ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Олександр ХОВАНСЬКИЙ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Олександр ХОВАНСЬКИЙ

Керівник: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Рецензент: В. Стрельніков

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Хованському Олександру Костянтиновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем»,
керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ, PhD,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Супутникові системи зв'язку.
   2. Методи побудови супутникових систем зв'язку.
   3. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Особливості побудови систем супутникового зв'язку.
   2. Структура та принципи побудови систем супутникового зв'язку відомих провайдерів.
   3. Формулювання пропозицій щодо покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Особливості побудови систем супутникового зв'язку	31.10.23	Викон.
3.	Структура та принципи побудови систем супутникового зв'язку відомих провайдерів	15.11.23	Викон.
4.	Формулювання пропозицій щодо покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ХОВАНСЬКИЙ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 81 стор., 15 рис., 1 табл., 28 дж.

Мета роботи – пошук шляхів покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем.

Об'єкт дослідження - процес обслуговування абонентів супутникових телекомунікаційних систем.

Предмет дослідження – методи підвищення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку.

Короткий зміст роботи: Розділ 1 надає відомості щодо поточного стану сучасних ССЗ, структури системи супутникового зв'язку. Проведений аналіз даних систем та проблеми які виникають.

В розділі 2 проведено аналіз принципів побудови глобальних систем супутникового зв'язку. Показано що системи з апаратами на геостаціонарній орбіті незважаючи на ряд переваг, мають один суттєвий недолік - а саме значну затримка сигналу.

В 3 розділі для впровадження методу покращення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку пропонується застосування наносупутників (НС). Виконано оцінку можливостей забезпечення автономної роботи НС виходячи з енергетичних показників. Розраховано показники якості передачі мови в залежності від затримки сигналу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СУПУТНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, НАНОСУПУТНИК, СУПУТНИК, ГЕОСТАЦІОНАРНА ОРБІТА, ЗАТРИМКА СИГНАЛУ, СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 81 pages, 15 pictures, 1 table, 28 sources.

The purpose of the work - search for ways to improve the operation of satellite telecommunication systems.

Object of research – process of servicing subscribers of satellite telecommunication systems.

Subject of research – methods of improving the quality of service for subscribers of personal satellite communication.

Summary of the work: Chapter 1 provides information on the current state of modern SCS, the structure of the satellite communication system. Analysis of system data and problems that arise.

Chapter 2 analyzes the principles of building global satellite communication systems. It is shown that systems with devices in geostationary orbit, despite a number of advantages, have one significant drawback - namely, significant signal delay.

In Chapter 3, the use of nanosatellites (NS) is proposed for the implementation of a method of improving the quality of service for subscribers of personal satellite communications. An evaluation of the possibilities of ensuring autonomous operation of the emergency power plant based on the energy indicators was carried out. The indicators of the quality of speech transmission are calculated depending on the signal delay.

KEYWORDS: SATELLITE COMMUNICATION, NANOSATELLITE, SATELLITE, GEOSTATIONARY ORBIT, SIGNAL DELAY, SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Хованський О.К. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Хованський Олександр Костянтинович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Хованського Олександра Костянтиновича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Хованський О.К.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Хованського Олександра Костянтиновича

на тему: «Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем»

Актуальність:

Супутникові системи зв'язку відіграють важливу роль у сучасному світі, надаючи послуги зв'язку в усіх куточках земної кулі, включаючи найвіддаленіші і найнедоступніші регіони. Вони є незамінними для таких застосувань, як GPS-навігація, супутникове телебачення та передача даних, надзвичайні ситуації та рятівничі операції, наукові дослідження та багато іншого. Однак, незважаючи на їхню важливість, вони також стикаються з рядом викликів, таких як високі витрати на запуск, обмеження щодо ємності, проблеми з затримкою сигналу та ін. Тому дослідження методів покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем є дуже актуальним для розробки нових підходів, які можуть допомогти вирішити ці проблеми і покращити ефективність супутникового зв'язку.

Позитивні сторони:

Проведені дослідження свідчать про високий науково-технічний рівень використання інформаційних технологій в даному дослідженні.

Робота викладена науковою мовою, логічно й послідовно відбиває мету та поставлені в роботі завдання. Пояснювальна записка відповідає стандартам до її оформлення.

Недоліки:

1. З роботи не зрозуміло чи досліджувались питання недоліків технології ССЗ по захисту від витоку інформації.
2. До рисунку 3.4 потрібно надати розгорнуте пояснення, щодо етапів встановлення з'єднання та проходження сигналів між абонентами.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Хованський Олександр Костянтинович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: PhD В. В. Сирмич

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ 13
1.1 Загальний огляд систем супутникового зв'язку 13
1.2 Основні складові систем супутникового зв'язку 23
1.3 Структура системи супутникового зв'язку 26
1.4 Частоти супутникового зв'язку 28
2 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІДОМИХ ПРОВАЙДЕРІВ 33
2.1 Система супутникового зв'язку Euteltracs 33
2.2 Система супутникового зв'язку Emsat 42
2.3 Система супутникового зв'язку Iridium 44
2.4 Система супутникового зв'язку Globalstar 47
2.5 Система супутникового зв'язку Inmarsat 49
2.6 Система супутникового зв'язку Starlink 51
2.7 Експлуатаційно-технічна складова систем супутникового зв'язку 56
3 ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ 62
3.1 Аналіз систем супутникового зв'язку 62
3.2 Показники якості обслуговування 65
3.3 Метод покращення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку 70
ВИСНОВКИ 77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 78
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

5G	П’яте покоління (генерація) зв’язку
AMPS	Advanced Mobile Phone System - система стільникового рухомого зв'язку
BPSK	Binary Phase Shift Key - двійкова фазова маніпуляція
CDMA	Code Division Multiple Access - множинний доступ з кодовим розподілом
GEO	Geostationary Earth Orbit - геостаціонарна земна орбіта
GPS	Global Positioning System - система глобального позиціонування
GSM	Global System for Mobile Communications - глобальна система мобільного зв'язку
HTS	High-Throughput Satellite - висока пропускна здатність
HEO	Highly Elliptical Orbit - високо еліптична орбіта
QASPR	Qualcomm Automatic Satellite Position Reporting - автоматичне звітування про положення супутника
QoS	Quality Of Service - якість обслуговування
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying - квадратурна фазова маніпуляція
MEO	Medtom Earth Orbit -середня навколоземна орбіта
LEO	Low Earth Orbit - низька навколоземна орбіта
LES	Land Earth Staton – земні станції
LTE	Високошвидкісний мобільний інтернет
NOC	Network Operations Center - центр керування мережею
NMC	Network Management Center - центр керування мережею
MES	Mobile Earth Staton - абонентські рухливі наземні станції
MOS	Mean Opinion Score - середня оцінка думки
RAN	Global Area Network - Глобальна мережа
SatCom	Satellite Communication - супутниковий зв’язок

TDMA	Time Division Multiple Access — множинний доступ з розділом по часу
SCC	Satellite Control Center - центр управління супутниками
SCPC	Single Channel Per Carrier – виділені супутникові канали
VSAT	Very Small Aperture Terminal - мала супутникова земна станція
ССЗ	супутникові системи зв'язку
ЗС	земна станція
УВЧ	ультра високі частоти
ФСЗ	фіксований супутниковий зв’язок
НВЧ	надвисокі частоти
ШСЗ	штучні супутники Землі
МТС	міжміська телефонна станція
КН	корисне навантаження
РСЗ	рухомий супутниковий зв’язок
АЗС	абонентська земна станція
ЦЗС	центральна земна станція
КС	космічна станція
ППРЧ	псевдовипадкова перебудова робочої частоти
HUB	хаб - вузол мережі
БЗС	берегові земні станції
СЗС	стаціонарні земні станції
СЗ	супутниковий зв’язок
ССЗ	системи супутникового зв’язку
НС	наносупутники

ВСТУП

Супутникові системи зв'язку (ССЗ) відомі давно, і використовуються для передачі різних сигналів на протяжні відстані. З моменту своєї появи супутниковий зв'язок стрімко розвивався, і в міру накопичення досвіду, вдосконалення апаратури, розвитку методів передачі сигналів відбувся перехід від окремих ліній супутникового зв'язку до локальних і глобальних систем. Такі темпи розвитку ССЗ пояснюються рядом переваг якими вони володіють. До них, зокрема, відноситься велика пропускна здатність, необмежене перекривання простору, висока якість і надійність каналів зв'язку. Ці переваги, які визначають широкі можливості супутникового зв'язку, роблять її унікальним і ефективним засобом зв'язку.

Використання штучних супутників Землі для організації зв'язку продовжує розширюватися у міру розвитку існуючих мереж зв'язку. Багато країн створюють власні національні мережі супутникового зв'язку. Всі системи можна розділити на системи двох видів: що працюють через супутники на негеостаціонарних і геостаціонарних орбітах. Негеостаціонарні супутники використовуються в основному для військових, наукових і метеорологічних досліджень. Їх головна особливість - неможливість підтримки цілодобового зв'язку з ЗС. Однак, переміщаючись по заданій орбіті відносно поверхні Землі, вони можуть збирати дані з великої площі земної поверхні [1]. Геостаціонарні супутники виводяться на таку орбіту в площині екватора, при якій їх кутова швидкість збігається зі швидкістю обертання Землі навколо своєї осі. Висота над поверхнею Землі, де виконуються умови сталості швидкостей і рівності відцентрової, і гравітаційної сил, становить 36000 кілометрів. Теоретично, один розташований таким чином супутник може забезпечити якісний зв'язок для третини земної поверхні. Насправді обслуговуються території істотно менше.

