. Code Division Multiple Access) - множинний доступ з кодовим поділом. При цьому користувачам видається послідовність у коді, ортогональна кодовою послідовностям інших користувачів. Дані користувача накладаються на кодову послідовність так, що передаються сигнали різних

користувачів, при цьому не заважають один одному, хоча і передаються на однакових частотах.

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

У сучасному супутниковому зв'язку є ряд недоліків:

- Невелика захищеність від перешкод. Великі відстані між ЗС та КА є причиною того, що відношення сигнал/шум на приймачі доволі мале. 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 досфтатньо 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.

Причиною таких недоліків супутникового Інтернету може бути відносно висока вартість обладнання, але останнім часом спостерігається тенденція до її зниження. Двосторонній супутниковий Інтернет характеризується великою затримкою сигналу, яка фізично не може бути менше 480 мс; Типові значення затримки знаходяться в діапазоні 600 - 800 мс (в залежності від взаємного розташування «центральна станція - супутник» і «супутник - станція користувача). Причина такої затримки в тому, що супутник знаходиться на геостаціонарній орбіті, тобто відстань від станції до супутника близько 40 000 км, інформація за допомогою супутникового зв'язку Для передачі сигнал повинен подолати відстань. Через таку велику затримку двосторонній супутник не дозволяє використовувати онлайн-сервіси, такі як як відеозв'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 C-діапазону.

Існує два взаємодоповнюючі підходи до впровадження програмного забезпечення для супутникового Інтернету:

У першому випадку DVB-карта використовується як звичайний мережевий пристрій (працює тільки на прийом), а для передачі використовується VPN-тунель (багато провайдерів використовують PPTP, в деяких випадках використовується

IPIP-тунель). При цьому управління заголовками пакетів в системі відключено. Пакет запиту надходить до інтерфейсу тунелю, а від супутника надходить відповідь. Такий підхід дозволяє використовувати всі додатки, але є багато помилок. Більшість доступних супутникових провайдерів підтримують цей метод.

Другий варіант (іноді в поєднанні з першим): використання спеціального клієнтського програмного забезпечення, яке на основі знання структури протоколу дозволяє збільшити швидкість прийому даних (наприклад, запит веб-сторінки, запит провайдера). сервер бачить це і, не чекаючи запиту, надсилає зображення з цієї сторінки, якщо клієнт усе одно запитує; сторона клієнта зберігає такі відповіді та негайно надсилає їх назад). Таке програмне забезпечення на стороні клієнта зазвичай діє як проксі HTTP та SOCKS.

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 перегляду супутникового телебачення потрібне спеціальне обладнання, частина якого також використовується для виходу в Інтернет. Стандартний набір складається з супутникової антени, супутникового конвертера та приймача, який може бути частиною мережі кабельного телебачення.

Супутник знаходиться або на геостаціонарній орбіті, або (у рідкісних випадках) на інших земних орбітах. Шлях радіосигналу починається від дуже великої передавальної супутникової антени діаметром 9-12 метрів, яка передає якісний сигнал і точно потрапляє на супутник. На ньому його приймають спрямовані антени, кожна з яких має свій центр передачі. Ця частина шляху сигналу називається висхідною лінією.

Космічні кораблі передають сигнали на Землю на інших частотах, як правило, 10,7-12,7 ГГц, але деякі все ще використовують C-діапазон (4-6 ГГц) і/або Ku-діапазон (12-18 ГГц). Тракти запуску супутників можуть мати до 32 при роботі в Ku-діапазоні або до 24 при роботі в C-діапазоні, і більше для гібридних супутників. Ширина супутникового тракту становить від 27 до 72 МГц. Напрямок сигналу від супутника до Землі широко відомий як "downlink" або "downlink".

Супутники C-діапазону знаходяться не ближче 2° один до одного, щоб уникнути перешкод наземним приймачам, Ku-діапазону - не ближче 1°. Таким

чином, орбіта може вмістити до 180 супутників С-діапазону або 360 Ku-діапазону. Різниця між смугами також полягає в інтерференції землі в смузі С і чутливості смуги Q до опадів, оскільки вода точно поглинає ці вищі частоти. Кристали льоду в грозових хмарах мають ще сильніший ефект, коли вони утворюються на шляху сигналу. Крім того, добре відомий феномен сонячного освітлення: двічі на рік, у дати, близькі до екватора, сонце з точки зору земного спостерігача з'являється прямо за супутником на кілька хвилин і втручається в його випромінювання, запобігаючи прийом сигналу, але заземлені пристрої захищені від таких впливів і зазвичай відображають відповідні телевізійні сигнали на екрані

Ранні системи використовували аналогові сигнали, але сучасні системи використовують цифрові сигнали, які можуть 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 цифрового 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 зоною покриття може бути як вся Земля, так і окремі райони світу. Це пов’язано з тим, що або використовуються супутники, які летять достатньо низько до Землі, достатньо, щоб охопити всю Землю, або супутники на геостаціонарній орбіті, де вони не рухаються відносно Землі і взагалі її не «бачать».

Існує багато регіональних і міжнародних супутникових операторів.

- Intelsat — міжнародна організація супутникового зв'язку, заснована в 1964 році як міжурядова організація.
- Eutelsat — французький оператор супутникового зв'язку, який займає перше місце за доходами серед операторів супутникового зв'язку в світі.
- Iridium є всесвітнім оператором супутникового зв'язку. Покриття становить 100% поверхні Землі, включаючи обидва полюси.
- Globalstar є одним з найбільших у світі постачальників мобільного супутникового зв'язку та передачі даних.
- Inmarsat — міжнародна компанія супутникового зв'язку, заснована в 1979 році, спочатку як міжурядова організація.
- Thuraya — регіональний оператор супутникового зв'язку, що працює в Європі, Центральній Азії, Австралії та Африці.
- Інтерсупутник - міжнародна міжурядова організація з надання послуг супутникового зв'язку. Послуги супутникового зв'язку на базі інтерсупутникового обладнання надає Isatel.

Сьогодні три оператори Inmarsat, Iridium і Thuraya гарантують високу якість сигналу по всьому регіону нашої країни. Проблеми з покриттям має лише компанія Globalstar, яка гарантує надійну передачу даних лише в Закарпатській області, західній частині Чернівецької та південній частині Львівської області.

Жоден із цих операторів СЗ офіційно не представлений в Україні. Серед них тільки Inmarsat є партнером невеликої компанії в Дніпропетровській області, але її не можна назвати повноправним представником. Причини цього явища – низький попит на супутникову телефонію, законодавчі обмеження та складні процедури отримання ліцензії.

Незважаючи на це, ви можете придбати та встановити всі моделі терміналів від усіх операторів.

Трансляція супутникового телебачення:

Зараз на території України працюють два оператори супутникового телемовлення: «Віасат» та «Екстра ТВ».

Віасат Україна, українська філія компанії Viasat, вийшла на український ринок супутникового телебачення у квітні 2008 року, ставши першою компанією в країні, яка надає послуги платного супутникового телебачення за ліцензією Національної ради з питань телебачення і радіомовлення. мовлення.

Зараз найповніший пакет послуг Viasat коштує 299 грн. на місяць і 138 не тільки українських, а й закордонних каналів.

«Екстра ТВ» — міжнародний представник з надання послуг супутникового телевізійного мовлення, який з'явився в 2011 році і першим запустив на українському ринку послуги передплатного телемовлення. Серед функцій оператора є можливість призупинити надання послуг, коли клієнтам не потрібне супутникове телебачення. Сигнал телевізійного мовлення транслюється з супутників Amos 3/7, Astra 4A і Eutelsat 9B. На даний момент найбільш повним тарифом Xtra TV є тариф, який включає 125 телеканалів.

Незважаючи на стрімкий розвиток наземних систем зв'язку і поширення серед громадян, супутникове ТБ разом із супутниковим Інтернетом набирає все більшої популярності. За оцінками компанії BigDataUa, до 2019 року близько 200 тисяч домогосподарств в Україні користуються таким типом телевізора. До кінця 2021 року кількість підключених систем може зрости до 1 млн.

Оператори супутникового інтернету:

Через свої недоліки у вигляді великої затримки сигналу та значних витрат супутниковий Інтернет в цілому не набув великої популярності в Україні, тому на сьогоднішній день на території нашої країни працюють лише два оператори супутникового Інтернету: «Скайсат +» та «Датагруп». ".

«Датагруп» — український телекомунікаційний оператор, який також працює в телекомунікаційному секторі для великих компаній. Окрім надання супутникового доступу до Інтернету, він має багато інших послуг: побудова бізнес-мереж, телевізійні послуги, доступ до банківських послуг, послуги центрів обробки даних, телефонія, передача даних, хмарні послуги та послуги комп’ютерної безпеки.

Компанія займає найбільшу частку ринку серед усіх операторів передачі даних, міжнародного трафіку та супутникового зв’язку.

Міжнародний оператор Skysat+ менш популярний в Україні через низьку швидкість передачі даних, тобто до 1 МБ/с, порівняно з конкурентом, у якого швидкість передачі досягає до 20 МБ/с. Зона покриття Skysat велика, але він розрахований більше на роботу в Центральній Європі, тому на сході України його покриття гірше, ніж на заході.

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 ис 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.

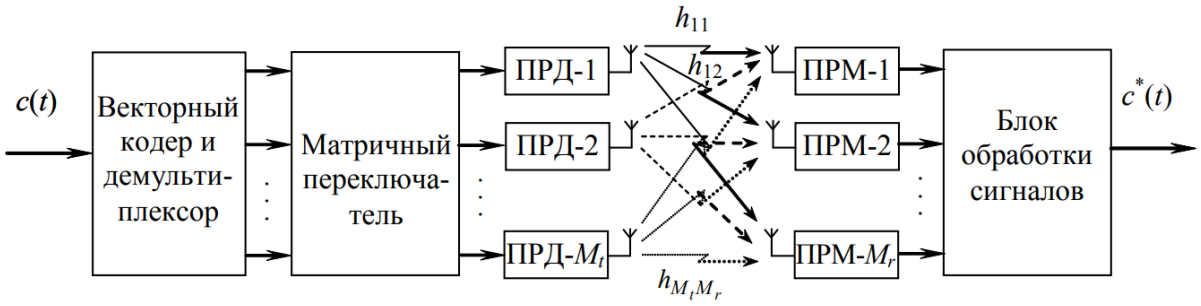

Рис. 2.1 Структурна схема MIMO

Засоби радіозв'язку MIMO 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 пропускної спроможності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів.

Однак, MIMO-технології включають в себе ціле сімейство технологічних напрямків: розраховані на одного користувача, на багато користувачів і розподілене (віртуальне) MIMO. Тому, виникає питання вибору виду MIMO-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 MIMO-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 характеристики системи (НШК) можуть бути використані в супутниковому зв'язку. Для цього необхідно: змінити граничну потужність випромінювання для впровадження супутникового зв’язку (НШК), що не потребує

ліцензії, або перенести робочий діапазон частот на частоти вище діапазону Ка, де а. Значна частина асортименту доступна для розповсюдження за ліцензією

Що стосується використання зв'язку в супутникових системах (НШК), то основним завданням є дослідження впливу перешкод на наземні системи. Одночасно необхідно вирішити й інші важливі завдання: вибір діапазону частот супутникової системи зв'язку; Визначення ефекту перешкод, створюваних такою системою, для інших супутникових систем.

Побудова високошвидкісних супутникових систем зв'язку можлива на основі поєднання технології MIMO і (НШК) сигналів.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка систем MIMO (UWB-MIMO) для досягнення гігабітних швидкостей не лише в наземних, а й у супутникових системах.

Ортогональне мультиплексування сигналів (OFDM) широко використовується в сучасних системах зв'язку. Основними перевагами цієї технології є висока стійкість до частотно-селективного завмирання в каналах з низькою обчислювальною складністю порівняно з системами з однією несучою, а також висока спектральна ефективність. OFDM використовується на фізичному рівні більшості бездротових стандартів, таких як IEEE 802.11, IEEE 802.16 / WiMAX, а також у наземному цифровому відеомовленні (DVB-T).

До недавнього часу ця технологія передачі вважалася непридатною для використання в супутниковому зв'язку, оскільки сигнал OFDM характеризується великим пік-фактором. З цієї причини сигнали OFDM чутливі до нелінійних спотворень підсилювачів потужності передавача, що є одним із найважливіших показників при роботі з супутниковими системами. Проте нещодавно було доведено, що використання спеціального алгоритму кодування сигналу OFDM у поєднанні з використанням методу компенсації нелінійних спотворень може забезпечити задовільну продуктивність навіть тоді, коли підсилювач працює близько до насичення.

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 загальноприйняту 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 аналізую 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 із обладнанням штучного інтелекту, запущений у 2020 році, показав позитивні результати. Мова йде про апарат PhiSat-1, який включає «розумну» систему обробки даних з візуальним процесором (VPU) Intel

Movidius Myriad 2. Супутник PhiSat-1 оснащений новою камерою з функціями гіперспектральної тепловізії. Камера призначена для моніторингу полярних льодів і вологості ґрунту, а також тестування систем зв'язку на супутниках. Експерти повідомили, що близько двох третин поверхні нашої планети зазвичай вкрито хмарами і непридатне для спостереження. І тому величезна кількість зображень, які відправляються на землю супутниками через дорогі канали зв'язку, фактично не несуть інформаційного навантаження. Процесор Movidius Myriad 2 точно використовується на новому супутнику для фільтрації зайвих зображень. Завдяки цьому можна заощадити до 30% пропускної здатності каналу зв'язку. Супутник Fisat-1 був запущений на геліосинхронну орбіту у вересні минулого року. Тести, проведені з того часу, продемонстрували ефективність апаратних і програмних рішень, що використовуються. А тепер Європейське космічне агентство оголосило, що спільна команда розробників створила перший апаратний прискорювач, здатний спостерігати за поверхнею Землі та обробляти зображення в реальному часі на орбітальному супутнику.

За даними Deep Knowledge Analytics, Україна посідає друге місце на ринку штучного інтелекту в Східній Європі. Уряд країни прийняв концепцію розвитку штучного інтелекту до 2030 року, але наразі не планується розробляти CVD за допомогою ШІ.

Таким чином, наземні технології зв’язку, такі як MIMO, OFDM, використання надширокосмугових сигналів, машинне навчання можуть посісти важливе місце в проектуванні систем супутникового зв’язку не лише в Україні, а й у всьому світі.

2.2 Інтеграція супутникового зв’язку в екосистему 5G

Якщо говорити про потенціал використання супутникового зв’язку, то не можна не згадати мобільний зв’язок п’ятого покоління (5G). Особливістю цього стандарту є поєднання різних типів зв'язку. У такій системі ЦВД буде одним із основних компонентів. Доповнення наземних каналів передачі даних мережі 5G лініями NW допоможе операторам стати ключовими гравцями в новій екосистемі, яка формується в Україні. Концепція використання сегмента простору для зв'язку базується на певних припущеннях, а саме:

- супутниковий сегмент буде інтегрований з іншими мережами мобільного та фіксованого зв'язку;
- Системи космічного зв’язку є базовими елементами для надійного надання послуг 5G не лише на території України, а й у всіх інших регіонах світу, завжди та за доступною ціною;
- Супутниковий сегмент 5G сприятиме характеристикам глобалізації, збільшить пропускну здатність послуг 5G і вирішить проблеми, пов’язані з мультимедійним трафіком, повсюдним покриттям, зв’язком між машинами та критичними телекомунікаційними місіями та підтримкою, одночасно оптимізуючи витрати для кінцевих користувачів;
- Космічний сегмент трансляції та широкосмугову інфраструктуру можна включити в гібридні мережеві конфігурації, керовані таким чином, щоб забезпечити негайну та 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 супутникового мережі 5G і з іншими операторами наземних мереж;

2) Глобальна супутникова мережа мовлення 5G. Оператор супутникової мережі 5G організовує надання послуг широкомовної 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.

Найближчим часом Інтернет речей глибоко проникне в усі сфери життя, і немає сумнівів, що в деяких регіонах можна буде використовувати супутниковий зв'язок для обміну машинним трафіком. Саме супутниковий зв’язок, завдяки географічному охопленню та гарантованій передачі даних, стане однією з ключових технологій для IoT (Інтернет речей).

Питання розвитку супутникового сегмента стандартів 5G можуть включати спільне використання радіочастотного спектру в смугах частот, виділених супутниковому і наземному сегментам 5G на попередній основі, а також міжсистемну електромагнітну сумісність. - Вбудоване обладнання та наземні станції, включаючи базове та абонентське обладнання в наземному сегменті 5G.

Слабкі сторони супутникового телекомунікації, такі як висока затримка сигналу, недостатня швидкість передачі, низька пропускна здатність, низька надійність зв'язку, вже залишилися в минулому завдяки розгортанню супутників на низьких орбітах, використанню нових технічних рішень і створенню супутники. нових супутників з високою пропускною здатністю.

2.3 Сучасні проекти супутникових телекомунікацій

Геостаціонарні системи з високою пропускною здатністю

Наприкінці першого десятиліття 2000-х років з'явився новий тип геостаціонарного супутника зв'язку - High Throughput Satellite (HTS). Здійснення ефективного використання ресурсів космічного апарату досягається шляхом створення зон покриття. Частотний спектр використовується лише один раз, виділений супутниковій мережі, для зв’язку між супутниками супутниками першого покоління. При створенні загальної зони покриття використовується набір менших зон, щоб той самий частотний спектр міг використовуватися в різних мережах, де сигнали на супутниках першого покоління конфліктували б один з одним.

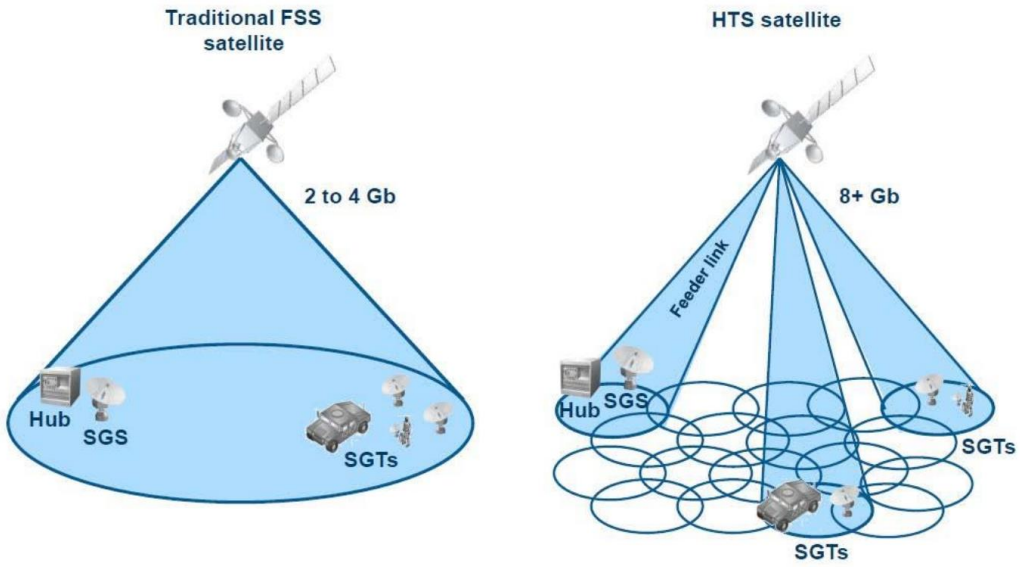

Рис. 2.2 Формування зон покриття супутників першого покоління (зліва) та супутників 2 покоління (справа)

До головних відмінностей та особливосте СВПЗ відносяться:

- Супутник обслуговується за допомогою великої кількості невеликих променів кругової або еліптичної форми. Ширина кожного променю становить 1,0° – 1,5°. 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 широкосмугового доступу до інтернету в діапазоні частот Ka (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 широкосмугового доступу абонентів до мережі Інтернет. Компанія ставить на меті забезпечити покриття усього тільки в частотному діапазоні Ku, але й в діапазоні Ka. 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 космічних сегмент системи GlobalXpress.

У Ka-діапазоні космічний апарат Inmatsat-5F4 створює 89 фіксованих вузьких променів еліптичної та круглої форми (залежно від регіону) і 8 променів з можливістю перенацілювання, два з яких використовуються для зв'язку з термоядерною станцією. У кожному фіксованому промені забезпечується загальна швидкість передачі даних 100 Мбіт/с, розділена між лініями «вниз» і «вгору». Кожен абонентський термінал в зоні дії променя може забезпечити прийом сигналу на швидкості до 50 Мбіт/с і передачу на швидкості до 5 Мбіт/с. Керовані промені зазвичай використовуються для військових і комерційних користувачів із смугою пропускання 40, 125, 270, 400 і 730 МГц.

Система Intelsat

Система Intelsat Epic обслуговує наземні та основні морські та повітряні маршрути. За допомогою такої зони обслуговування можливе впровадження нових послуг, а саме надання широкосмугового доступу повітряним судам на трансокеанських маршрутах польотів і морським суднам у відкритому морі.

OneWeb — англійська телекомунікаційна компанія. Компанія планувала побудувати сузір'я навколо всієї Землі, щоб забезпечити широкосмуговий доступ до Інтернету в кожному куточку планети. Запуски космічних кораблів відновилися в 2019 році, наразі на орбіту виведено 182 супутники. Кожен супутник важить 150 кг. Вони обертаються навколо землі по 18 орбітах на висоті 1200 м. Швидкість передачі даних повинна досягати 50 Мбіт/с. У 2020 році підприємство тимчасово збанкрутувало через недостатнє фінансування.

Всі перераховані системи на даний момент досить продуктивні і набувають все більшої популярності серед користувачів і будуть використовуватися в майбутньому завдяки своїй високій пропускній здатності. Але такі ССЗ не позбавлені головного недоліку - великої затримки передачі сигналу.

Після 2017 року на ринку супутникового зв'язку з'являється ще один гравець - система Starlink від приватної компанії SpaceX, яка особливо швидко набирає популярність після першого успішного запуску і тестування супутників системи. На відміну від системи OneWeb, при розробці цього проекту використовувалися

новітні технології та ідеї, тому CCS отримує все більше фінансування та визнання у світі.

2.4 Система Starlink

Кожна супутникова мережа складається з трьох секцій: космічної, користувацької та контрольної. Це також стосується супутникової мережі Starlink. Космічний підрозділ містить усі супутники Starlink на низькій навколоземній орбіті. Сегмент користувача складається з комунікаційного обладнання, встановленого на Землі та передає супутникові дані кінцевому користувачеві. Користувачам не потрібно встановлювати стаціонарні супутникові антени та подібне обладнання. Засновник SpaceX Ілон Маск сказав у першій презентації, що його мета — забезпечити передачу більшості інтернет-трафіку на великі відстані та 10% локального інтернет-трафіку в певних областях. Він також зазначив, що супутникові Інтернет-мережі мають перевагу перед наземними мережами, оскільки швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі приблизно на 30% вища, ніж у оптичного волокна, і для того, щоб інформація досягла віддалених місць, потрібно менше вузлів. Проект отримав широке схвалення, а також спротив у світовій астрономічній спільноті.

Ключові особливості Starlink зменшать затримку за допомогою низькорівневих схем. Основним недоліком супутників на низькій навколоземній орбіті (LEO) є мале поле зору. Це означає, що один супутник може спостерігати або. Короткочасно (близько 4,5 хвилин на висоті 550 км) спілкується з невеликою ділянкою Землі (рис. 2.3).

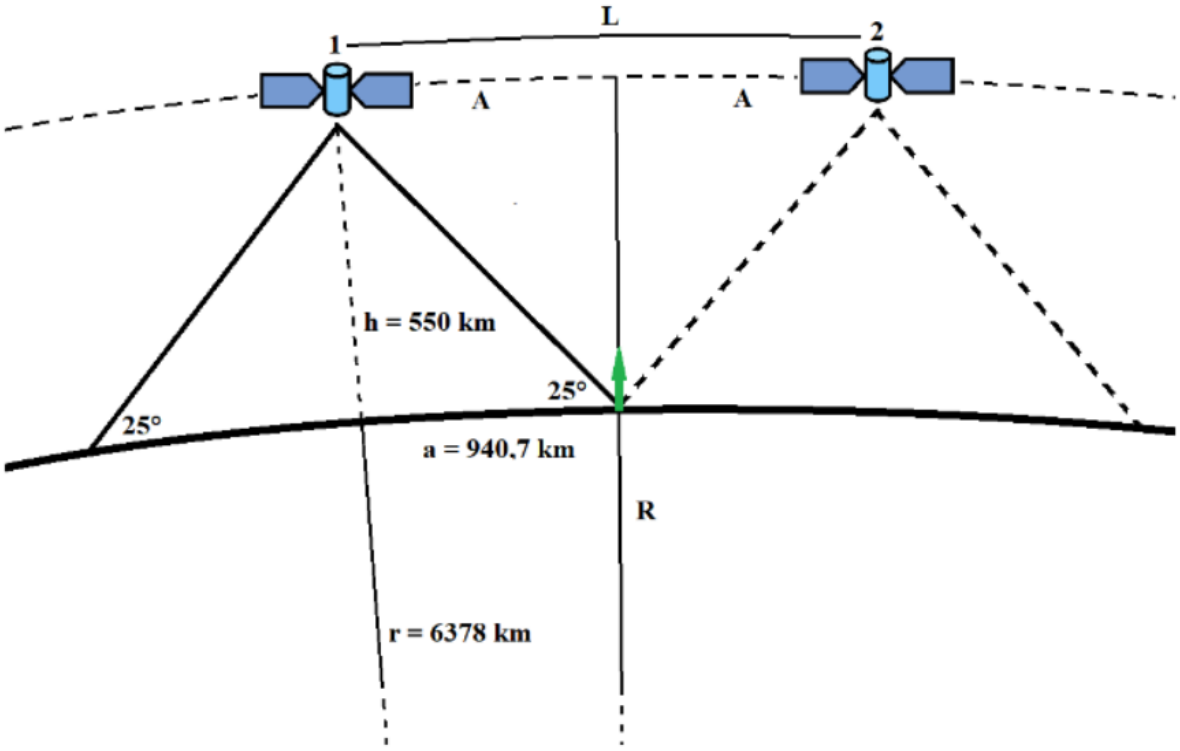

Рис. 2.3 Ескіз для обчислення часу, коли супутник видно спостерігачеві (зелена стрілка)

Розрахунок відстані А (2.1)

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

$$A = 1021{,}8\ км,$$

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 $\nu_{СУП}$ на висоті 550 км (2.2) та часу t, коли супутник видно спостерігачеві під кутом висоти 25˚(2.3).

$$\nu_{\text{СУП}}=\sqrt{\frac{\mu}{a}}=\sqrt{\frac{3{,}986\times10^{14}\,\text{м}^3/\text{с}^2}{(550+6378)\times10^3\,\text{м}}}=7585\ \text{м/с}, \quad (2.2)$$

$$\text{L} = 2 \times A,$$

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

$$\text{t} = 4{,}49\ \text{хв.},$$

де μ - гравітаційний параметр.

Таким чином, безперервне покриття вимагає групи з кількох супутників, які працюють разом як мережа та забезпечують зв’язок у будь-який час. Окрім малого поля зору, UNO спричиняє швидке зменшення супутникової орбіти через опір повітря у верхньому шарі Землі, що вимагає повторного розгону або запуску нових супутників для збереження орбіти. Швидкий розпад орбіти має позитивну сторону, оскільки неактивні супутники будуть падати на Землю і згоряти в атмосфері, що також означає менше космічного сміття. У звичайному супутниковому зв'язку, який увійшов у наше повсякденне життя, є затримка в передачі сигналу близько 300-400 мс. На практиці це число трохи вище, приблизно 600 мс або більше. Супутники Starlink на нижній орбіті забезпечують більш практичну низьку затримку від 25 до 35 мс порівняно з існуючими оптичними кабельними мережами. Система використовуватиме одноранговий протокол (P2P), який є простішим, ніж IPv6, і включатиме наскрізне шифрування. Для зв'язку супутник-літак, а також телеметрії, відстеження та контролю будуть використовуватися супутники в діапазонах частот Ku і Ka.