Особливістю супутників на геостаціонарних орбітах є значна затримка (близько 240 мс) в супутниковому каналі, викликана необхідністю два рази долати відстань в 36000 кілометрів від ЗС до супутника. На даному етапі розвитку сучасні супутникові системи широко використовується при створенні мереж закритого

військового зв'язку з доступом в будь-якій точці, що якраз надає супутникова система, також в інтересах державних та комерційних структур, при організації не комутованих каналів для побудови комп'ютерних мереж на великих територіях (технології VSAT), забезпечують можливість надавати водночас кілька видів послуг за допомогою однієї станції супутникового зв'язку [5]. Але дані системи є більш дорогим ніж інші.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування абонентів супутникових телекомунікаційних систем.

Предмет дослідження – методи підвищення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку.

Мета роботи - пошук шляхів покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем.

Методи дослідження - методи системного аналізу, методи теорії інформації та передавання сигналів, методи теорії розповсюдження електромагнітних хвиль, елементи методів теорії ієрархічних багаторівневих систем.

1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Загальний огляд систем супутникового зв'язку

Супутникові системи – це один з найважливіших досягнень в області космічних технологій, які змінили наше розуміння і використання космосу. Запуск першого штучного супутника, Супутника-1, у 1957 році маркував початок ери супутникової навігації і зв'язку. З тих пір супутникові системи стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя та глобальної інфраструктури.

Перші кроки в розвитку супутникових систем були зроблені під час Холодної війни, коли Сполучені Штати та Радянський Союз змагалися за технологічну перевагу в космосі. Уже у 1957 році Радянський Союз запустив Супутник-1, перший штучний супутник Землі, що викликав світовий резонанс і заснував нову еру в наукових дослідженнях та технологічному прогресі. Пізніше, у 1960 році, США запустили свій перший супутник, Експлорер-1.

У 1960-1970-х роках супутникові системи стали важливим інструментом для досліджень планет і космосу. Наприклад, Супутник-2 Радянського Союзу здійснив перший безпілотний політ до Місяця. Крім того, супутники використовувалися для спостережень за Землею, щоб вивчати клімат, землетруси, пожежі та інші природні явища.

Протягом 1980-1990-х років супутникові системи стали набагато більш доступними і поширеними. GPS (Глобальна система позиціонування) була розроблена Сполученими Штатами і вперше введена в експлуатацію в 1978 році. Ця система забезпечила точне визначення місцезнаходження для цивільних та військових потреб і стала основою для навігації та геодезії.

Супутникові технології стали невід'ємною частиною сучасного світу, забезпечуючи безперервний доступ до інформації, навігацію та комунікацію. Україна, яка володіє значним потенціалом у сфері космічних технологій, розробляє та запускає свої власні супутники, які мають велике значення як для національної, так і для міжнародної спільноти.

Історія розвитку українських супутників розпочалася у 1990-х роках, коли Україна стала незалежною країною після розпаду Радянського Союзу. У 1995 році було створено Державну космічну корпорацію "Космічна агентура "Південне", яка стала основним центром для розробки та виробництва космічних апаратів в Україні. Першим значущим досягненням був запуск українського супутника "Січ-1" у 1995 році. Він був призначений для наукових досліджень у сфері космосу та атмосфери Землі.

Україна також стала учасником програми COSPAS-SARSAT, яка забезпечує пошук та рятування на морі та в повітрі за допомогою супутників. У 2007 році Україна запустила свій перший спеціалізований супутник для системи COSPAS-SARSAT, який був названий "Січ-2".

Одним з найбільших досягнень в українській супутниковій програмі був запуск "Січ-2-30". Цей супутник був створений для спостережень над Землею, зокрема для моніторингу змін клімату та екологічних процесів. Він був запущений у 2018 році та отримав високу оцінку від міжнародної наукової спільноти.

Крім того, Україна активно працює над розвитком своєї космічної програми. У 2020 році було оголошено про створення української національної космічної агентури, яка буде спрямована на подальший розвиток космічних технологій та супутникових систем. У майбутньому Україна планує розробити та запустити свої супутники для навігації, комунікації, спостережень за Землею та інших цілей.

Українські супутники мають велике значення для національної безпеки, економічного розвитку та наукових досліджень. Вони дозволяють Україні бути відомим гравцем на міжнародній арені у сфері космічних технологій. Запуск та ефективна робота українських супутників сприяють розвитку інфраструктури космічної галузі та зміцнюють позиції країни у глобальному космічному співтоваристві.

Українські супутники - це свідчення того, що Україна має потенціал для досягнення великих успіхів у сфері космічних досліджень та технологій. Завдяки постійному розвитку та інноваціям, Україна може продовжувати розширювати свою присутність в космосі і приносити користь як своїй національній економіці,

так і всьому світу.

З початку 21-го століття розвиток супутникових систем набув ще більшого обсягу. Супутники були використані для пошуку ресурсів, спостереження за змінами клімату, розвідки та зближення земельних об'єктів. Комунікаційні супутники забезпечили масовий доступ до інтернету та глобального зв'язку, зменшивши відстань і сприяючи глобалізації.

Сьогодні супутникові системи є необхідною частиною нашого життя. Вони використовуються для навігації, зв'язку, попередження природних катастроф, досліджень космосу та Землі, а також в багатьох інших галузях, включаючи транспорт, сільське господарство, оборону і медицину.

Завдяки постійному розвитку технологій супутникових систем і збільшенню їх кількості та функціональності, ми маємо можливість краще розуміти світ навколо нас і зробити його більш доступним та безпечним місцем для життя. Таким чином, історія розвитку супутникових систем є прикладом того, як наука і технологія можуть впливати на наше життя і сприяти подоланню великих викликів і завдань.

Системи супутникового зв’язку мають цілий ряд переваг: повна незалежність від операторів наземних мереж; стійкі витрати; вартість передачі через супутник по одному з'єднанню не залежить від відстані між передавальною і приймальною ЗС. Більше того, усі супутникові сигнали - широкомовні.

Отже, ССЗ має ряд переваг таких як вартість супутникової передачі, що залишається незмінною незалежно від числа приймаючих ЗС. Висока надійність, яка досягає 99,9%. Мала вірогідність помилки, у зв'язку з тим, що при цифровій супутниковій передачі побітові помилки дуже випадкові, застосовуються ефективні і надійні статистичні схеми їх виявлення і виправлення. Проте є також ряд обмежень у використанні ССЗ: значна затримка; велика відстань від ЗС до супутника на геостаціонарній орбіті призводить до затримки поширення, завдовжки майже в чверть секунди. Ця затримка цілком відчутна при телефонному з'єднанні і робить надзвичайно неефективним використання супутникових каналів при неадаптованій для ССЗ передачі даних [1].

Розміри земної станції доволі сильно впливає на якість сигналу. Украй слабкий на деяких частотах супутниковий сигнал, що доходить до ЗС (особливо для супутників старих поколінь), змушує збільшувати діаметр антени ЗС, ускладнюючи тим самим процедуру розміщення станції [2].

Має місце й інтерференція сигналів тобто, це все, що змінює або пошкоджує інформацію, що переноситься сигналами від передавача за допомоги каналу зв'язку до приймача (наприклад, сонячна інтерференція в супутниковому зв'язку). А от супутникові сигнали, що діють в Ku, - або Ка- смугах частот, украй чутливі до поганої погоди. Супутникові мережі, що діють в смузі частот, сприйнятливі до мікрохвильових сигналів. Інтерференція внаслідок поганої погоди погіршує ефективність передачі в Ku - і Ка- смугах на період від декількох хвилин до декількох годин. Інтерференція в С-смузі обмежує розгортання ЗС в районах проживання з високою концентрацією жителів.

Вплив згаданих переваг і обмежень на вибір супутникових систем для приватних мереж досить вагомий. Рішення про використання ССЗ, а не розподілених наземних мереж, кожного разу необхідно економічно обґрунтувати. Супутникові системи зв'язку широко використовуються у міжнародних мережах зв'язку. Все більший розвиток одержують мережі зв'язку для фірм і підприємств. Часто вони організуються за принципом конференц- зв'язку з використанням на периферії малих станцій, у тому числі рухливих (на літаках, морських судах, поїздах і автомобілях). Все більше значення має застосування каналів супутникового зв'язку, разом з наземними каналами, для організації стільникових мереж.

Переваги цифрової передачі інформації в цифровій формі набуває все більшого і більшого значення для супутникових і інших систем радіозв'язку. Така передача володіє рядом переваг в порівнянні з іншими методами передачі. До них відносяться: простота і ефективність об'єднання багатьох незалежних сигналів і перетворення цифрових повідомлень в «пакети» для зручності комутації (процес з'єднання абонентів комунікаційної мережі через транзитні вузли); відносна нечутливість цифрових каналів до ефекту накопичення спотворень при

ретрансляціях, що зазвичай представляє серйозну проблему в аналогових системах зв'язку; потенційна можливість отримання дуже малої вірогідності помилок передачі і досягнення високої вірності відтворення переданих повідомлень шляхом виявлення і виправлення помилок; негласність зв'язку; гнучкість реалізації цифрової апаратури, що допускає використання мікро- і мініпроцесорів, цифрову комутацію і застосування мікросхем з більшою мірою інтеграції компонентів.

Цифрові передачі повідомлень все ширше застосовуються в супутникових, радіорелейних, кабельних і хвилеводних системах зв'язку. Проте вихідна і відновлена форми інформації, які передаються по цифровій лінії, можуть бути аналоговими (мовний сигнал, сигнал зображення та ін.). Тому аналого-цифровий перетворювач є важливим елементом цифрової системи зв'язку. Більшість сучасних супутникових систем зв'язку працюють в діапазоні НВЧ, що володіє досить широкою смугою частот, необхідною для передачі сигналів з широким спектром. Проте діапазон УВЧ має важливе застосування для систем мобільного зв'язку з відносно малою швидкістю передачі, в яких використовуються слабонаправлені антени.

Розглянемо конфігурацію системи. Вхідні повідомлення можуть надходити на земну станцію цифровому вигляді. Найчастіше зустрічаються: сигнали телетайпу або ущільнені в часі групи сигналів телетайпу; вхідні і вихідні сигнали ЕОМ; сигнали телевізійного зображення або фототелеграфу в цифровій формі і мовні сигнали в цифровій формі.

Перетворення аналогових сигналів в цифрову форму може здійснюватися як на виході джерела сигналу, так і на самій земній станції. Якщо аналого- цифрове "перетворення (аналог/цифра) здійснюється на виході джерела повідомлення, то на станцію повідомлення надходять у вигляді незалежних цифрових потоків. Ці паралельні цифрові потоки від різних джерел зазвичай є квазісинхронними або плезіосинхронними (між собою розрізняються швидкістю дотримання елементів). Вони мають бути перетворені в груповий сигнал із стабільною загальною тактовою частотою. При цьому об'єднання сигналів для узгодження потоків, що розрізняються, застосовуються методи стаффінга елементів або кодових слів.

Формування групового сигналу з високою стабільністю тактової частоти необхідне для ефективної демодуляції сигналів на приймальній стороні [5].

Іноді на наземну станцію надходять групи аналогових сигналів, які ущільнені аналоговими методами. В цьому випадку ці сигнали необхідно розділити між собою, а потім кожний з них перетворити в цифрову форму синхронно з тактовою частотою конкретної земної станції, і отримані в результаті синхронні потоки, згрупувати знову згідно кінцевих земних станцій призначення. Паралельні синхронні потоки надходять далі на цифровий модем, де проводиться модуляція несучого коливання проміжної частоти (70 або 700 МГц). Далі модульоване коливання транспортується по частоті в підвищуючому перетворювачі та передається на супутник. На деяких земних станціях модулюється безпосередньо коливання радіочастоти. Модульовані радіосигнали декількох земних станцій надходять на бортовий супутниковий ретранслятор, який ретранслює сукупність цих сигналів на конкретні земні станції за допомогою бортової антени з глобальною або вузькою діаграмою напрямку. Деякі сигнали повинні ретранслюватися на станцію призначення другим супутником.

Друга ретрансляція організується за допомогою проміжної земної станції де виконується демодуляція та розподіл сигналів, прийнятих від першого супутникового ретранслятора. Призначені для ретрансляції через другий супутник сигнали на проміжній наземній станції об'єднуються з іншими сигналами, які надходять на цю станцію зовні. При цьому може виникнути необхідність в асинхронному (або квазісинхронному) об'єднанні цифрових потоків, оскільки зазвичай опорні частоти, які використовуються при перетворенні сигналів на різних супутникових ретрансляторах, не дуже точно синхронні між собою.

Орбіти систем супутникового зв’язку. Висоти орбіт системи супутникового зв'язку визначаються виходячи з цілого ряду факторів, таких як: близькість радіаційних поясів Ван Алена, характеристики радіосигналу (затримка розповсюдження), розміри обслугованої території та ін [6]. За характером і висотою орбіт, розрізняють 4 типи систем супутникового зв'язку:

- Низькоорбітальні системи (LEO - Low Earth Orbit) - із круговими орбітами

висотою 700-2000 км. Супутник, що знаходиться на низькій орбіті, перебуває в зоні прямої видимості з певної точки земної поверхні лише на протязі 8-12 хв. Тому, для забезпечення неперервного зв'язку, необхідна велика кількість супутників, які взаємодіятимуть за допомогою шлюзових станцій або міжсупутникового зв'язку. Такі системи мають гарні енергетичні характеристики радіоліній. Приклади систем: Globalstar, Iridium, Teledesic, Сигнал, Гонець 2.

- Середньоорбітальні (MEO -Medium Earth Orbit) - із круговими орбітами 10 000 км. Затримка розповсюдження сигналу складає приблизно 130 мс, і дозволяє використовувати такі системи для радіотелефонного зв'язку. INMARSAT (міжнародна організація морського супутникового зв'язку), Odyssey, ISO, Ellipso 3.

- Високоорбітальні чи геостаціонарні (HEO - Highly Elliptical Orbit) - із круговими екваторіальними орбітами висотою близько 40 000 км. При цьому період обертання супутника навколо Землі дорівнює 24 год. Тобто, супутник завжди знаходиться над певною точкою Землі. Перевагою таких систем є можливість покриття всієї земної поверхні невеликою кількістю супутників (від трьох). Основний недолік - великий час розповсюдження радіосигналів (затримка радіосигналу).

Прикладами систем є: INMARSAT (міжнародна організація морського супутникового зв'язку), OmniTRACKS (північноамериканська система для передачі даних і визначення місця розташування), EUTELTRACKS (західноєвропейська з тими ж функціями), Mobilesat (австралійська система для мобільного і фіксованого зв'язку).

- Високоеліптичні (HEO - Highly Elliptical Orbit) - з витягнутими еліптичними орбітами, що мають радіус перигею порядку тисячі кілометрів і радіус апогею порядку одного чи декількох десятків тисяч кілометрів. Приклади систем: Tundra, Molnia.

Зони дії ССЗ.

За зоною дії супутникові системи можна розділити на:

- Глобальні - надають послуги над всією територією Землі. Наприклад: Globalstar, Inmarsat, Iridium.

- Регіональні - надають послуги над обмеженою територією земної поверхні. Наприклад: Thuraya, Space Gate. Зонові - всі земні супутники, які розташовані в межах однієї із зон (району) країни.

- Відомчі земні супутники які належать одному відомству і передають тільки ділову інформацію і дані в інтересах відомства. Вартість створення регіональних систем в 2-5 разів менша, ніж глобальних, за рахунок чого вони є привабливими для інвесторів [3, 7].

Типи ССЗ.

Системи супутникового зв'язку можна також розділити на типи за їхнім призначенням. Так, існує поняття "служба супутникового зв'язку" - уведене регламентом радіозв'язку. Відповідно, виділяють: фіксовані супутникові служби, мобільні супутникові служби, радіомовні супутникові служби.

Процес персоналізації телекомунікацій привів до того, що межі між традиційними службами фіксованого та рухомого зв'язку почали поступово зникати. Єдине, що поки пов'язує портативний термінал і традиційні служби зв'язку — це розподіл частотного ресурсу. Проте і в цьому напрямі відбулися істотні зміни. Запропоновано низку проектів створення мобільних терміналів на вищих частотах, тобто в УВЧ- і НВЧ-діапазонах.

Однією з головних класифікаційних ознак системи космічного радіозв'язку є тип орбіти, по якій рухаються супутники, що входять в систему, з розташованими на їх борту ретрансляторами радіосигналів і антенами.

Розрізняють два основних види навколоземних орбіт: геостаціонарна і негеостаціонарна, які, в свою чергу, поділяються на еліптичні, середньовисотні і низькі кругові. Геостаціонарні орбіти є найбільш популярними при створенні систем супутникового зв'язку. Площина цієї орбіти збігається з площиною екватора, а супутники знаходяться на висоті близько 36 000 км. Період обертання супутника на геостаціонарній орбіті складає 24 години на добу, і для спостерігача на землі він здається нерухомим. Це дозволяє використовувати для зв'язку з супутником високоефективні фіксовані вузьконаправлені антени.

Зона видимості геостаціонарного супутника становить майже третину

поверхні землі, що дозволяє з їх допомогою обслуговувати великі території. Для обслуговування практично всієї земної суші достатньо трьох геостаціонарних супутників (рис. 1.1). Відстань між земними станціями, що працюють через такий супутник, може досягати декількох тисяч кілометрів. Недоліком геостаціонарної орбіти є велика відстань між супутником і земною станцією. У результаті цього відбувається сильне загасання сигналу на лінії земля- космос, що посилює вимоги до чутливості приймачів і вихідної потужності передавачів. Крім того, на таких відстанях стає помітною затримка при поширенні сигналу, що складає близько 0,25 сек при одному стрибку (лінія земля-космос-земля). Розташувавши на геостаціонарній орбіті три супутники, які мають між собою лінії зв'язку, можна з їх допомогою охопити радіозв'язком всю Землю, за винятком територій, що лежать за північним і південним полярними колами.