За даними Федеральної комісії зі зв’язку, SpaceX хоче розгорнути половину свого сузір’я до березня 2024 року. Через три роки, у 2027 році, інші сузір’я також повинні бути повністю очищені. Угруповання Gen2, яке налічує 30 000 супутників,

SpaceX повинна була завершити в 2029 році. На сьогоднішній день вже запущено 1623 супутника з спочатку запланованих 4408. Потім кількість запланованих супутників зросла, і зараз вона становить від 12 до 44 тисяч супутників.

Міжсупутниковий зв'язок

Супутники, запущені на даний момент, оснащені радіочастотним (РЧ) зв’язком, який надсилатиме дані на Землю в діапазонах частот Ka, Ku та V залежно від висоти, на якій вони знаходяться на орбіті. Зв'язок із Землею здійснюється через радіозв'язок, оскільки воно надійніше, ніж лазери. Радіосигнали, на відміну від інфрачервоних, краще проникають через хмари та зони опадів. Для компаній, які обирають лазерне з’єднання із Землею, Консультативний комітет зі стандартів системи космічних даних (CCSDS) рекомендує використовувати 1550 нм для низхідної лінії зв’язку та 1030–1080 нм для висхідної лінії зв’язку, щоб розділити довжини хвиль. Супутники Starlink спілкуватимуться один з одним за допомогою оптичних лазерних каналів зв’язку. Оптичний зв'язок між супутниками використовуватиме лазери і розвиватиметься переважно на основі існуючих наземних оптичних систем. Лазери випромінюють інфрачервоне світло, яке таке ж електромагнітне, як і радіохвилі, але має багато переваг. Оскільки інфрачервоне світло має вищу частоту (від 300 ГГц до 470 ТГц), доступна більша смуга пропускання, тобто ми теоретично можемо передати у багато разів більше інформації, ніж радіохвилі. Лазерний канал може забезпечити пропускну здатність близько 13160 Гбіт/с. Крім того, інфрачервоні сигнали не так жорстко регулюються, як радіо. Причина зниження світлової регуляції не в новітніх оптичних технологіях, а в механізмі поширення радіохвиль. Радіосигнал, що передається з низької навколоземної орбіти, може охоплювати тисячі квадратних кілометрів на Землі, і перешкоди виникають, якщо багато людей використовують той самий частотний канал. З іншого боку, більш спрямований лазерний промінь, який посилається з Місяця, наприклад, охоплює площу лише 20 км^2 на Землі. Через вищевказану причину та широкий діапазон частот цей тип зв’язку дуже важко перехопити. Крім того, лазерний зв’язок споживає набагато менше енергії (радіопередавач на Місяці споживає в 50 разів більше енергії, ніж інфрачервоний

передавач). У космосі лазерний зв'язок має радіус дії в тисячі кілометрів і підходить для зв'язку між супутниками. Високо спрямований промінь створює інженерні проблеми, такі як «виправлення» та отримання його, оскільки навіть невеликі коливання означають відхилення в десятки метрів на відстані в тисячі кілометрів. Зв'язок між пристроями є важливим компромісом між орієнтацією та потужністю передавача. Чим менше відхилення променя, тим вище потужність прийому, але потрібна орієнтація.

Перший лазерний зв'язок був створений японцями в 1995 році, і з тих пір цей тип передачі інформації стає все більш і більш потужним (тепер до 10 Гбіт / с), і ця технологія розробляється і використовується все більшою кількістю компаній. Супутники від ISS до GSO у 2014 році, супутники від LeoSat до ISS, BridgeComm і Cloud ConstellationSpaceX витратили багато грошей на свою технологію міжсупутникового зв’язку, тому вони не розголошують. Деталі їх технології. Однак у своїй заявці FCC вони заявили, що їхні лазери випромінюють електромагнітні хвилі з частотою 10 000 ГГц, тобто інфрачервоне світло. Кожен супутник буде оснащений чотирма лазерними терміналами зв'язку: один спереду, один ззаду і по одному з боків. Передній і задній термінали з’єднують супутники на одній орбіті (Малюнок 2.3 - червоний), тому вони завжди залишаються незмінними, а бічні термінали повинні рухатися і слідувати за супутниками на інших орбітах (Малюнок 2.3 - помаранчевий).

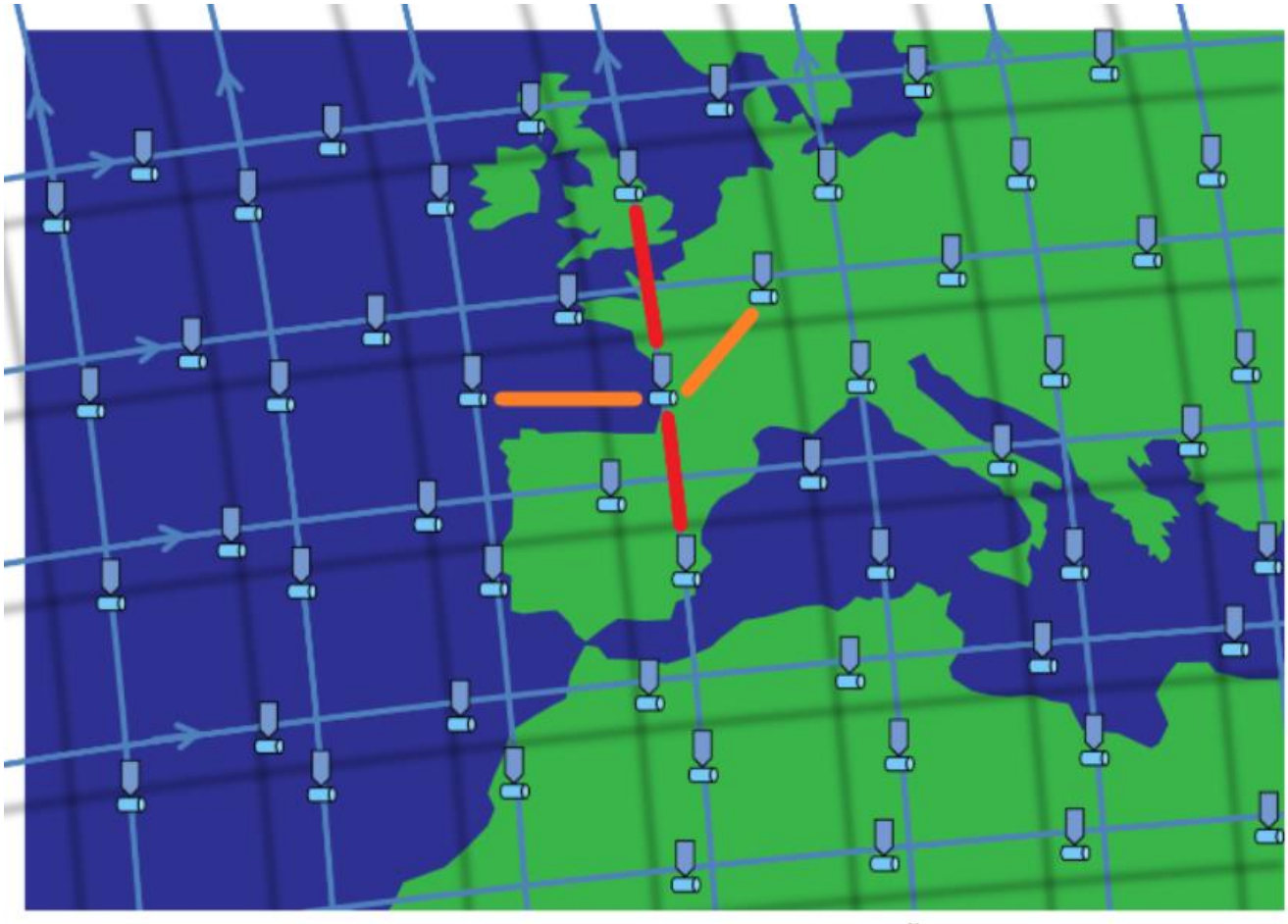

Рис. 2.4 Ескіз зв’язку між кількома супутниками

Сегмент системи на Землі

Безсумнівною перевагою геостаціонарної орбіти є відносно проста структура прийому супутників, оскільки супутник завжди знаходиться в одній точці Землі, а наземна антена завжди спрямована в одну і ту ж точку неба. Оскільки супутники рухаються з високою швидкістю, обладнання для відстеження є дуже дорогим (незалежно від того, чи здійснюється відстеження за допомогою наземного обладнання, чи супутники спрямовують свої промені на певні точки на Землі). Користувальницькі термінали мережі Starlink, на відміну від інших подібних провайдерів (Iridium, Globalstar, Thuraya та Inmarsat), не підключаються безпосередньо до супутникової мережі, а через бездротовий маршрутизатор підключаються до базової станції з супутниковою антеною діаметром 0,48 м. (рис. 2.4)

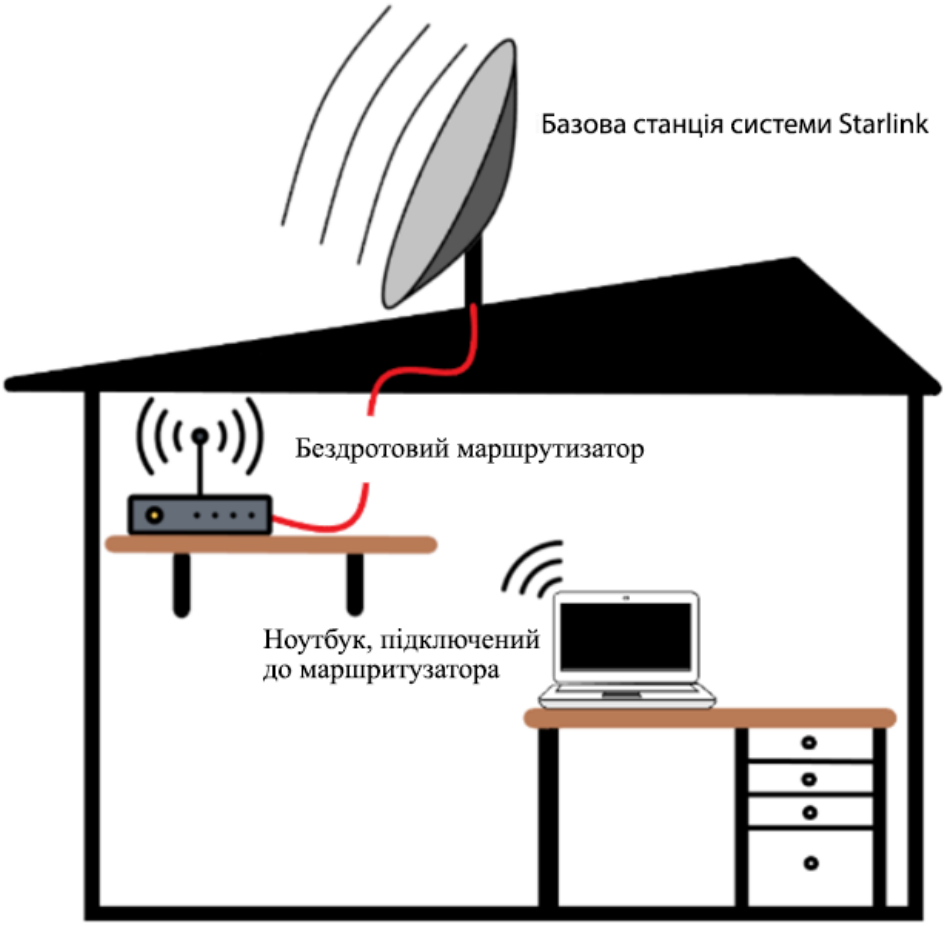

Рис 2.5 На ескізі показано ноутбук, підключений до Інтернету через маршрутизатор та базову станцію Starlink

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.

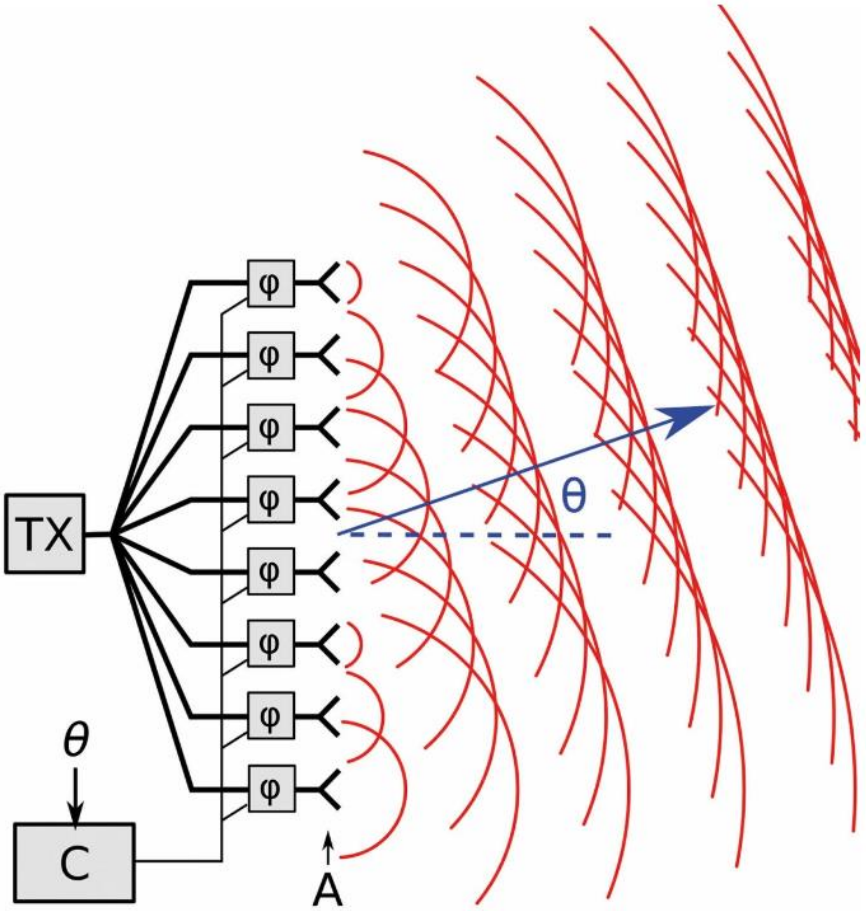

Рис 2.6 Ескіз фазової антенної решітки, що дозволяє електронно контролювати напрямок передачі

Він складається з серії антенних елементів (A), підтримуваних передавачем (TX). Струм живлення для кожної антени проходить через керований комп'ютером фазоповертач (φ). Червоні лінії показують фронти радіохвиль, випромінювані кожним елементом.

Сузір'я розміром із супутникову мережу Starlink стурбувало б астрономів, які вважають, що занадто багато яскравих об'єктів у небі заважатиме космічним спостереженням.

Недоліками низької навколоземної орбіти є мала зона покриття супутників і їх швидкість. Геостаціонарний супутник завжди над нами, тоді як супутник USO обертається навколо Землі на низькій орбіті кожні п'ять хвилин. З цієї причини для покриття території потрібна велика кількість супутників

Крім того, Starlink є, ймовірно, найперспективнішим проектом з багатьох причин, насамперед тому, що SpaceX хоче зменшити витрати на космічний простір.

Роль Starlink полягає в тому, щоб заповнити телекомунікаційну прогалину в менш розвинених частинах світу та створити конкурентоспроможні зони, які зараз доступні лише одному оператору.

З кожним запуском SpaceX наближається до завершення свого останнього угруповання. Вони вже мають достатньо супутників, щоб покрити Північну Америку. До кінця 2023 року система Starlink може запрацювати в багатьох частинах світу, а також повноцінно в Україні. Якщо все піде за планом, то до 2027 року в космос буде відправлено близько 44 тисяч супутників, які увійдуть в глобальну мережу Інтернет.

Переваги системи в порівнянні з уже існуючими ССЗ очевидні: неймовірно низька затримка сигналу, близькість до наземних ліній зв'язку; Згідно з інструкцією компанії SpaceX, налаштувати обладнання нескладно, необхідно підключити обладнання до електромережі та направити антену в небо; Завдяки постійному фінансуванню проекту така система може стати першою в світі, яка охопить всю територію планети і забезпечить таку високу якість; Завдяки популярності системи такі технології, як зв’язок між супутниками та боротьба з космічним сміттям, можуть стати популярними та використовуватись у всьому світі.

Система Starlink має такі недоліки: потреба у великій кількості космічних кораблів, що здорожує проект; дороге обладнання земної станції; Перешкоди у вигляді супутників при вивченні космосу на Землі; Короткочасність супутників, що збільшує ймовірність падіння космічного сміття на НІО і здорожчує обслуговування таких систем.

2.5 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:

- спостерігання 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.

Траєкторії великих об’єктів CS тепер занесені в каталог і відомі центрам управління повітряним рухом. UA маневрує та уникає зіткнень з великими об'єктами. Але найгірший сценарій – дрібне космічне сміття, яке неможливо зафіксувати та відстежити та рухається зі швидкістю 10 км/с траєкторіями довільної форми та параметрів. CS зустрічає космічні об’єкти під різними кутами та різними швидкостями, які можуть коливатися від 0,1 до 25 км/с, а іноді навіть більше.

На цьому рівні технологічного розвитку людства ефективних практичних рішень для знищення космічного сміття на орбітах понад 600 км (де атмосферне загасання не має очисного ефекту) ще не розроблено. Хоча багато інших розглядали, наприклад, дизайн супутників, які випаровують сміття за допомогою потужних лазерних променів або змінюють свої орбіти за допомогою іонних

променів, що сповільнило б потрапляння сміття в атмосферу з частковим або повним згорянням або в таких випадках. Для обладнання на геостаціонарній орбіті перенаправте його заховані контури або наземні лазери. При цьому актуальність завдання забезпечення безпеки космічних польотів у разі техногенного забруднення навколоземного космічного простору та зниження ризику для земних об'єктів у разі неконтрольованого входження космічних об'єктів у щільний космос. Шар атмосфери і їх падіння на землю швидко збільшується.

Прикладом є супутник Iridium 33, який був уражений і знищений недіючим космічним кораблем Cosmos 2251 у 2009 році. Проблема таких зіткнень полягає в тому, що під час зіткнення утворюється багато дрібних частинок, що є найбільшою загрозою для роботи супутників.

Час існування фрагментів КС залежить від величини балістичного коефіцієнту:

$$\sigma_x = \frac{s_M c_x}{m} \tag{3.1}$$

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

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

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

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 проекті 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.

2.6 Орбітальний ресурс та фінансування космічної галузі в Україні

Україна має великий потенціал у космічній галузі, незважаючи на складну економічну ситуацію майже за всі роки незалежності. Сьогодні одним із головних напрямів космічної галузі країни є створення нових ракетно-космічних систем і модернізація існуючої техніки. Такий напрямок розвитку дозволяє зменшити навантаження на бюджет країни, зменшити залежність від міжнародних партнерів та отримати фінансову підтримку за рахунок професійних та комунікаційних послуг. Нині українська космонавтика бере активну участь у розвитку міжнародних проектів у багатьох країнах. Космонавтика знаходиться під сильним впливом інформаційних технологій, таких як телекомунікації, комп’ютери, інженерія та Інтернет-технології. Але на цьому етапі економічного розвитку є великі труднощі. Зараз українська космічна галузь співпрацює з 208 компаніями та організаціями з різних країн світу: 44 компанії в американському регіоні, 56 в

європейському, 74 в країнах Близького Сходу та Африки, 34 в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Фінансування космічної галузі – це інвестиція в майбутнє країни, її безпеку, підготовку висококваліфікованих спеціалістів, а також розвиток нових і модернізацію існуючих технологій. Але нині переважає тенденція завершення наукових досліджень і низького фінансування космічної галузі, морального зносу основних виробничих фондів і проблем практичного застосування сучасних інновацій у багатьох галузях економіки.

Відсутність стабільного та адекватного фінансування робить технологічну базу космічної галузі застарілою, а відсутність нових технологій, які підвищують ефективність передачі сигналу та підвищують ефективність виробництва та якість продукції, є причиною адекватного занепаду. Конкурентоспроможність української космічної галузі на світовому ринку телекомунікацій.

Численні недоліки фінансового та інституційного характеру не дозволяють Україні ефективно підтримувати галузь супутникового зв'язку. Без достатніх коштів не тільки з боку нашої держави, а й з-за кордону неможливо повною мірою забезпечити виконання багатьох завдань космічної галузі, а саме:

- здійснення дистанційного зондування Землі з космосу;
- удосконалення систем передачі космічної інформації та навігації;
- проводити наукові космічні дослідження;
- формування СА і комплексу;
- забезпечення промислово-економічного розвитку;
- розширення кількості кваліфікованих спеціалістів;
- вийти на світовий ринок супутникового зв'язку.

У розробці нових проектів у сфері супутникового зв'язку все активніше беруть участь неурядові та іноземні інвестори. Результатом є складна та масштабна фінансова схема.

Основними цілями інвестування є підвищення конкурентоспроможності та підвищення вартості активів космічної галузі на світовому ринку. Серед функцій, які виконують інвестиції, можна виділити кілька:

1) підвищення конкурентоспроможності космічної галузі;

2) розширення виробництва та завоювання нових зовнішніх ринків збуту продукції;

3) підвищити технологічний рівень виробництва в космічній галузі;

4) підвищення якості продукції космічної галузі;

5) забезпечити нове працевлаштування працездатного населення;

6) підвищення рентабельності виробництва;

7) збільшення ВВП країни.

На реалізацію космічних програм до 2032 року Кабінет міністрів України виділив 38,5 млрд грн ($4,8125 млрд). Це приблизно 2 мільярди гривень (50 мільйонів доларів) на рік. Для порівняння, NASA, світовий лідер на ринку розробки космічних систем, витрачає понад 18 мільярдів доларів. впродовж року.

Через недостатнє фінансування космічної галузі Україна має мало власних орбітальних ресурсів і наразі має на орбіті лише два українських супутники Політан-1 і Політан-2 – наносупутники, побудовані в НТУУ, які запускаються переважно для досліджень. Супутниковий зв'язок в Україні здійснюється за рахунок використання іноземних ресурсів.

3. МЕТОДИ КЕРУВАННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

3.1 Система керування та моніторингу космічного апарату

Для керування космічним кораблем із землі використовується система керування космічним кораблем. Більш загальний термін «Система управління польотом» (СУП) сьогодні є більш поширеним і використовуватиметься в цій статті. СУП покриває потреби всієї місії, включаючи підтримку в підготовці операцій, на додаток до самих операцій космічного корабля; він також може охоплювати операції наземної системи.

СУП складається з комп'ютерної системи, підключеної до однієї або кількох наземних станцій, які відповідають за зв'язок із космічним кораблем. Через ці наземні станції СУП отримує телеметричні дані від космічного корабля, які використовує для моніторингу стану космічного корабля. СУП керує космічним кораблем, надсилаючи йому телекомунікаційні команди, які фактично є інструкціями для космічного корабля. Таким чином, СУП працює за тими ж принципами, що й система керування процесом, у якій процес контролюється за допомогою показань із датчиків і контролюється через команди процесу. Телеметричні дані містять так звані «домашні» параметри; як правило, вони регулярно відбираються на борту космічного корабля, щоб надати інформацію про його підсистеми. Ці параметри можуть містити аналогові значення, напр. заряди акумулятора та струми, температури окремих компонентів або двійкові значення, напр. індикатор увімкнення/вимкнення бортового експерименту.

Моніторинг параметрів телеметрії, щоб перевірити, чи вони знаходяться в межах певних діапазонів - «перевірка меж» - або, що вони мають певні очікувані значення - «перевірка очікуваного стану»; цей моніторинг також може включати обчислення «похідних параметрів» із необроблених параметрів телеметрії.

Керування космічним кораблем; як правило, надсилання команди передбачає перевірку дійсності перед передачею (ПДПП), щоб переконатися, що команда дозволена, і перевірку виконання команди (ПВК), щоб переконатися, що команда

була правильно виконана на борту. Такі перевірки зазвичай виконуються шляхом вивчення параметрів телеметрії, напр. щоб переконатися, що обігрівач був увімкнений після команди ввімкнення. Команди можуть надсилатися вручну або автоматично. У режимі ручного керування контролер космічного корабля надсилатиме команди з додатку, який називається «ручний стек»: це, по суті, список команд, підготовлений на спеціальному дисплеї, який надсилається шляхом «вискакування» їх із верхньої частини стека. У автоматичному керуванні система автоматично надсилає розклад команд (фактично список із призначеним часом)

Всі види даних телеметрії та телекоманд зберігаються у файлах історії для подальшого аналізу або відображення даних для оперативного персоналу (відображення в режимі реального часу або отримані з файлів);

Класичними типами відображення є:

1) алфавітно-цифрові дисплеї (АЦФ): в основному вони складаються зі списків назв параметрів та їхніх значень, розташованих у стовпцях. Значення параметрів можуть відображатися в необробленому вигляді (тобто як у телеметричних даних) або відкаліброваній формі (тобто перетворені в інженерні значення, наприклад вольти, градуси Цельсія, тощо);
2) графічні відображення (ГВ): це в основному діаграми параметра в залежності від часу або одного параметра в порівнянні з іншим;
3) засоби сигналізації для привернення уваги оперативного персоналу до аномалій: зазвичай вихід за межі або інший тип невдалої перевірки призведе до звукового та видимого сигналу, який вимагає чіткого підтвердження з боку оператора;
4) засоби безпеки, щоб запобігти несанкціонованому зовнішньому доступу до системи та контролювати доступ до різних функцій системи в межах групи керування; типовим прикладом є обмеження доступу до командних функцій;

5) засоби для налаштування та підтримки бази даних космічного корабля, яка описує характеристики телеметричних даних, телекоманд та інших даних місії. Їх часто називають «об’єктами для підготовки до місії».

Одним із завдань створення системи управління місією є надання вищезазначених функцій у зручний для користувача спосіб, який можна легко налаштувати. Крім того, великими проблемами є продуктивність і надійність:
Продуктивність важлива з кількох причин. Під час фази запуску та раннього виведення на орбіту зазвичай має підтримуватися від 12 до 15 посад операторів, і користувачам потрібна хороша реакція на їхніх робочих станціях у будь-який час. Більш складні космічні кораблі можуть мати близько 6000 або більше параметрів, які необхідно регулярно контролювати або обчислювати, що означає досить велике робоче навантаження. У місіях з обмеженим зв’язком із наземною станцією може знадобитися передати довгий розклад команд протягом кількох хвилин.

Надійність важлива, оскільки система не повинна бути чутливою до серйозних збоїв. В основному це пов’язано з тим, що повний контроль над космічним кораблем необхідний під час критичних етапів, наприклад, під час розгортання сонячних батарей на орбіті, коли необхідні операції мають бути завершені протягом кількох орбіт, інакше місія може бути втрачена. Зазвичай необхідний час відновлення приблизно протягом кількох хвилин, можливо, без переривання певних ключових функцій (наприклад, моніторинг телеметрії).

3.2 Форми супутникових систем зв'язку

Системи супутникового зв'язку в даний час існують у чотирьох формах:

А) Супутникові системи на геостаціонарних орбітах (GEO) Системи зв’язку GEO працюють із супутниками на геостаціонарних орбітах (GEO — Geostationary Earth Orbit) на висоті (відстань від земної поверхні Землі) у середньому 35 786 км, у якій орбітальний період супутників навколо період обертання Землі навколо власної осі дорівнює. Це означає, що ідеальний супутник знаходиться у фіксованому положенні над землею, як видно із землі, що означає, що відстеження антени на землі в більшості випадків не потрібне. нахил

Орбіта геостаціонарних супутників становить 0°, що означає, що супутники знаходяться безпосередньо над екватором і, отже, можуть використовуватися для більшості країн до більш високих широт близько 60°.

Б) Низькоорбітальні (LEO) супутникові системи. Супутникові системи зв’язку на низьких орбітах (LEO – Low Earth Orbit) на висоті приблизно від 200/300 км до 1500/2000 км використовують супутники, які змінюють своє положення відносно землі, тому для безперервної роботи потрібна велика кількість взаємопов’язаних супутників. зв'язок для підтримки зв'язку із супутниковою системою із Землі. Супутникова система LEO — це густа мережа здебільшого ідентичних супутників, які працюють на кількох орбітах на одній або різних висотах. Супутники рухаються по орбітах відносно Землі синхронно. Така мережа супутників називається групою супутників.