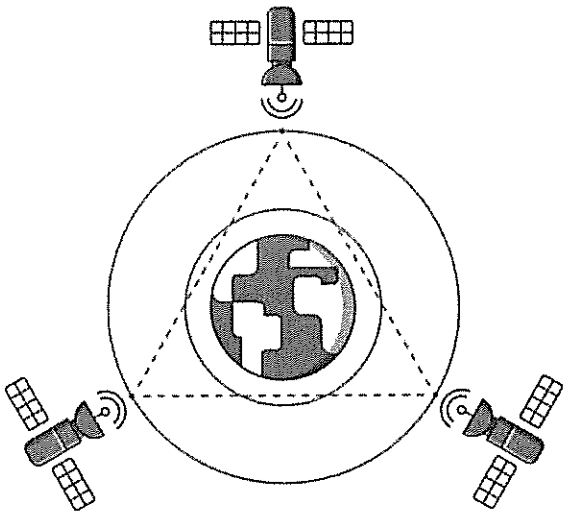


Рис. 1.1. Варіанти розташування трьох супутників на геостаціонарній орбіті

Особливість цієї системи радіозв'язку полягає або у відносно великій потужності радіопередавача наземного користувача через велику довжину радіотрас, або в необхідності високоточного наведення наземної і супутникової антен, що не завжди можливо. Однак, намітилася в останні роки тенденція використовувати на супутниках гостронаправлені, багатопроменеві антени. Це дозволяє вирішувати технічні труднощі, що виникають при створенні систем

радіозв'язку даного класу [4].

При середньовисотних орбітах супутник обертається на відстані 5000 ... 15000 км від поверхні Землі. Тут безперервний радіозв'язок за допомогою одного супутника можна мати тільки протягом 1, 5 ... 2 год. Тому для здійснення безперервного цілодобового зв'язку в систему повинно входити не менше 8-12 супутників.

А при низькій круговій орбіті супутник ще більш наближений до Землі (500 ... 2000 км), перебуваючи в зоні радіовидимості наземного спостерігача тільки протягом 10 ... 15 хв. Тому для реалізації глобального радіозв'язку, тобто охоплення всієї поверхні Землі і здійснення безперервного цілодобового зв'язку, до складу системи повинно входити 48-66 низькоорбітальних супутників. Перевагами такої системи радіозв'язку є знижена потужність радіопередавача (близько 1 Вт) наземного абонента через відносно малі протяжності радіотрас і виключені вимоги по точному наведенню наземної антени на супутник. При цьому, маса всієї радіостанції абонента може не перевищувати 0,5 кг.

У всіх системах для організації глобального радіозв'язку повинна бути вирішена задача не тільки по зв'язку наземного абонента з супутником, але і з обміну інформацією між супутниками. Така ретрансляція сигналу здійснюється або за допомогою міжсупутникових ліній зв'язку, або через спеціальні земні вузлові станції сполучення. Змінився підхід до мобільних систем супутникового зв'язку як до спеціалізованих систем (морських, повітряних, автомобільних і залізничних).

Фактично сучасний мобільний термінал відрізняється лише конструктивним виконанням і інтерфейсом. Можливості сучасного супутникового зв'язку здатні надавати іншу важливу послугу — визначення місцеположення рухомих абонентів, необхідну для супроводу транспортних і вантажних перевезень, відстежування втрачених або вкрадених автомобілів тощо. Одним із найперспективніших напрямів розвитку мобільних системи супутникового зв'язку є їх інтеграція з існуючими стільниковими мережами. Супутникові системи не тільки забезпечать розширення спектру послуг обміну даними радіотелефонної мереж за допомогою дворежимних терміналів, але й дозволять у перспективі розв'язати найгострішу

проблему забезпечення зв'язком малонаселених, віддалених і важкодоступних районів [6].

1.2 Основні складові систем супутникового зв'язку

Відповідно до Регламенту радіозв'язку залежно від призначення ССЗ і типу використовуваних ЗС розрізняють три основні служби супутникового зв'язку: фіксований супутниковий зв'язок (ФСЗ), рухомий супутниковий зв'язок (РСЗ) та радіомовний супутниковий зв'язок (РСЗ). Через низку причин, як технічних, так і історичних, такий розподіл зберігається і до цього дня, хоча і не повністю відображає динаміку розвитку сучасних засобів супутникового зв'язку, які сьогодні йдуть шляхом глобалізації і персоналізації телекомунікацій.

Фіксована служба супутникового зв'язку. Служба ФСЗ призначена для організації зв'язку між стаціонарними користувачами. Спочатку системи ФСЗ використовувалися виключно для організації магістральних ліній зв'язку великої протяжності та зонового зв'язку. Нині ФСЗ на базі терміналів типу VSAT вже застосовується для мереж електронної комерції, для обміну банківською інформацією, мереж оптових баз, торгових складів тощо.

Крім того, розвиток ФСЗ йде у напрямі організації персонального зв'язку і передачі мультимедійної інформації на домашні ПК. Для систем ФСЗ виділені діапазони частот: С (4,6 ГГц), Х (7/8 ГГц), Ku (11/14 ГГц) і Ка (20/30 ГГц). До ФСЗ належать також фідерні лінії, що забезпечують організацію високошвидкісних каналів сигналізації й управління між наземними станціями мережі (ЦС, ВУС, станціями сполучення). Робота фідерних ліній забезпечується, як правило, в тих самих діапазонах частот. Як уже було зазначено, межі між традиційними службами ФСЗ і РСЗ поступово почали зникати. Так, персональні ЗС віддалених користувачів, які працюють в Ku- або Ка-діапазоні, формально належать до класу ФСЗ (робота в смугах частот, виділених для ФСЗ), проте за своїм призначенням і виконуваними функціями вони належать до елементів мобільної системи.

Рухома супутникова служба зв'язку. Системи РСЗ призначені для організації

зв'язку між мобільними об'єктами або між мобільним об'єктом і стаціонарним. Спочатку РСЗ розглядалися як служби спеціального призначення, орієнтовані на організацію морського, повітряного, автомобільного та залізничного супутникового зв'язку. На сьогодні йде процес переорієнтації РСЗ на забезпечення послуг персонального зв'язку. Для систем РСЗ виділені діапазони частот до 1 ГГц, а також смуги частот у L- (1,5/1,6 ГГц) і S- (2,4/2,5 ГГц) діапазонах. У перспективних РСЗ планується робота в інших смугах частот S-діапазону (1,9/2,2 ГГц), Ка- (20/30 ГГц) діапазоні і в НВЧ (40— 50 ГГц).

Радіомовна супутникова служба зв'язку. Служба РСЗ призначена для прийому телевізійних і радіомовних програм. Вона охоплює системи безпосереднього телевізійного мовлення, супутникове телевізійне мовлення і супутникове безпосереднє радіомовлення. Розвиток РСЗ йде в напрямку від аналогових до цифрових систем телебачення і радіомовлення. У телерадіомовленні, де потрібне суцільне покриття обслуговуваних територій, переваги ССЗ перед іншими системами виявляються найбільшою мірою. В результаті переходу на цифрові методи передачі телевізійних сигналів виникла нова послуга — інтерактивне телебачення.

Порівняно недавно зародилася також ідея персоналізації у сфері телемовлення, тобто можливість інтерактивного обміну в процесі телепередач і задоволення індивідуальних запитів за рахунок трансляції по закритих каналах замовлених телепрограм. У цьому разі користувач перетворюється з пасивного споживача мовленнєвої інформації в активного учасника телепрограми. Сьогодні очевидне збільшення кількості програм, яке відбувається у тому числі й за рахунок створення каналів безпосереднього супутникового радіомовлення. Сучасні системи персонального телерадіомовлення будуються на базі супутників GEO [4]. Проте найбільш перспективні ССЗ, які здатні привести до «революції» в інформаційних технологіях — це пряме супутникове мовлення на комп'ютери (Direct PC). Служба Direct PC дозволяє одержувати по супутникових каналах телевізійні зображення (швидкість 30 Мбіт/с) і інформацію з мережі Інтернет (швидкість до 400 кбіт/с) безпосередньо на ПК з апаратурою індивідуального

прийому. Такі послуги, можливо, надаватиме низькоорбітальна система E.Sat, призначена для широкомовної передачі інформації безпосередньо на домашні термінали користувачів (direct-to- bomedata broadcasting). Організація зв'язку в ССЗ може визначатися згідно з методами ретрансляції (безпосередньо між ЗС або через ЦЗС), а також згідно з ієрархічною побудовою (радіальна та радіально-вузлова).

Методи ретрансляції. Віддаленість ретранслятора і відсутність його безпосереднього обслуговування надає ССЗ відповідної специфіки. Найпростішим методом організації зв'язку між земними абонентськими станціями через ретранслятор за принципом «кожний з кожним» (рис. 1.2).