Період обертання супутників навколо Землі на цих орбітах становить від 86 до 127 хвилин. Супутник «видно» лише близько 10 хвилин із точки спостереження Землі. Супутники зв’язку Iridium LEO розташовані напр. В. на орбіті біля полюса, що означає, що вони мають нахил 90° (+/- 10°), а орбіта супутника веде близько до обох полюсів Землі. Інші системи, такі як Globalstar, не мають полярної орбіти. Ретранслятори даних через супутники GEO іноді використовуються для супутників LEO для спостереження Землі, щоб можна було збільшити час з’єднання від супутників LEO через супутники GEO до наземної станції.

В) Середньовисотні орбітальні (MEO) супутникові системи. Системи зв'язку MEO працюють із супутниками, що обертаються на висоті приблизно від 6000 км до 20 000 км над землею (MEO - Medium Earth Orbit). Вони поєднують різні аспекти супутникових систем GEO і LEO, які потім коротко обговорюються.

Супутники HEO (HEO - High Elliptic Orbit) рухаються по високо еліптичних орбітах, які знаходяться поблизу Землі в перигеї (приблизно на висоті 500 км) і далеко від Землі в апогею (приблизно 40 000 км), з орбітальним періодом від дванадцяти і двадцять чотири години. Через еліптичну орбіту супутник проводить більшу частину свого часу навколо апогею і виглядає квазістаціонарним, але має різний час поширення сигналу від супутника до Землі та навпаки вздовж орбіти. Супутники HEO можуть охоплювати регіони землі у високих широтах, яких супутники GEO більше не можуть досягти. Оскільки їхні орбіти перетинають площу полюсів Землі, з кожною орбітою супутники проходять через радіаційний пояс Ван Аллена, що впливає на електроніку схеми і, таким чином, на термін служби супутників.

Г) Переваги та недоліки різних систем.

Усі супутникові орбіти мають переваги та недоліки для використання в секторі зв’язку: супутники GEO знаходяться далеко від землі, тому зв’язок майже з усією поверхнею землі можна встановити за допомогою трьох супутників. З іншого боку, для зв'язку потрібна відповідна висока потужність передачі. Оскільки супутник GEO знаходиться над екватором, можуть виникнути проблеми з прийомом, якщо приймальна станція розташована на широті понад 60°. Будівлі, рельєф і рослинність можуть створювати тіні, а час поширення сигналу (затримка) - від землі до супутника і назад порядку 0,25 с без урахування часу обробки цифрового сигналу - може бути занадто великим для різних програм реального часу. Тому вони в основному використовуються для односпрямованого поширення інформації (наприклад, радіо- та телевізійне мовлення). З іншого боку, супутники LEO мають лише діаметр свого покриття приблизно від 3000 до 4000 км через їх низьку орбіту. Вам потрібна велика кількість супутників (приблизно від 60 до 600), щоб мати можливість налаштувати глобальну систему зв’язку. Усі супутники

мають бути об’єднані в мережу один з одним, щоб, враховуючи їх коротку видимість (прибл. 10 хвилин) для забезпечення безперервного зв'язку в точці спостереження Землі. Через малу висоту орбіти супутники рухаються близько до атмосфери, що призводить до скорочення тривалості життя супутників через ефект тертя, спричинений залишковою атмосферою, присутньою на низьких висотах польоту. Завдяки низькій орбітальній висоті час розповсюдження сигналу від Землі до супутника й назад настільки короткий, що також стають можливими двонаправлені послуги, які вимагають малого часу затримки (наприклад, телефонія, Інтернет).

Супутники з дуже високою пропускною здатністю.

(VHTS, супутники з високою пропускною спроможністю даних) Класичний супутниковий зв'язок базується - за кількома винятками - на геостаціонарних супутниках. На великі площі з можливим

Щоб мати можливість надавати інформацію з невеликими технічними зусиллями, традиційно використовуються супутники з великою площею. Однак супутники, що охоплюють великі території, призводять до низької щільності потоку потужності на землі та наразі не дозволяють повторно використовувати смуги частот, що обмежує досяжну швидкість передачі даних і загальну пропускну здатність системи.

Тому нові системи для інтерактивних додатків все частіше використовують багатопроменеву технологію, у якій приймальні станції з’єднані із супутником кількома малими пелюстками випромінювання антени (променями). Це означає, що різні дані можуть передаватись паралельно в різних променях, а смуги частот можна повторно використовувати для різних, але локально обмежених застосувань (формування осередків). Це призводить до значного збільшення потужності системи. Крім того, більша щільність потоку потужності менших променів також забезпечує більш високу швидкість передачі даних для окремого користувача. Прикладами діючих багатопроменевих систем є Ka-Sat 9A компанії Eutelsat з 82 точковими променями, розподіленими по всій Європі, кожен із пропускною

спроможністю 475 Мбіт/с, і американський супутник ViaSat-1 із 72 точковими променями та загальною пропускною здатністю 140 Гбіт/с.

Багатопроменева технологія може бути вдосконалена. Пропускна здатність системи в діапазоні 1 Тбіт/с на супутник спрямована на різні дослідження для так званих супутників дуже високої пропускної здатності (VHTS). Для цього необхідно ще збільшити кількість точкових променів. Крім того, у випадку повторного використання високої частоти необхідно розробити методи для мінімізації або компенсації міжточкових перешкод. Висока пропускна здатність системи порядку 1 Тбіт/с також повинна підтримуватися з'єднаннями (званими фідерними лініями) між базовою станцією (шлюзами) на землі та супутником. Для досягнення загальної пропускної здатності потрібні декілька шлюзів, що працюють паралельно. Нещодавно також були запропоновані оптичні фідерні лінії, які забезпечують значно вищі швидкості передачі даних, ніж класичні мікрохвильові фідерні лінії, і таким чином можуть зменшити кількість необхідних шлюзів. Однак ця технологія вимагає методів рознесення шлюзів (кілька просторово розподілених наземних станцій), щоб забезпечити високу доступність фідерних ліній, навіть коли небо хмарне. Оптичні фідерні лінії також вимагають нових концепцій і методів перетворення між оптичними сигналами та мікрохвильовими сигналами на борту супутника.

Стає очевидним, що антенна технологія на супутниках суттєво зміниться найближчим часом. Ця зміна, по суті, обумовлена двома зміненими вимогами: з одного боку, можливість реконфігурації променів антени все більше стає у центрі уваги; Супутникові оператори хочуть мати можливість адаптувати наявну ємність у будь-який час до мінливих регіональних або часових потреб на землі. З іншого боку, з різних причин існує сильна тенденція до негеостаціонарних супутникових систем, в яких, однак, відносний рух супутника до земної поверхні має компенсуватися за допомогою контрольовані пелюстки випромінювання. Класичні рефлекторні антени дозволяють лише обмежену конфігурацію та відстеження пелюсток. Однією з можливостей є використання елементів збудження для рефлекторних антен, які складаються з різноманітних z. B. Існують рупорні

випромінювачі, які, якщо вони призначені для перемикання, дозволяють генерувати різні пелюстки випромінювання (промені). З іншого боку, використання активних планарних решіток з електронним формуванням променя дозволяє створювати компактні та високопродуктивні антенні системи з високою маневреністю променя. Ця інноваційна технологія, яка спочатку походила з наземних військових застосувань, зараз досягла високого рівня технічної зрілості, так що тепер її також можна використовувати на супутниках. Антени з електронним формуванням променя також відіграють важливу роль у проектуванні майбутніх наземних терміналів користувача. У мобільних додатках, таких як зв’язок із літаками, кораблями чи транспортними засобами, потрібно відстежувати промінь антени. Досі цю вимогу вирішували за допомогою механічно керованих антенних платформ. Однак стає очевидним, що антени з електронним керуванням променем краще підходять для побудови гнучких, міцних терміналів із дуже гнучким відстеженням променя в майбутньому. Ці переваги системи особливо очевидні на високих частотах, оскільки там антени повинні мати дуже високі коефіцієнти підсилення та дуже вузькі пелюстки випромінювання. Швидке та точне відстеження цих «PencilBeams» працює краще в принципі з електронним формуванням променя, оскільки немає механічної інерції як обмеження. Технологія, необхідна для встановлення керованих антен, описана в розділі.

3.3 Сучасні та новітні методи керування космічними апаратами

У цьому розділі представлені пристрої введення керування, новітні та стандартизовані в даний час у космосі щодо керування орієнтацією космічних кораблів, і вже існуючі програми у VR, програмах оптичного зв’язку, штучного інтелекту та програмах моделювання.

3.3.1 Керування за допомогою наземної станції

Наземна станція, Земна станція або Земний термінал - наземна радіостанція, призначена для поза планетного зв'язку з космічними апаратами (що становлять частину наземного сегмента системи космічних апаратів) або прийому радіохвиль від астрономічних радіоджерел. Наземні станції можуть розташовуватися або на Землі, або в її атмосфері. Земні станції зв'язуються з космічними кораблями, передаючи і приймаючи радіохвилі на надвисокій частоті (НВЧ) або надвисокій частоті (КВЧ) діапазони (наприклад, мікрохвилі). Коли наземна станція успішно передає радіохвилі на космічний корабель (або навпаки), вона встановлює телекомунікаційний зв'язок. Основним телекомунікаційним пристроєм наземної станції є параболічна антена.

Для телезв'язку з супутниками - переважно супутниками зв'язку - використовуються спеціалізовані супутникові наземні станції . Інші наземні станції зв'язуються з пілотованими космічними станціями або космічними зондами без екіпажу. Наземна станція, яка в першу чергу отримує дані телеметрії або стежить за космічними місіями або супутниками, що не знаходяться на геостаціонарній орбіті, називається наземною станцією спостереження, космічною станцією спостереження або просто станцією спостереження.

Рис. 3.1 Супутникова антена рівня 1

3.3.2 Оптичні з’єднання між земною станцією та супутниками

В останні роки в була розроблена лазерна технологія для супутникового зв’язку на основі оптичного з’єднання у вільному космосі між земною станцією та супутником. За допомогою таких оптичних з’єднань високі швидкості передачі даних до 1,8 Гбіт/с можуть передаватися на відстань 41 000 км. Системи, які зараз розробляються для наземного зв’язку LEO, призначені для забезпечення швидкості передачі даних до 10 Гбіт/с. Ця технологія в основному використовується для підключення супутників до земної станції за допомогою широкосмугових сигналів, які надсилаються на землю із супутника через різні канали. Технологія успішно працює на орбіті завдяки передачі між двома супутниками або між супутником і наземною станцією. У цій технології Німеччина наразі займає лідируючу позицію в усьому світі.

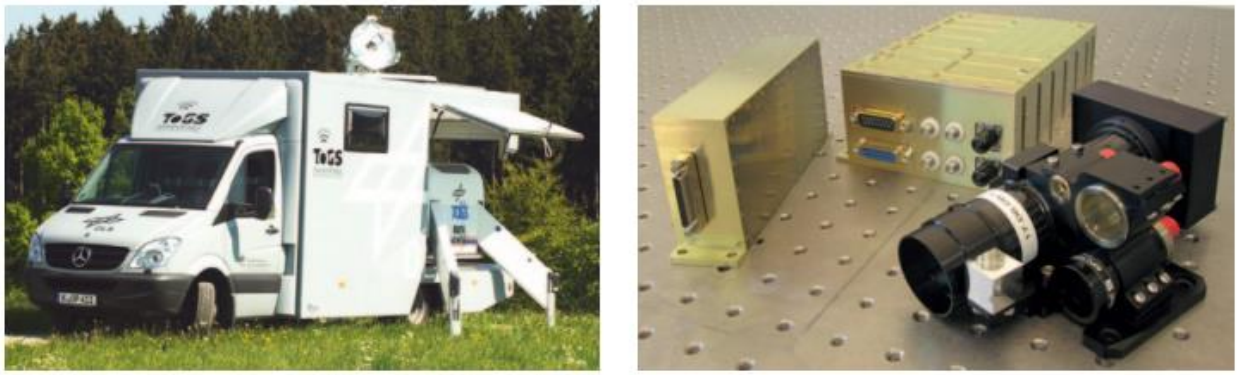

Рис. 3.2 Оптичні наземні та супутникові системи

На рисунку 3.3 детально показана структура такої станції. Оптичний наземний зв’язок LEO пропонує більш високі швидкості передачі, ніж традиційні рішення, і дозволяє проектувати менші та легші системи. Крім того, оптичні системи зв’язку потребують менше електроенергії, не підлягають будь-якому спектральному регулюванню та є захищеними від кранів завдяки своїй сильній фокусу. Тому оптичний наземний зв’язок LEO є хорошим доповненням до існуючих систем з оптичними лазерними зв'язками між супутниками LEO та GEO

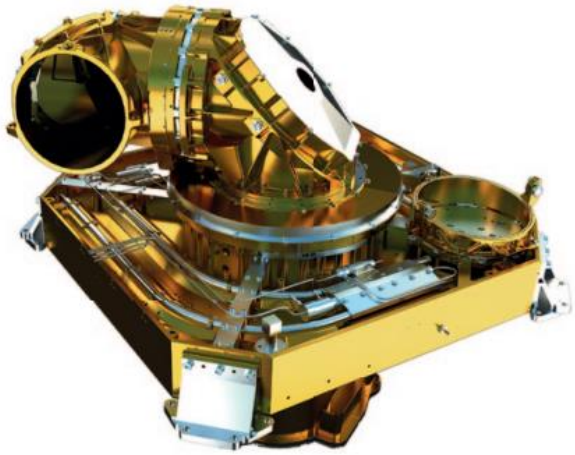

Рис. 3.3 Оптична базова станція для зв’язку земля – супутник

Проблемою для цієї технології є як висока точність, так і швидке вирівнювання лазерних променів, а також той факт, що зв'язок через хмари зазвичай можливий лише в обмеженій мірі. Якщо потрібна дуже висока

доступність, необхідне рознесення оптичних наземних станцій із резервними оптичними наземними станціями, розподіленими по всій Європі або навіть у світі в районах з низькою ймовірністю хмарного покриву (наприклад, у Середземноморському регіоні для Європи). Потрібно 11-12 сайтів, щоб зменшити ймовірність збою посилань значно нижче 0,1%.

3.3.3 Пристрої введення в космічних польотах

Сьогодні аерокосмічна технологія настільки автоматизована, що в більшості випадків більше не потрібне ручне введення від людей, будь то на землі в МСС або на борту космічного корабля. Однак критичні фази, такі як остаточне зближення двох космічних кораблів, все ще контролюються вручну. Система дистанційної маніпуляції космічної станції (SSRMS) використовується для стикування безпілотних космічних кораблів постачання, таких як Dragon V1 від SpaceX, показаного на рисунку 3.5, до МКС. SSRMS, також званий Canadarm2, — це роботизована рука, створена на замовлення Канадського космічного агентства (CSA) і інтегрована в МКС у 2001 році. Максимальна довжина при повному розтягуванні становить 17 м і використовується для точних операцій на близькій відстані.

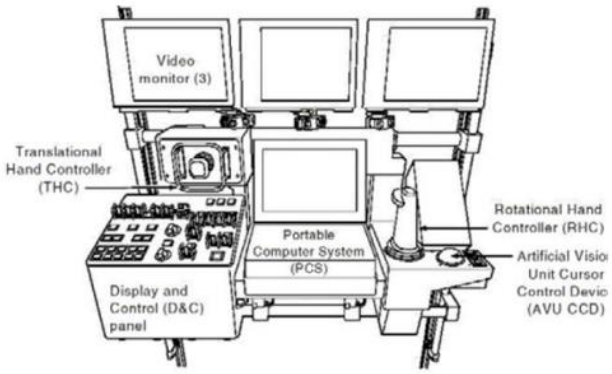

Рис. 3.4 Структура робототехнічної робочої станції

Рис. 3.5 SpaceX Dragon на SSRMS

SSRMS керується або з модульної робочої станції дослідницького модуля МКС, або, для кращого кругового огляду, безпосередньо з купольного модуля, показаного на малюнку 3.6. Пристрій керування сконструйовано так, як показано на схемному малюнку 1-1. Основні пристрої введення складаються з комбінації двох пристроїв введення. Як і у випадку зі стикувальним пристроєм на борту космічного човника, прямокутний контролер зліва відповідає за поступальний рух роботизованої руки. Джойстик з правого боку бере на себе обертання. Користувач також підтримує різні відеозаписи та телеметричні дані на трьох моніторах, підключених до портативної комп’ютерної системи. Взаємодія з комп'ютером здійснюється за допомогою сферичного курсору в правій частині панелі управління, а центральне управління системами здійснюється блоком управління в лівій частині. Robotics Workstation є типовим прикладом управління польотом космічного корабля в космосі. Орбітальне маневрування невикористаного космічного човника НАСА. Таким чином, описана система керування являє собою загальноприйнятий стандарт для маневрування космічних кораблів.

Рис. 3.6: Робототехнічна робоча станція SSRMS в модулі сполучення

3.3.4 Віртуальна реальність у сфері космічної техніки

Віртуальна реальність вже деякий час не є іноземним словом у космічних подорожах і використовується переважно під час навчання космонавтів. Технологія віртуальної реальності зараз використовується на МКС і використовується для тренінгів і повторних тренувань, пов'язаних з EVA. Прикладом може служити правильне використання системи Simplified Aid for EVA Rescue (SAFER), яка запобігає неконтрольованому дрейфу під час виходу в космос у разі обриву лінії безпеки та дозволяє астронавтам повернутися до космічного корабля. Хоча SAFER ніколи не використовувався, все ж необхідно, щоб астронавти завжди знали, як використовувати цю систему в разі надзвичайної ситуації. Власна розробка була замовлена НАСА для використання в космосі, і не використовувалися пристрої, доступні на ринку, оскільки сертифікація такого пристрою для використання в космічних апаратах є тривалим процесом. Система, показана на малюнках, є результатом розробки і є тренажером віртуальної реальності (VRT). Це маска, оснащена VR-оптикою, в якій графічне зображення здійснюється за допомогою вже наявного на МКС ноутбука з програмним

забезпеченням, призначеним для цієї мети. Для роботи ноутбук потрібно лише розмістити на масці VR. Взаємодія з системою VR здійснюється за допомогою прямокутного пристрою, на якому закріплені два джойстика.

Рис. 3.7 маска, оснащена VR-оптикою

VRT був частиною стандартної процедури підготовки для місій EVA США з літа 2013 року і був замінений у квітні 2018 року на більш керовану модель від Oculus. Для виконання програми навчання дані зображення обчислюються на ноутбуці, а потім надсилаються в нові окуляри VR. Це розділення між обробкою даних і візуалізацією покращило ергономіку всієї системи. Паралельно з подальшим розвитком і вдосконаленням технології VR розглядається можливість її використання для управління операціями з обслуговування на орбіті. У рамках проекту «Віртуальна реальність для обслуговування на орбіті» (VR-OOS) DLR досліджує застосування VR для телекерованої космічної місії з початку 2010 року.

На основі вимог щодо обслуговування та ремонту супутників, що вийшли з експлуатації, розроблено систему взаємодії з користувачем із тактильним зворотним зв’язком. Система складається з трьох різних підкомпонентів. Візуалізація досягається за допомогою головного дисплея з функцією відстеження та реалістичною симуляцією. Введення здійснюється за допомогою бімануального інтерфейсу HUG, який також був розроблений DLR. Він складається з двох легких роботизованих рук і має рухливість, подібну до людської руки.

Електродвигуни встановлені на суглобах, що дозволяє імітувати тактильний зворотний зв’язок, який користувач отримав би в реальності, наприклад, при зіткненні з іншим об’єктом. HUG також оснащений різними датчиками та приводами, які дозволяють точно відображати людські руки та забезпечують різноманітний зворотний зв’язок.

Віртуальна реальність і обробка інформації людиною.

Технологія віртуальної реальності створює захоплююче віртуальне середовище, де взаємодія відбувається в реалістичний спосіб за допомогою щоденних рухів. Тому для розробки інтерфейсу людина-машина має сенс мати справу з основами обробки інформації людиною, оскільки для моделювання ідеальної реальності важливо перехопити можливості сприйняття та зв’язати їх за допомогою елементів стимуляції створений у віртуальному середовищі. Люди сприймають навколишнє за допомогою загалом дев’яти почуттів, з яких візуальні, акустичні та тактильні відчуття є найважливішими можливостями сприйняття у зв’язку з сучасною технологією VR. На рисунку 3.8 представлена значно спрощена модель обробки інформації людиною. Через те, що сучасна технологія віртуальної реальності стосується лише трьох із дев’яти варіантів людського сприйняття, решта чуттєвих вражень нехтується в наступному.

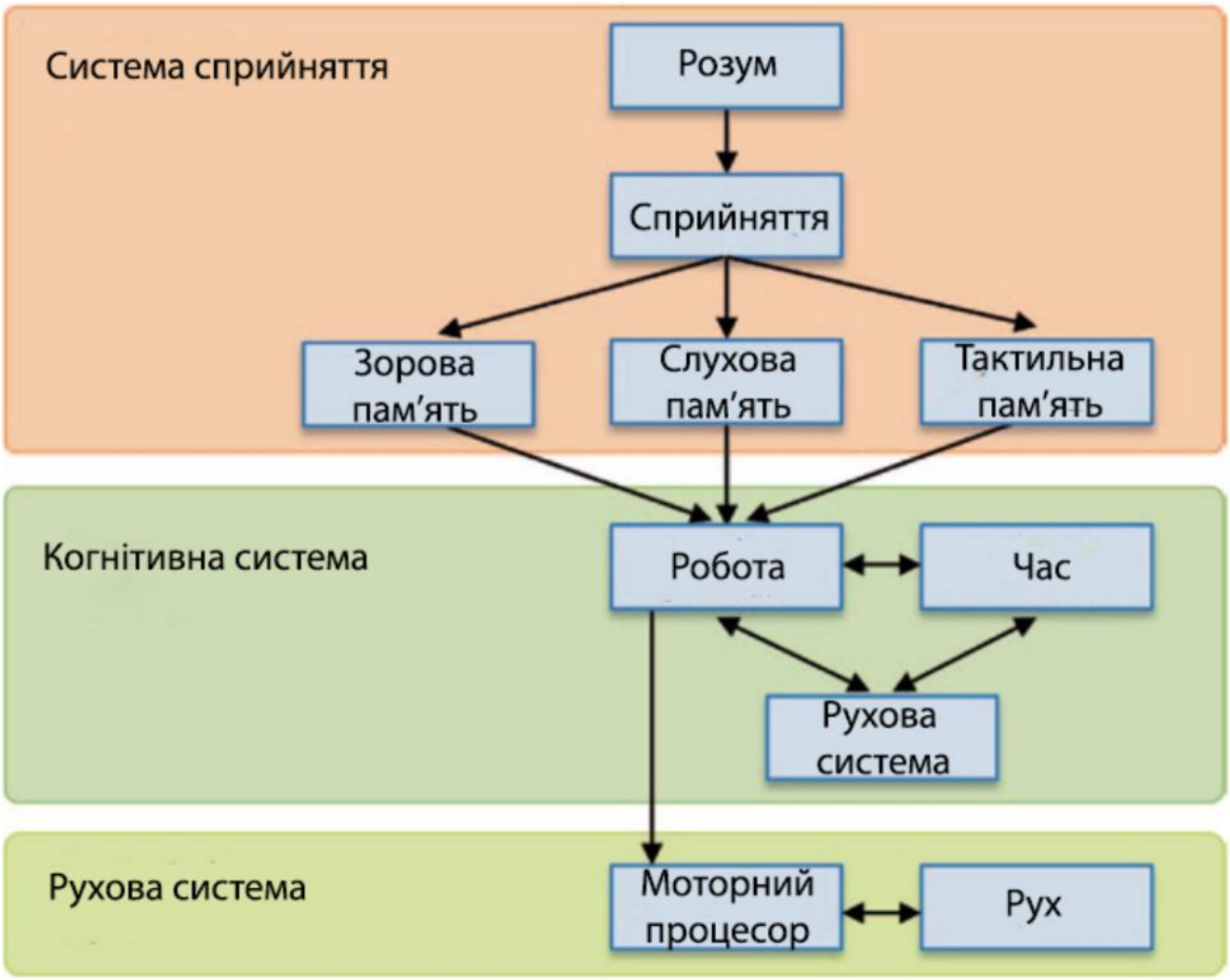

Рис. 3.8 Модель обробки інформації людиною

Обробка інформації людиною проходить загалом через три різні системи обробки від появи стимулу до видачі реакції. На початку ланцюга обробки інформації на першому плані стоїть система сприйняття, в якій зовнішні стимули сприймаються за допомогою трьох розглянутих тут органів чуття. Процедуру сприйняття можна порівняти з технічною системою, в якій датчики використовуються для вимірювання певних параметрів. Датчики представляють органи чуття людини. Вони фіксують різні параметри зовнішньої події, кожен з яких виконує певну функцію. Для подальшої обробки раніше сприйняті сенсорні враження, вони підсумовуються в робочій пам'яті когнітивної системи. Тут можна використовувати довготривалу пам'ять для обробки та інтерпретації сприйнятих подразників і планувати результат. Після обробки когнітивною системою вихід

відбувається за допомогою моторної системи в кінці ланцюга обробки інформації, де ініціюється рух. Для більш детального уявлення про обробку інформації людиною нижче описано три варіанти контрольованого сприйняття.

Окрім програмної реалізації, апаратне забезпечення відіграє вирішальну роль у підтримці занурення у віртуальну реальність. Поточний ринок VR-обладнання варіюється від складних картонних корпусів для відтворення VR-контенту за допомогою смартфона до складних систем із постійним відстеженням пристроїв введення та виведення, таких як Oculus Rift або HTC VIVE. Система VR є спільною розробкою HTC і Valve Corp. і складається з трьох різних компонентів. Система стеження складається з двох станцій стеження, також відомих як Lighthouses, які визначають положення пристроїв введення за допомогою лазерної технології. Він охоплює площу до 4 x 5 метрів, і можна пересуватися по всій території та взаємодіяти з середовищем VR. Це має ту перевагу, що пересування може відбуватися за допомогою природних рухів, а телепортацію потрібно використовувати лише у виняткових випадках. Для підвищення точності та надійності визначення позиції можливе також з’єднання станцій стеження одна з одною за допомогою кабелю для синхронізації. Прямий вхід у середовище VR можливий за допомогою двох контролерів руху. Він входить до комплекту поставки в двох примірниках і є основним пристроєм введення у всій системі. Контролер, має різноманітні параметри введення на ручці з п’ятьма полями введення. Тригер — це елемент на задній панелі контролера VIVE, яким найкраще керувати вказівним пальцем. Її можна порівняти з педаллю газу легкового автомобіля з автоматичною коробкою передач. Як і педаль акселератора, вона має змінну траєкторію відхилення та кнопку в кінці траєкторії відхилення, яка запускає функцію kick-down на педалі акселератора автомобіля. У верхній частині контролера встановлений великий круглий тачпад, який оснащений сенсорною та чутливою до натиску поверхнею. Як і з тригером, таким чином можна зробити змінний вхід і, у поєднанні з його розміром і положенням на передній панелі контролера, він є основним середовищем взаємодії всієї системи. Крім того, на тій же стороні вбудовано дві кнопки, які мають завдання перемикатися безпосередньо

в загальне головне меню або в меню системи VR. Кнопка збоку називається Grip і є кнопкою, яку можна вільно призначати, до якої ергономічно можна дістатися середнім або безіменним пальцем. Через те, що HTC VIVE не розрізняє апаратне забезпечення між лівим і правим контролерами, весь пристрій введення є осесиметричним. Це пояснює, чому кнопка ручки знаходиться як зліва, так і справа від контролера, але їй можна призначити лише одну функцію. Кільце у формі ореолу у верхній частині контролера є важливою областю для відстеження положення, крім того, що воно є унікальним ідентифікатором VIVE. За допомогою датчиків стеження в поглибленнях фіксується точне положення об'єктів, а потім дані передаються для подальшої обробки. Вібраційний двигун, яким можна змінно керувати, розташований під сенсорною панеллю для створення тактильного зворотного зв’язку.

Концепція розширення контролю.

Презентація вхідних понять.

Використання технології VR розширює звичайні концепції введення за допомогою різноманітних нових опцій і нових методів введення. Щоб гарантувати RFC 4 щодо мобільності, неможливо використовувати стаціонарні пристрої введення, такі як 3D-миша, які можна використовувати для надзвичайно точного введення. Тому розробка концепції введення обмежена апаратним забезпеченням взаємодії HTC.

Введення за допомогою аналогового керування.