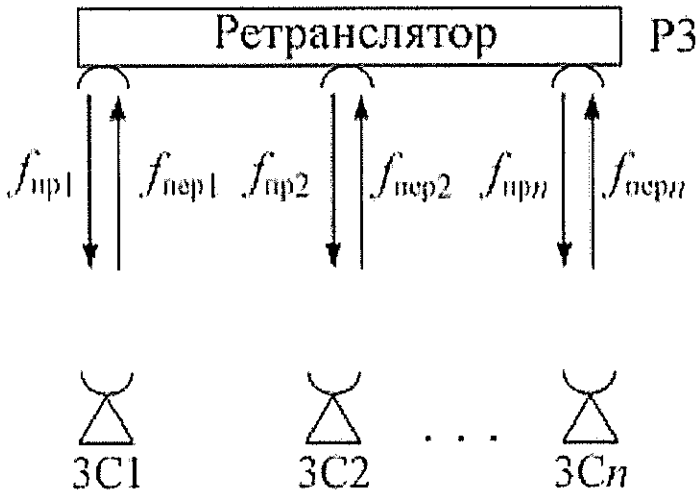


Рис. 1.2. Організація супутникового зв'язку за методом «кожний з кожним»

Такий метод застосовується для тих інформаційних систем, абоненти яких взаємодіють на основі рівноправних паритетних відносин. Проте нерідко в інформаційних системах, як центральна, виступає одна із підсистем, яка виконує координуючі або контролюючі дії. До таких можна віднести центральний банк з його філіями в інших містах, головний офіс з його відділеннями, тощо. В цьому разі для забезпечення контролюючих координуючих функцій виділяється центральна або вузлова станція, через яку відбуваються всі зв'язки інших абонентських земних станцій. Кожна АЗС передає свій груповий сигнал ГрсА на ретранслятор і сума і-х сигналів надходить на ЦЗС (рис. 1.3).

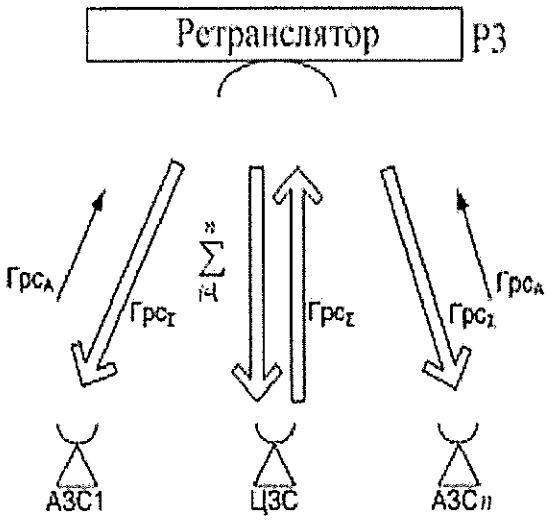


Рис. 1.3. Організація зв'язку абонентських земних станцій (АЗС) через центральну станцію (ЦЗС). Грс — груповий сигнал

Там ці сигнали відповідно оброблюються і з них формується загальний груповий сигнал ГрсЕ, що передається через РЗ на всі АЗС. Кожна з АЗС вибирає свій сигнал, у якому може бути інформація як від ЦЗС, так і від інших АЗС. Така організація зв'язку через ЦЗС може бути корисною також тоді, коли настає необхідність відмовити в доступі тій чи іншій АЗС. Окрім зазначених функцій, організація зв'язку через ЦЗС дозволяє покращити енергетику в лініях до АЗС порівняно з методом безпосереднього зв'язку, оскільки можливості і ресурси ЦЗС зазвичай перевищують можливості АЗС (у ЦЗС більша потужність передавача, більша площа антени тощо).

1.3 Структура системи супутникового зв'язку

У системі супутникового зв'язку можна виділити чотири основні складові:

1) космічний сегмент;

2) сигнальна частина;

3) наземний сегмент;

4) користувацький сегмент (рис. 1.4).

Космічний сегмент охоплює питання щодо проектування і запуску супутників, розрахунку орбіт. Сигнальна частина стосується спектра частот, що використовуються для зменшення впливу відстані на організацію і підтримку зв'язку, визначення джерел інтерференції сигналів, розроблення схем модуляції і протоколів передачі [8]. Наземний сегмент включає розміщення і конструкцію наземних станцій, типи антен, використовуваних для різних додатків, схеми мультиплексування, що забезпечують ефективний доступ до каналів супутників. До користувацького сегменту належить абонентське устаткування. А до системи супутникового зв'язку входить один або кілька супутників ретрансляторів, які утворюють космічний сегмент системи. Розглянемо більш детально, що ж таке супутник. Це пристрій зв'язку, що приймає сигнали від наземної станції, підсилює і ретранслює їх одночасно на всі наземні станції, що знаходяться в зоні видимості супутника. Головними компонентами супутника є: ретранслятор (з приймальними і передавальними антенами); космічна платформа.

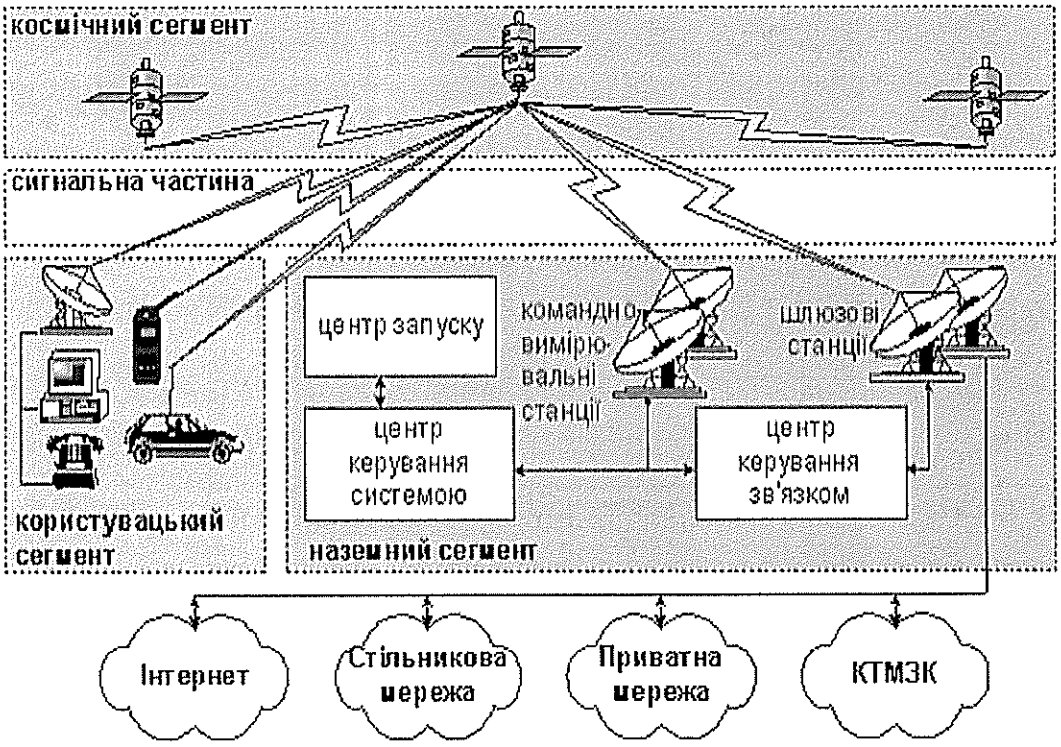


Рис. 1.4. Загальна структура системи супутникового зв'язку

Бортовий ретранслятор приймає сигнали від наземних станцій, підсилює їх і

передає на Землю. За допомогою бортових антен сигнал, що передається супутником, фокусується в один чи кілька променів, чим забезпечується формування необхідної зони обслуговування. Космічна платформа призначена для підтримки функціонування супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення бортового ретранслятора електроживленням і утримання супутника на заданій орбіті. До складу космічної платформи можуть входити: центральний процесор; радіоелектронне обладнання; антенні системи; система орієнтації і стабілізації; двигуни; система електроживлення (акумулятори та сонячні батареї). Розмір і маса супутника обмежені в основному можливостями транспортних засобів (ракет-носіїв), вимогами до сонячних батарей і обсягами палива, необхідними для його життєзабезпечення (зазвичай протягом десяти років). Основними характеристиками супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів (ретрансляторів) чи стовбурів, потужність передавачів у кожному стовбурі, кількість і розміри зон обслуговування. Для зменшення взаємних перешкод передача сигналів із супутника (Downlink) ведеться на частоті, відмінній від частоти передачі сигналів із Землі на супутник (Uplink). Тому ретранслятори супутника мають у своєму складі перетворювачі частоти.

1.4 Частоти супутникового зв'язку

Ширина смуги (bandwidth) супутникового каналу зв'язку характеризує кількість інформації, що він може передати за одиницю часу. Типовий супутниковий приймально-передавальний пристрій має ширину смуги 3,6 МГц на частотах від 4 до 6 МГц. Таких прийомо-передавачів на супутнику встановлюється від 12 до 24, що дає в результаті діапазон частот від 432 до 864 МГц. Сучасні супутникові системи найчастіше застосовують одну з двох смуг: С-смугу (від супутника до наземної станції - близько 6 ГГц і назад - близько 4 ГГц) чи Ku-смугу (відповідно 14 і 12 ГГц) [8]. Ширина будь-якої смуги становить 500 МГц. LEO-супутники використовують інші смуги, що позначаються через L і Ka. L-смуга (15

МГц у діапазоні від 1,5 до 1,6 ГГц) використовується для обслуговування трафіка між супутником і мобільним пристроєм. Ка-смуга (2,5 ГГц у діапазоні від 30 до 120 ГГц) використовується для зв'язку між супутниками, а також між супутником і наземними станціями.