Перша концепція стосується можливості управління супутником звичайним способом за допомогою кнопок. Користувач взаємодіє з комп’ютером, активуючи команди керування за допомогою попередньо реалізованої клавіатури. Можна як подавати фіксований імпульс на супутник при натисканні кнопки, так і зробити вхід змінним. Змінна конструкція пропонує можливість розділити імпульси сили, що генеруються кожною командою переміщення та обертання, і надати їй характер джойстика. Основна ідея полягає в тому, щоб перенести альтернативні елементи керування з клавіатури, присутні в симуляції простору, на апаратне забезпечення взаємодії з користувачем HTC VIVE. За допомогою тривимірної форми та

розташування контролера руху та кнопок на ньому можна відійти від квазі-двовимірного всесвіту аналогового введення та підвищити реальність. Сенсорна панель на контролері VIVE пропонує ідеальне обладнання для здійснення змінного керування. Круговий диск характеризується за допомогою двох координатних осей і визначає положення, в якому відбувається дотик.

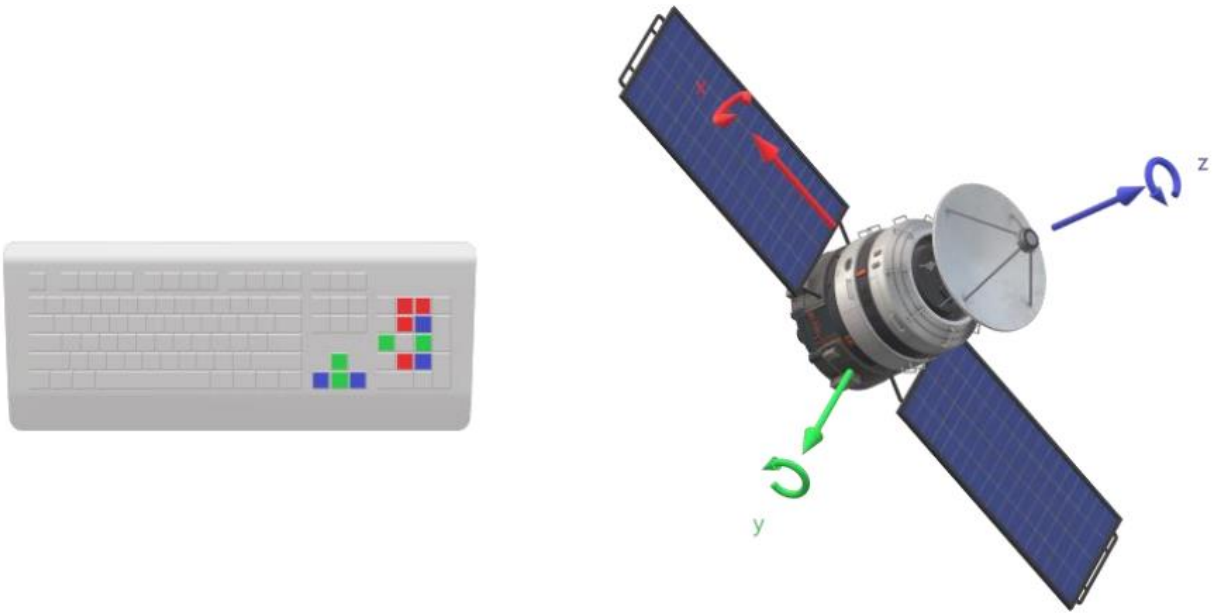

Рис. 3.9 Спосіб керування за допомогою кнопок (справа), та введення за допомогою керування жестами (зліва)

Звичайні пристрої введення, такі як

Три ступені свободи джойстика обмежені лише двома просторовими осями та однією віссю обертання завдяки механіці. Решта координат і напрямки обертання контролюються натисканням різних клавіш. Як наслідок, неможливо інтуїтивно контролювати всі шість ступенів свободи тривимірного простору. У цьому контексті контролер HTC VIVE повністю обходиться без механічного підключення, а дані про положення визначаються за допомогою двох маяків. Це відкриває можливість вводити команди в шести просторових напрямках і шести напрямках обертання повністю без натискання будь-яких кнопок або зміни загальної конфігурації контролера.

Відповідно, переміщення супутника ініціюється переміщенням контролера в потрібному напрямку, а обертання ініціюється поворотом контролера навколо

попередньо визначених осей координат. Система координат може бути визначена змінно в просторі і, таким чином, пропонує нульову точку, яка може бути адаптована до ергономічних потреб оператора за потреби. Завдяки цій концепції керування звичайний двовимірний інтерфейс введення розширюється ще одним виміром і дозволяє користувачеві інтегрувати природні моделі рухів в інтерфейс користувача. Це сприяє інтуїтивності всієї системи введення та запобігає неправильним записам у цьому контексті. Крім того, завдяки своїй простоті та очевидності система також пропонує менш досвідченому оператору швидке та цілеспрямоване втручання в ситуаціях, на які потрібна негайна реакція. Загалом, управління позиціонуванням є модифікацією керування жестами. У цьому випадку введення здійснюється не безпосередньо вручну, а за допомогою ручного контролера.

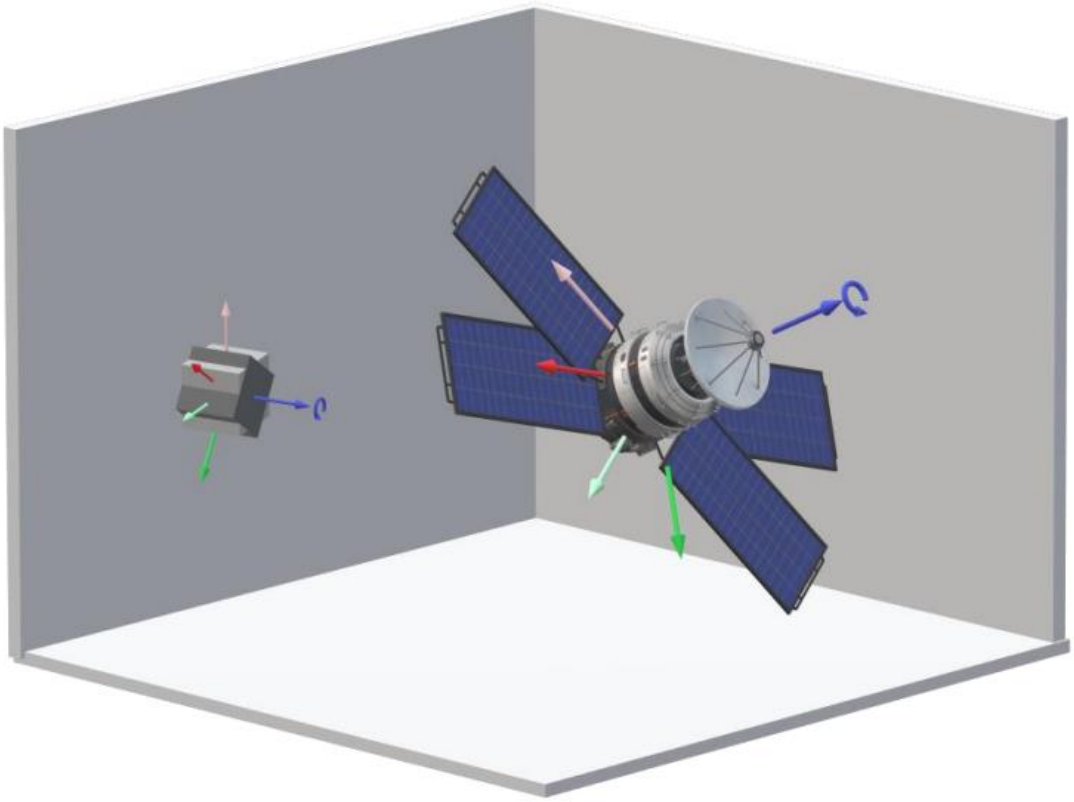

Рис. 3.10 Метод керування за допомогою визначення положення

Щоб мати можливість розробити компонент керування для взаємодії користувача у віртуальній реальності, необхідно розуміти базову функціональність

VR. Для цього необхідно проаналізувати процеси обробки інформації людиною та визначити вимоги до методу керування та інтерфейсу користувача. Перший метод заснований на аналоговому кнопковому управлінні, а введення здійснюється через жорстко закодовані кнопки на контролері HTC VIVE. Другий метод є модифікацією управління жестами і записує зміну положення контролера відносно віртуальної нульової точки для введення команди. Обидва способи управління були реалізовані для управління супутниками-переслідувачами. Було розроблено різні допоміжні системи для підтримки користувача з введенням керування, а всі функції, що відповідають за керування супутником, об’єднані в правильний контролер. Окремими функціями можна керувати безпосередньо через інтерфейс користувача, реалізований на сенсорній панелі. На додаток до керування супутником-переслідувачем, усі компоненти для керування компонентами камери та інші важливі функції, які вже були інтегровані в попередній інтерфейс користувача та призначені для підтримки користувача в навігації в симуляції, були об’єднані в лівий контролер за допомогою розвиненої поверхні взаємодії. Лівий контролер пропонує користувачеві можливість вільно переміщати перспективу камери у віртуальному просторі за допомогою модифікованого керування жестами, щоб покращити огляд загальної ситуації.

3.3.5 Штучний інтелект

Найуспішніші реалізації штучного інтелекту на основі (Deep learning) DL сьогодні рідко використовуються в космічній промисловості, оскільки (статистичні) моделі, розроблені в нейронній мережі, не зчитуються людиною, і досі їх неможливо відтворити.

Штучному інтелекту, і зокрема машинному обігу, ще потрібно пройти певний шлях до його широкого використання в космічних додатках, але ми вже починаємо бачити його впровадження в нові технології. Одна з областей, у якій застосування штучного інтелекту ретельно досліджується, - це робота з супутниками, зокрема для підтримки роботи великих груп супутників, що включає

взаємне позиціонування, зв’язок, управління після завершення терміну служби тощо.

Потенційне застосування штучного інтелекту також ретельно досліджується в супутникових операціях, зокрема для підтримки роботи великих супутникових угруповань, включаючи відносне позиціонування, зв’язок і управління в кінці терміну служби. Крім того, все частіше можна знайти системи машинного навчання, які аналізують величезну кількість даних, які надходять від кожної космічної місії. Дані з деяких марсоходів передаються за допомогою штучного інтелекту (ШІ), і ці марсоходи навіть навчили самостійно орієнтуватися. ШІ також зараз не вистачає надійності та адаптивності, необхідних для нового програмного забезпечення; ці якості потрібно буде покращити, перш ніж він захопить космічну галузь.

Наразі космічним кораблям для виконання своєї роботи потрібно зв’язуватися із Землею, але розробка автономних космічних кораблів, які використовують штучний інтелект, щоб піклуватися про себе, була б дуже корисною для дослідження нових частин Сонячної системи та зменшення витрат на місію. Більш раннє дослідження вимог до автономності майбутніх угруповань космічних кораблів визначило необхідні технології для вдосконалення автоматизації, включаючи автономну навігацію, автоматизований аналіз телеметрії та можливість оновлення програмного забезпечення.

Супутникові ресурси є дорогими, тому вимагають ефективних систем, які включають оптимізацію та розподіл часу. У звичайних супутникових системах ресурси є фіксованими та рівномірно розподіленими по променях. Як наслідок, звичайні великі багатопроменеві супутникові системи показали невідповідність між запропонованими та запитуваними ресурсами; деякі точкові пучки мають більший попит, ніж запропонована потужність, залишаючи попит очікуваним (тобто гарячі точки), тоді як інші представляють попит нижчий за встановлену потужність, залишаючи запропоновану потужність невикористаною (тобто холодні точки). Таким чином, для покращення багатопроменевого супутникового зв’язку

необхідний вбудований гнучкий розподіл супутникових ресурсів у зоні покриття служби для досягнення більш ефективного супутникового зв’язку.

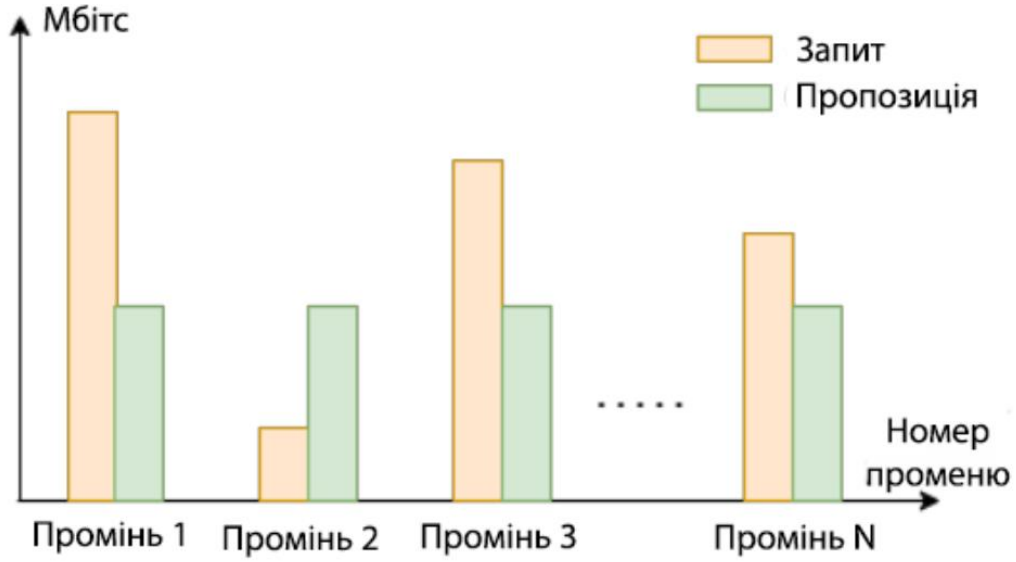

Рис. 3.10 Невідповідність попиту та потужності між променями демонструє обмеження використання фіксованих і рівномірно розподілених ресурсів по всіх променях у багатопроменевій супутниковій системі