Атмосфера Землі прозора для електромагнітного випромінювання в С- смузі, однак багато наземних мікрохвильових пристроїв генерують сигнал на цих частотах, тому в умовах міста відносно слабкий супутниковий сигнал глушиться. Наземні станції для С-смуги вимагають дорогих і громіздких антен і повинні розміщуватися подалі від міських центрів. Радіохвилі Ku-смуги можна посилати, використовуючи сильний і вузьконаправлений промінь. Це дозволяє використовувати антени невеликого діаметру і різко знижує їхню вартість. Наземні мікрохвильові сигнали ніяким чином не впливають на сигнали Ku-смуги, і наземні станції Ku-смуги можуть бути розміщені в центрах міст. Однак у даному діапазоні частот радіохвилі чутливі до атмосферних явищ.

В наземному сегменті супутникової системи зв'язку можуть виділятися: центр запуску - визначає програму запуску, збірку ракети-носія, передстартові перевірки та випробовування (після запуску супутника керування ним здійснюється центром керування системою); центр керування системою здійснює керування космічним угрупуванням: контроль запуску і точності виведення на задану орбіту; контроль стану супутників; контроль і керування орбітами супутників; виведення супутників зі складу орбітального угрупування (службова інформація може передаватися також через територіально рознесені командно вимірювальні станції); центр керування зв'язком - планує використання ресурсів супутників (здійснює аналіз і контроль зв'язку через національні шлюзові станції).

Шлюзові станції (наземні станції) - до складу системи може входити декілька шлюзових станцій, які можуть встановлюватися незалежно у різних регіонах чи країнах. Наземні станції можуть розрізнятися по видах послуг, що надаються з їхнім використанням, по складу устаткування, а також по належності до того чи іншого стандарту. Серед основних функцій шлюзової станції: організація доступу до супутника із наземних мереж, мультиплексування, модуляція, обробка сигналу

і перетворення частот.

До складу будь-якої наземної станції входить радіочастотне і каналоутворююче устаткування. До радіочастотного устаткування відносяться: антени НВЧ- діапазону для прийому та ретрансляції сигналів; транспондери - прийомо- передавачі. Як правило, ці компоненти поставляються в комплекті. Радіочастотне устаткування повинне відповідати типу обраного супутника і забезпечувати роботу каналоутворюючого устаткування. Каналоутворююче устаткування визначає принципи роботи наземної станції і всієї мережі і працює за певними стандартами (SCPC, DAMA, TDMA, TDM/TDMA). До каналоутворюючого устаткування відносяться пакетні модеми (48 Мбіт/с). Серед інших компонентів технічного забезпечення наземної шлюзової станції слід вказати: ЕОМ - для керування великими потоками інформації (з базою даних персональних терміналів); комутаційне обладнання - для з'єднання з різними наземними системами зв'язку. На сьогоднішній день надзвичайно популярними є наземні станції на основі VSAT-терміналів, які відрізняються невеликими розмірами, легкістю установки та невеликою ціною.

До складу будь-якої ССЗ, незважаючи на їхню відмінність, входить декілька однакових за призначенням елементів: - космічні станції (КС), що являють собою ретрансляційний (приймально - передавальний) пристрій, розміщений на штучному супутнику Землі, з антенами для прийому і передачі радіосигналів та системами забезпечення: джерелами енергопостачання, системами орієнтації антен (на Землю) і сонячних батарей (на Сонце), системами корекції положення ШСЗ на орбіті, терморегулювання і т.д.: - земні станції (ЗС) різного типу [8].

Розглянемо докладніше основні типи ЗС. Приймальні ЗС розподільних систем (систем супутникового мовлення) - найпростіший тип станцій, що здійснюють тільки прийом телевізійних програм і (або) інших циркулярних програм, наприклад звукового мовлення, зображень газетних смуг: зазвичай приймальні ЗС для здешевлення комплектують антеною малого розміру, а кількість таких ЗС у системі велика. Передавальні ЗС системи супутникового мовлення - станції, що здійснюють передачу на ділянці Земля- ШСЗ циркулярних програм, які

підлягають поширенню мережею приймальних станцій; якщо передавальна ЗС знаходиться в межах зони, що обслуговується, і на ній можливий прийом сигналів, випромінюваних ШСЗ цієї системи, то такий прийом звичайно здійснюється для контролю якості мовлення; передавальних станцій у системі може бути кілька приймально-передавальні ЗС, що працюють у мережі дуплексного телефонного зв'язку (у тому числі з можливістю передачі по телефонних каналах чи групам каналів інших видів повідомлень - телеграфних, даних, програм звукового мовлення та ін.), а також у мережі обміну телевізійними програмами: такі станції часто бувають укомплектовані апаратурою, що дозволяє працювати через декілька каналів ШСЗ одночасно.

Нерідко приймально-передавальні станції телефонної системи є також передавальними або приймальними станціями системи мовлення, такими є більшість ЗС «Орбіта». Контрольні ЗС - станції, що контролюють режим роботи ретранслятора космічної станції, дотримання земними станціями мережі важливих для роботи всієї мережі показників - випромінюваної потужності, частоти передачі, поляризації, якості модулюючого сигналу і т.д. Роль контрольних ЗС у підтримці нормальної роботи системи - дуже значна.

Часто функції контрольної станції покладаються на одну з передавальних чи приймально-передавальних станцій мережі. Контрольні і центральні станції мережі як правило мають можливість обміну інформацією зі станціями мережі по спеціально створюваній підсистемі службового зв'язку. Зазвичай вдається утворити цю підсистему через той самий ШСЗ, через який працює основна мережа, але в деяких випадках доводиться використовувати наземні канали службового зв'язку.

Земні станції системи управління і контролю ШСЗ - станції, що здійснюють управління функціонуванням КС і всіма іншими підсистемами ШСЗ, контроль за їхнім станом, виведенням ШСЗ на орбіту при початкових випробуваннях і введенням в експлуатацію КС. З'єднувальні наземні лінії використовуються для з'єднання ЗС із джерелами і споживачами переданої інформації, оскільки ЗС як правило віддалена від них з міркувань зменшення впливу перешкод, кутів закриття антени та ін.

Такими є з'єднувальні лінії від приймально-передавальної ЗС до міжміської телефонної станції (МТС) чи іншого вузла комутації телефонної мережі, від приймальної ЗС до телевізійного передавача, радіомовної станції чи комп'ютерної мережі [5]. Виносне устаткування - та частина устаткування супутникового зв'язку, що розташовується не на станціях супутникового зв'язку, а на інших об'єктах. Тому на МТС можна встановити необхідне для роботи супутникового каналу обладнання ехоподавлення, компресії, каналоутворення і навіть модуляції, вихідні сигнали якого проходять через лінії заземлення (зазвичай це радіореле) [9].

Центр управління системою зв'язку - орган, що здійснює керівництво експлуатацією системи та її розвитком, тобто запровадженням у дію нових ЗС і ШСЗ, розкладом їхньої роботи, наданням каналів споживачам, проведенням ремонтно-профілактичних робіт і та ін. Центр управління як правило з'єднують зі станціями мережі каналами службового зв'язку. Іноді центр управління може з'єднуватися з передавальною станцією системи супутникового мовлення або з контрольною ЗС.

Висновки до розділу 1

Отже, супутниковий зв'язок - це один з видів космічного радіозв'язку, що базується на використанні штучних супутників Землі, на яких змонтовані ретранслятори. Супутниковий зв'язок здійснюється між земними станціями, які можуть бути як стаціонарними, так і мобільними. Оскільки супутниковий зв'язок є радіозв'язком, для передачі через супутник сигнал повинен бути промодульованим. Модуляція відбувається на земній станції. Модульований сигнал переноситься на потрібну частоту, підсилюється та надходить на передавальну антену.

Системи супутникового зв'язку - це системи розроблені для задоволення потреб зв'язку і супутникового доступу в Інтернет в будь-якій точці земної кулі. Однієї з важливих характеристик супутникових систем персонального зв'язку, що впливають на якість зв'язку є затримка сигналу.

2 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІДОМИХ ПРОВАЙДЕРІВ

2.1 Система супутникового зв'язку Euteltracs

Ідея створення вузько спеціалізованої системи супутникового зв'язку, орієнтованої тільки на вирішення задач контролю за вантажоперевезеннями, ще в 1985 р. У той час почалася комерціалізація військових космічних технологій у США, і компанія Qualcomm доклала зусиль до використання в комерційній системі найбільш передових військових технологій, такі як кодовий поділ каналів (CDMA) і псевдовипадкова перебудова робочої частоти (РЧ) у широкій смузі частот (36 МГц).

Для цієї системи була спеціально створена високонадійна антена для стеження Ku діапазону з механічним керуванням. Супутникова система зв'язку і контролю за рухом транспортних засобів Euteltracs (Eutelsat Transport Ranging and Communications Services) була розгорнута трохи пізніше, у 1991 р., і фактично являє собою європейську версію Omnitracs. Архітектура, види послуг, принципи роботи і протоколи обміну даними в обох системах ідентичні.

Основне розходження - у регіонах, що обслуговуються: Omnitracs покриває всю континентальну частину США, а Euteltracs призначена для обслуговування території європейських країн, Північної Африки і Близького Сходу (Рис. 2.1).

Від початку орбітальне угруповання Euteltracs складалося з космічного апарату зв'язку Eutelsat I-F4 (25,56° с.д.) і навігації Eutelsat II-F4 (76° с.д.). Зона обслуговування цієї системи супутникового зв'язку простиралася від Північного Льодовитого океану до Африки, і від Атлантики на всю Європу. Після 17 червня 2000 р., коли почалася комерційна експлуатація супутника SESAT (366° с.д.), зона дії Euteltracs розширилася на Схід і охопила практично всю Азію. До складу системи Euteltracs входять два супутникових ретранслятори (зв'язку і навігації), центральна станція (HUB), Європейський центр мережного керування (NMC), парк мобільних терміналів і диспетчерські пункти автопідприємств і суднових компаній.

Архітектура системи строго централізована. центром керування Euteltracs у Рамбуйє (пригород Парижа).

Центральна станція має дві антени: первинну (зв'язку) і допоміжну (навігації). За допомогою першої передається і приймається весь трафік регіону. Друга служить для передачі сигналу радіомаяка, синхронізованого з інформаційним сигналом.

Центр мережного керування здійснює маршрутизацію інформації, що надходить як від HUB, так і від користувачів системи - компаній-операторів. Саме NMC забезпечує аутентифікацію абонентів, захист від несанкціонованого доступу, автоматичне відновлення інформації про місце розташування рухливих абонентів, а також ідентифікацію повідомлень за допомогою контролю їх номерів у прямому і зворотному каналах.

Центр керування зв'язаний орендованими міжнародними лініями з регіональними або національними сервіс-провайдерами, а до них, у свою чергу, теж через наземні канали підключені диспетчерські пункти автопідприємств або офіси компаній-вантажоперевізників. Устаткування диспетчерських пунктів гранично мінімізовано, у нього не входять дорогі приймачі і передавачі зв'язку.

Щодо технічних можливостей на космічному апараті зв'язку Euteltracs, то у нього передбачено два супутникових ретранслятори з вертикальною лінійною поляризацією. Один з них передає дані зі швидкістю 5-15 кбіт/с від центральної станції до мобільних терміналів (прямий канал), а другий використовується для прийому сигналів (зворотний канал). У прямому каналі реалізований метод тимчасового поділу каналів (TDM), що забезпечує передачу на одній несучій частоті до 25 симплексних каналів зі швидкістю кожного 4,96 кбіт/с (модуляція BPSK) або 14,88 кбіт/с (QPSK). У передавачі використовується метод лінійної частотної модуляції з частотою сканування 33,07 Гц, за допомогою якого спектр вихідного сигналу розширюється по смузі до 2 МГц [9].

Таке рішення не тільки підвищує конфіденційність передачі інформації, але і поліпшує електромагнітну сумісність Euteltracs із системами фіксованого супутникового зв'язку, що працюють у том ж діапазоні частот. Швидкість обміну

даними по зворотному каналу відносно невелика (від 55 до 165 біт/с), що пояснюється необхідністю забезпечення запасу по енергетиці в зонах зі зниженою якістю обслуговування.

Поліпшення умов прийому досягається за рахунок триразового повторення інформаційних символів. У зворотному каналі використана 32- позиційна частотна маніпуляція (32 FSK), при якій потік розбивається на пакети по 5 біт, кожний з яких кодується загортковим кодом (R=1/3, K=7). На виході частотного модулятора ширина сигналу дорівнює 6,35 кГц, а розніс між сусідніми частотами складає 198,4 Гц. У загальній смузі стовбура величиною 36 МГц можна організувати до 90 частотних каналів шириною по 400 кГц кожний, з розносом між сусідніми 400 кГц. Період повторення складає 15,12 мс або 5,04 мс.

Крім того, використовується і більш точна навігація абонента. Кожне передане повідомлення супроводжується двома квитанціями (разом з ними приходять координати абонента й інформація про час одержання повідомлення), що одержує диспетчер. У першій з них, квитанції про доставку, вказуються відомості про те, коли й у якій точці маршруту (обумовленої звичайно з точністю до 100 м) повідомлення надійшло на транспортний засіб.

Друга повідомляє про те, коли повідомлення було прочитано користувачем і де він знаходився в цей момент.

Система забезпечує передачу різних типів повідомлень - індивідуальних, групових і декількох видів системних (аварійних, екстрених, пріоритетних). У надзвичайній ситуації абонент може передати екстрений сигнал (шляхом натискання кнопки тривоги), разом з яким у диспетчерський центр направляються дані про його точне місцезнаходження і час відправлення.

Передача такого сигналу завжди дублюється по «гарячій» лінії зв'язку, що з'єднує центр зв'язку в Рамбуйє з національними постачальниками послуг. Гарантований час доставки складає 2 хв, однак реально понад 90% усіх повідомлень транспортуються не більш ніж за 30 с. Для підвищення оперативності зв'язку водії і диспетчери користуються макроповідомленнями, що зберігаються в енергонезалежному зарядному пристрої (його об’єм розрахований на 63

макроповідомлення).

Кожен індивідуальний користувач і будь-яка група можуть мати власні набори макроповідомлень. Безпека зв'язку для системи Euteltracs досягається характерним забезпеченням високої конфіденційності інформаційного обміну. За кожним транспортним засобом закріплений свій індивідуальний код, і повідомлення одержує тільки адресат. Використання широкосмугових шумоподібних сигналів з рівнем випромінюваної потужності нижче рівня шуму, а також гостронаправлених антен робить перехоплення сигналів украй важкою задачею.

Тому найбільшу заклопотаність у потенційних користувачів Euteltracs викликає обов'язкове транспортування комерційної (по суті) інформації через єдиний центр мережного керування, розташований у Рамбуйє. Є кілька шляхів рішення цієї проблеми.

Оскільки в системі Euteltracs відбувається обмін тільки текстовими повідомленнями, то їх досить просто зашифрувати; застосування індивідуальних кодів і паролів практично виключає можливість перехоплення інформації або посилки помилкового повідомлення на транспортний засіб [9,10].

Правила безпеки системи вимагають, щоб дані передавалися тільки після реєстрації абонента. Реєстраційне повідомлення, що включає в себе обліковий номер користувача і пароль, надходить в центр керування і порівнюється з

реєстраційними даними, що зберігались в абонентському файлі. Після трьох невдалих спроб встановлення зв'язку абонент автоматично відключається, причому всі ці спроби реєструються і їх статистика відслідковується операторами, що обслуговують систему. Прийом повідомлень дозволений лише після ідентифікації користувача.

До міри забезпечення безпеки можна віднести і процедури контролю за часом, що абонент проводить у шляху (відслідковується за допомогою додаткового бортового комп'ютера автомобіля і тахометра). Слід зазначити, що в країнах Європейського союзу ці процедури жорстко регламентуються; порушення регламенту спричиняє значні штрафи й інші покарання, аж до позбавлення

компанії-перевізника ліцензії. На базі системи Euteltracs у диспетчерському пункті можна створити систему контролю за станом транспортного засобу і перевезеного вантажу. Тоді при відхиленні від заданого маршруту або виникненні проблем з перевезеним вантажем, ця система здатна автоматично (або по команді диспетчера) включити сирену й аварійну сигналізацію, примусово обмежити швидкість руху або (у надзвичайній ситуації) блокувати термінал.

Мова та робота з даними.

Використання під час перевезення вантажів режиму текстових повідомлень має ряд переваг у порівнянні з традиційною передачею мови. Крім конфіденційності цей режим автоматично забезпечує документування всієї переданої і прийнятої інформації. Не менш важливий і той факт, що абонент-водій одержує дані про зміни маршруту з точними назвами міст і прикордонних пунктів, що у випадку голосового зв'язку не завжди правильно відтворюються. Передача текстового повідомлення не вимагає обов'язкової присутності абонента або диспетчера в момент передачі (на відміну від голосового зв'язку). Навіть при відключенні термінала воно обов'язково надійде до адресата. На диспетчерському пункті комп'ютер приймає і зберігає всю інформацію, що надходить, але навіть якщо він виключений, ці відомості не пропадають, а зберігаються в іншому пристрої - комп'ютері регіонального оператора. При включенні комп'ютера і встановленні модемного зв'язку з регіональним центром диспетчер одержує всю інформацію, що надійшла для нього. Електронні карти місцевості, на які можуть бути нанесені зображення всіх машин даного господарства, дозволяють йому оперативно відслідковувати маршрути руху автотранспорту. Хотілося б особливо помітити, що така організація зв'язку забезпечує (при необхідності) контроль за транспортними засобами й у неробочий час. Наприклад, його можна здійснювати з домашніх комп'ютерів співробітників автопідприємств або суднових компаній, підключених через модем до телефонної лінії. Найближчим часом у Euteltracs планується впровадити нове програмне забезпечення, що буде підтримувати доступ до системи через Internet [10].

На транспортному засобі встановлюється абонентський комплект, що

складається з трьох базових блоків - зовнішнього (він захищений радіопрозорим ковпаком), внутрішнього модуля зв'язку і клавіатури з дисплеєм. До складу зовнішнього блоку входять антена стеження, з механічним керуванням, вхідні каскади приймача і вихідні каскади передавача. Конструкція зовнішнього блоку дозволяє встановлювати його на будь-яких транспортних засобах і експлуатувати при зміні температури навколишнього середовища від - 30 до +6°С. Сигнал випромінюється гостронаправленою антеною з коефіцієнтом підсилення 19 дБ. Ширина діаграми спрямованості за рівнем 3 дБ складає 66° в азимутальній площині і 50° по куту місця. Рівень бічних пелюсток антени не перевищує 12 дБ щодо коефіцієнта підсилення по осі діаграми спрямованості. Вихідна потужність передавача - 1 Вт. Термінал оснащений зарядним пристроєм для збереження повідомлень. Максимальна довжина кожного з них обмежена 1900 знаками (6 біт на символ ASCII) або, відповідно до максимального об'єму зарядним пристроєм, 1425 байтами.