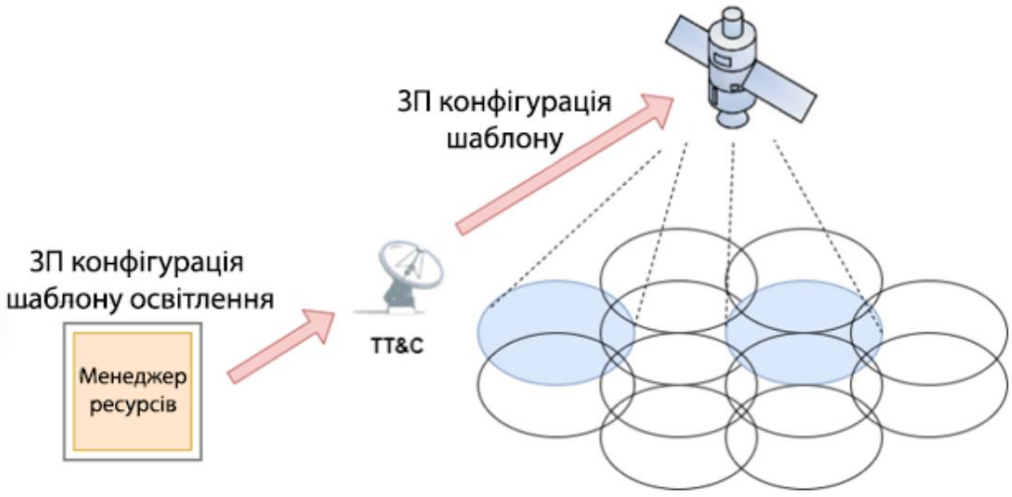

Рис. 3.11 Спрощена архітектура стрибкоподібної зміни променя (ЗП)

Зміна променя (ЗП) з’явилася як багатообіцяюча техніка для досягнення більшої гнучкості в управлінні нерівномірними та змінними запитами трафіку

протягом дня, року та терміну служби супутника в зоні покриття. ЗП передбачає динамічне освітлення кожної комірки невеликою кількістю активних променів, таким чином використовуючи всі доступні бортові супутникові ресурси, щоб запропонувати обслуговування лише підмножині променів. Вибір цієї підмножини залежить від часу і залежить від попиту на трафік, який ґрунтується на шаблоні освітлення ЗП, що залежить від часу та простору. Освітлені промені активні лише достатньо довго, щоб заповнити запит для кожного променя. Таким чином, складне завдання в системах ЗП полягає в тому, щоб вирішити, які промені слід активувати та як довго, тобто шаблон освітлення ВН; ця відповідальність покладена на менеджера ресурсів, який потім передає вибраний шаблон на супутник за допомогою телеметрії, відстеження та команд.

Рішення на основі штучного інтелекту. Прагнучи подолати ці обмеження та підвищити продуктивність ЗП, деякі дослідники запропонували рішення на основі штучного інтелекту. Деякі з цих рішень повністю базуються на підході до навчання, тобто наскрізному навчанні, у якому алгоритм ЗП є алгоритмом навчання. Інші намагалися вдосконалити алгоритми оптимізації, додавши рівень навчання, таким чином поєднуючи навчання та оптимізацію. Щоб оптимізувати затримку передачі та пропускну здатність системи в багатопроменевих супутникових системах, Ху та інші сформулювали оптимізаційну задачу та змоделювали її як марковський процес прийняття рішень (ППП). DRL потім використовується для вирішення дизайну освітлення ЗП та оптимізації довгострокових накопичених винагород. У результаті запропонований алгоритм ЗП на основі може зменшити затримку передачі до 52,2% і збільшити пропускну здатність системи до 11,4% у порівнянні з попередніми алгоритмами.

Прогнозування мережевого трафіку

Прогнозування мережевого трафіку є проактивним підходом, який спрямований на гарантування надійного та високоякісного зв’язку, оскільки передбачуваність трафіку важлива в багатьох супутникових програмах, таких як контроль перевантаження, динамічна маршрутизація, динамічний розподіл каналів, планування мережі. і безпека мережі. Трафік супутникової мережі є

самоподібним і демонструє довгострокову залежність. Тому для досягнення точного прогнозу необхідно враховувати його самоподібність. Однак моделі прогнозування для наземних мереж на основі самоподібності мають високу обчислювальну складність; Оскільки обчислювальні ресурси бортового супутника обмежені, наземні моделі не підходять для супутників. Тому потрібна ефективна конструкція прогнозування трафіку для супутникових мереж.

Управління перешкодами є обов’язковим для операторів супутникового зв’язку, оскільки перешкоди негативно впливають на канал зв’язку, що призводить до зниження якості обслуговування, зниження ефективності роботи та втрати доходу. Більше того, перешкоди є звичайним явищем, яке збільшується зі збільшенням перевантаженості супутникового діапазону частот, оскільки все більше країн запускають супутники та очікується більше застосувань. Зі зростанням кількості користувачів, які використовують один і той самий діапазон частот, можливість створення перешкод зростає, як і ризик навмисного втручання. Таким чином, управління перешкодами є важливим для збереження високоякісних і надійних систем зв'язку; управління включає виявлення, класифікацію та придушення перешкод, а також застосування методів для мінімізації їх появи

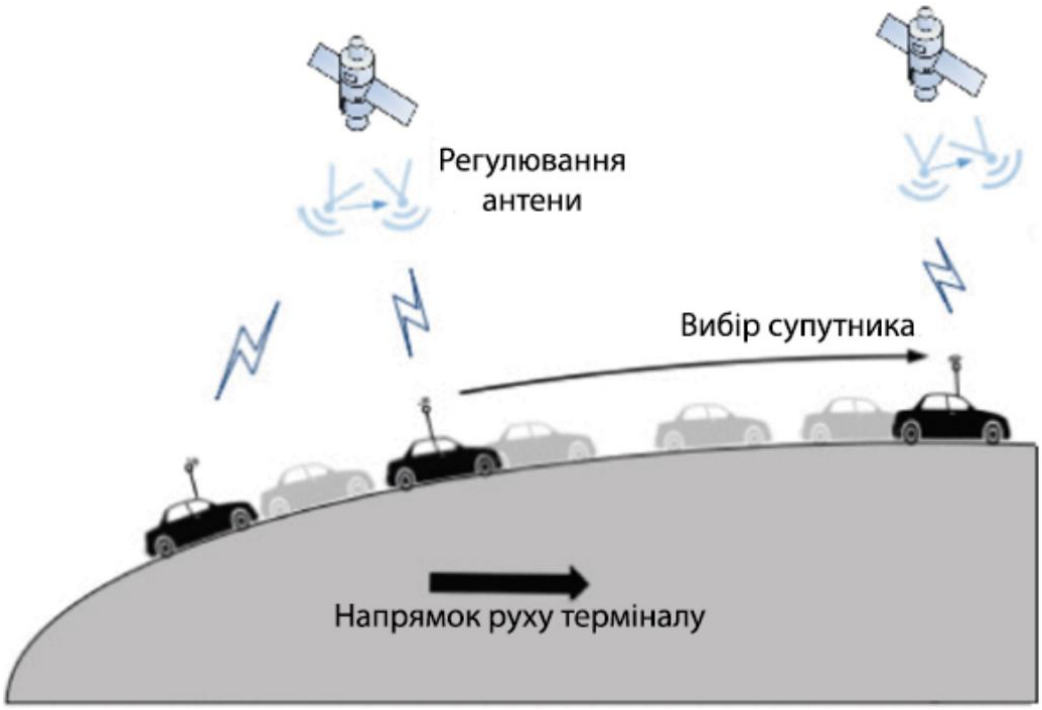

Рис. 3.12 Вибір супутника та налаштування антени

Підхід на основі штучного інтелекту виконує автоматичне виявлення перешкод у реальному часі, засноване на прогнозуванні наступного спектру сигналу, який буде отримано за відсутності аномалії. Тут прогнозовані спектри потім порівнюються з отриманим сигналом за допомогою розробленої метрики для виявлення аномалій. Henarejos запропонували використовувати підходи для виявлення та класифікації перешкод, відповідно. У першому випадку ШІ тренується за допомогою сигналів без перешкод і перевіряється на інші сигнали без перешкод, щоб отримати практичні порогові значення. Потім для виявлення наявності перешкод використовується різниця в похибках у сигналах з перешкодами та без них.

3.4 Проектування космічних апаратів

Під проектуванням розуміють розробку проекту, тобто. документації, яка потрібна на створення у наявних умовах ще існуючого об'єкта, і алгоритму його функціонування. Проект – це інформаційна модель, що містить технічні рішення, розрахунки характеристик і параметрів, схеми, креслення, алгоритми та інші документи.

Проектування починається із визначення проблем. Постійними проблемами проектування є досягнення вищої якості, зниження вартості систем, підвищення ефективності їх застосування. У концепції викладаються цілі проектування. Цілі протилежні проблемам. Якщо виникла проблема, то ціль полягає в тому, щоб її вирішити. Більш глибоке опрацювання цілей залежить від бачення перспективи. Наприклад, мета може полягати у підвищенні якості системи, а й у розширенні ринку, досягненні переваги та ін. При формулюванні цілей слідує те, що мета – це бажаний результат дії. Проблеми, розв'язувані у процесі проектування, мають бути актуальними, тобто. важливими в даний час. Важливим аспектом проектування є його новизна. Новою може бути проблема, метод, результат, технічне рішення тощо. Проектувальник повинен вміти сам знаходити нові проблеми, вирішення яких призводить до підвищення ефективності та якості. Таким чином, проблеми,

цілі, актуальність та новизна є складовими концепції проекту. Концепція проекту містить формулювання проблеми чи проблем, які вирішуються створенням проектованого об'єкта, цілей, що досягаються при застосуванні чи продажу об'єктів, актуальності теми проектування та новизни рішень. Без усвідомлення перерахованих вище питань проектування і створення нового виробу, як правило, недоцільні. Виняток становлять ситуації дефіциту, тобто. випадки, коли якийсь виріб дуже потрібний і його можна створити за старою технологією.

Проектування космічного можна поділити на декілька етапів

1) Балістичне проектування, а саме: побудова та аналіз трас КА, побудова зон та смуг огляду спеціальною апаратурою, визначення зон видимості КА із поверхні Землі, розрахунок параметрів освітленості орбіти розрахунок параметрів сонячно-синхронних орбіт системи електропостачання, масове рівняння системи електропостачання, розрахунок площі сонячних батарей, розрахунок ємності акумуляторних батарей, розробка системи забезпечення необхідного теплового режиму, визначення зовнішніх теплових потоків, що діють на КА, визначення площі теплового радіатора.
2) Розробка бортового комплексу управління. Бортовий комплекс управління (БКУ) КА призначається для керування його бортовими системами, включаючи спеціальну систему. БКУ приймає зовнішні сигнали керування з наземних пристроїв та координує роботу бортових систем, будучи центральним органом управління.

   Найпростіша структура БКУ:

   1 СУБА (система управління бортовою апаратурою).

   1.1. АФУ (антенно-фідерні пристрої).

   1.2. БРК (бортовий радіокомплекс).

   1.3. БУ (блок управління).

   1.4. РТМ (радіотелеметрія).

   2. СО (система орієнтації).

   2.1. ВП (вимірювальні пристрої)

   2.2. БУ (блок управління).

2.3. СВО (система виконавчих органів).

2.4. РТМ (радіотелеметрія).

Система орієнтації управляє рухом КА за його вільному польоті щодо центру мас. Якщо необхідно керувати рухом центру мас і щодо центру мас, то формується система управління рухом

При компонуванні КА важливий принцип поділу компонування компонентів. Поєднання призводить до зниження маси та габаритів КА. Зручний поділ на етапі розробці, знижує витрати під час експлуатації КА. Наприклад, створюється космічна платформа з контейнером систем, що забезпечуються. Приймається попереднє рішення щодо розміщення цільової апаратури в окремому контейнері.

Можлива послідовність формування схеми компоновки КА:

1) вибір форми корпусу (циліндр, усічений конус, паралелепіпед та ін);

2) розрахунок обсягів, площ та габаритів елементів КА;

3) узгодження критерію якості несучого комплексу та КА;

4) зображення зони корисного навантаження (ЗКН) для КА;

5) орієнтація поздовжньої осі КА при польоті (на Землю, по вектору швидкості та ін);

6) орієнтація приладів корисного навантаження КА. Прилади орієнтуються Землю, на зірки, на планети, за вектором швидкості тощо;

7) взаємне розташування платформи КА та його спеціальних систем;

8) узгодження ЗКН з орієнтацією КА під час польоту;

9) розміщення КДУ та СІО;

10) вибір числа та форми крил КА, числа панелей та розташування крил.

11) побудова схеми компонування;

12) зображення схеми компонування КА під обтічником;

13) компонування апаратури ОС;

14) компонування апаратури СС;

15) зображення СК при транспортуванні КА на космодром;

16) розрахунок масово-інерційних показників;

17) формування графа альтернативних БКУ;

18) аналіз альтернативних БКУ та вибір найкращого за прийнятим критерієм.

3) Компоновка КА, а саме: розподіл елементів бортових систем по несучому комплексу КА.

4) Оцінювання проектного рішення, а саме: якість та його показники вартісні характеристики, ефективність, критерії.

Відповідно, саме на другому етапі проектування і вибирається метод управління космічним апаратом.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі проаналізовано сучасні та інноваційні методи управління космічними апаратами, а також досліджено засоби та технології покращення супутникового зв’язку.

Супутникові системи управління, представлені у роботі, є складними технічними системами; їх розробка та виробництво пропонують величезні виклики в області планування, технологій, систем і вимірювальних технологій. Використання цих таких систем буде однією з основних вимог у майбутньому при проектуванні космічних апаратів. Не дивлячись на стан в країні, фінансове положення та інші фактори, в України є можливості, щоб у майбутньому залучитися до цієї сфери та спробувати привнести свої знання та ноу-хау в сферу нових технологій майбутньої технології супутникового зв’язку та систем управління космічними апаратами.

Кожна з наведених систем управління має як позитивні так і негативні сторони, та в основному використовуються для конкретних задач, що унеможливлює зіставлення та порівняння окремих технологій. Серед технологій, що мають схожі задачі в управлінні космічними апаратами можна виділити традиційний супутниковий зв’язок з використанням наземної станції, мобільні точки зв’язку з супутником, а також лазерний зв’язок. Використання лазерних сполучень є одним із інноваційних методів керування, але навіть така провідна технологія має ряд недоліків. На даний момент не існує ідеального методу керування космічними апаратами, тому на сьогоднішній день метод вибирається виходячи з потреб та задач космічного апарату.