Мікропроцесори термінала забезпечують усі функції обробки сигналів, входження в зв'язок і демодуляції. Передбачений також режим перевірки працездатності і пошуку несправностей. Блок прийомо-передатчика може розміщатися в будь-якому місці салону автомобіля, тому що керування роботою термінала здійснюється за допомогою клавіатури й вбудованого дисплея. Клавіатура (розкладка QWERTY) має додатково кілька перепрограмованих функціональних клавіш і оснащена засобами індикації часу чекання повідомлення, синхронізації з космічним апаратом і вихідної потужності.

Невелика вихідна потужність і порівняно низьке енергоспоживання (до 35 Вт) термінала дозволяють йому тривалий час працювати від акумуляторних батарей, навіть при виключеному двигуні. Крім того, відразу ж після зупинки двигуна термінал автоматично переключається в енергозберігаючий режим, у якому відбувається його періодичне включення/виключення, завдяки чому зв'язок можна підтримувати протягом декількох діб без ризику «посадити» акумулятор [7]. Мобільний термінал екологічно безпечний. За рівнем випромінюваної їм потужності він схожий із трубками стільникового зв'язку, а ширина його променя

істотно менше, та й спрямований він вгору.

Тарифи.

Відомо, що сервіс супутникового зв'язку не можна назвати дешевим, особливо послуги передачі мови. Транспортування текстових повідомлень трохи вигідніше, тому що користувач платить тільки за об'єм відправленої інформації, а не за увесь час зв'язку. Крім того, на передачу короткого повідомлення витрачається істотно менше ресурсів, чим у випадку використання голосового зв'язку, а застосування в Euteltracs «макросів» (стандартні повідомлення типу бланка) дозволяють ще більше скоротити об'єм трафіка. В останні роки темпи розвитку телекомунікаційних технологій стали настільки стрімкими, а конкуренція такою твердою, що час «життя» практично будь-якої системи мобільного зв'язку, як правило, не перевищує десяти років. Якщо навіть апаратура функціонує надійно, вона застаріває морально і вимагає модернізації або заміни. Європейська система Euteltracs є виключенням. Вона успішно експлуатується на ринку вантажоперевезень, впевнено утримуючи свої позиції. Цією ССЗ користуються ведучі «перевізники» світу, банки і деякі інші споживачі. Її послугами тільки в Німеччині користуються більше 8 тис. транспортних засобів. Обслуговування вантажних перевезень - досить привабливий сегмент ринку супутникового зв'язку, на якому Euteltracs змогла скласти серйозну конкуренцію таким ССЗ, як Argos і Inmarsat-3 [9].

Частоти на яких працює система Euteltracs.

Система Euteltracs працює в Ku-діапазоні частот, виділеному на первинній основі для фіксованої супутникової служби. Передача інформації відбувається в діапазоні 14,0-14,5 ГГц, а прийом - у смузі 10,95-12,75 ГГц, що розділена на три піддіапазони (10,95-11,2, 11,45-11,7 і 12,5-12,75 ГГц). Крок сітки частот дорівнює 1 кГц при точності установки не гірше 100 Гц. Передача сигналів позиціонування (радіомаяка) HUB і їхній прийом після переретрансляції навігаційним космічним апаратом Euteltracs також здійснюються на зазначених частотах. Частотний план системи має трирівневу структуру, що гарантує високу надійність доступу користувачів до системи.

Первинний план складають частоти, на яких встановлюється зв'язок з абонентами, що працюють у штатному режимі. Такі частоти призначаються кожному мобільному терміналові перед початком експлуатації; їх значення разом з персональною адресою абонента зберігаються в енергонезалежній пам'яті.

Вторинний план передбачений для резервування первинних частот, які використовуються при виникненні несправностей в одному з робочих стовбурів ретранслятора.

Частотний план третього рівня задіюється при повному відмовленні супутника; у ньому зазначені ресурси, зарезервовані на іншому космічному апараті. При тому або іншому відмовленні мобільний термінал автоматично переводиться на резервні частоти прямого і зворотного каналів відповідно до вторинного або третинного частотного плану. Значення цих частот періодично розсилається на мобільні термінали з центром керування. Процедура переходу на резервні частоти така. Після включення користувача мобільний термінал починає спробу встановити зв'язок на робочих частотах прямого каналу, зазначених у первинному плані. Якщо протягом встановленого контрольного часу це йому не вдається, то пошук продовжується на резервних частотах, визначених у вторинному або третинному планах.

Визначення місцезнаходження.

Для одержання оперативної інформації про транспортні засоби в системі Euteltracs передбачена процедура автоматичного визначення їх місцезнаходження, що виконується щогодини (додатково - при кожному вимиканні двигуна).

Інформація автоматично заноситься в комп'ютер диспетчера (представляється в табличній формі або відображається безпосередньо на електронній карті). Абонентські термінали використовують один із трьох методів визначення місцезнаходження - незалежне позиціонування від зовнішніх систем (Qualcomm Automatic Satellite Position Reporting, QASPR), застосування систем навігації LORAN-C або GPS. Базовий метод Euteltracs - QASPR. Він заснований на передачі з HUB (через космічний апарат RANGER) немодульованої несучої (виконує роль сигналу радіомаяка) у діапазоні частот 14,0- 14,5 ГГц.

Випромінюваний через допоміжну антену, цей сигнал синхронізований по фазі з інформаційним потоком прямого каналу. У навігаційному космічному апараті він трансформується в діапазон прийому (10,95- 12,75 ГГц) і перевипромінюється з використанням лінійної частотної модуляції, займаючи в ефірі смугу частот шириною 2 МГц. GPS-приймачі застосовуються поза зонами покриття навігаційного космічного апарату. Використання навігаційного приймача LORAN-3 (з додатковою навігаційною антеною) можливо лише в районах дії передавачів LORAN, тобто тільки в Північній Америці. Згідно QASPR, визначення координат об'єкта виробляється тріангуляційним методом (за допомогою космічного апарату зв'язку і навігації, і мобільного термінала).

При цьому інформаційні сигнали передаються центральною станцією через космічний апарат зв'язку, а навігаційні - через інший супутник. До початку сеансу зв'язку мобільний термінал автоматично переорієнтує свою антену на навігаційний супутник. Вбудований у термінал процесор обчислює різницю часу приходу сигналів від двох космічних апаратів (t) і передає її по зворотному каналі на HUB. Визначення місцезнаходження здійснюється по трьох параметрах: (t), загальному часу проходження сигналу (від HUB до абонента і назад) і координатам земної поверхні (по моделі).

В даний час накопичений великий статистичний матеріал, по якому в Euteltracs можна оцінити точність визначення місцезнаходження для різних рельєфів місцевості, широтних районів (від 25 до 70° с.ш.) і значень кутів рознесення (3, 6 і 90). Координати контролювалися шляхом зіставлення обчислених навігаційних даних з параметрами, визначеними за допомогою контрольного GPS-приймача і дрібномасштабної карти [11]. Аналіз даних показує, що основним фактором, що впливає на точність, є кутове рознесення між навігаційним і космічним апаратом зв'язку.

2.2 Система супутникового зв'язку Emsat

Система супутникового зв'язку EMSAT (європейська система мобільного супутникового зв'язку) забезпечує голосовий і факсимільний зв'язок, передачу даних і повідомлень (SMS), визначення координат місця розташування об'єкту (GPS) з точністю до 30м на території всієї зони обслуговування. EMSAT (рис. 3.2) введена в експлуатацію в 1999 році, і складається з одного геостаціонарного супутника Italsat F2 (точка стояння 16,48 с.д.), що забезпечує обслуговування всіх європейських країн, північної частини Африки й Азії. До складу наземного сегмента входить базова станція, розташована в м. Ларіо (Італія, оператор мережі Telespazio), що управляє доступом абонентів до космічного сегменту і забезпечує з'єднання EMSAT з наземними мережами загального користування [13].

Система EMSAT призначена для: голосового зв'язку, прийому й передачі необхідних документів по факсу, не виходячи з автомобіля; диспетчеризації автотранспортних перевезень; своєчасного одержання інформації про стан вантажу, транспортного засобу, а також про стан водія і пасажирів; обміну повідомленнями (SMS) між диспетчером і водієм транспортного засобу; визначення місця розташування транспортного засобу в реальному масштабі часу; передачі сигналу про виникнення надзвичайної екстреної ситуації від транспортного засобу на диспетчерський центр, інший транспортний засіб або на найближчий рятувальний центр. Система ідеально підходить для: автотранспортних підприємств, що здійснюють міжнародні перевезення; туристичних агентств, що мають у своєму складі автобусний парк або катери для прогулянок; компаній, що здійснюють перевезення за допомогою водного транспорту; нафтові й нафтопереробні компанії; різних міністерств і відомств; приватних осіб.

Переваги системи EMSAT: цілодобова готовність; безпека й таємниця зв'язку; якісний голосовий і факсимільний зв'язок; універсальність устаткування системи EMSAT; великий вибір додаткового устаткування; покриття території європейських країн, північної частини Африки й Азії. Базовий комплект системи

EMSAT дозволяє підключатися до міні-АТС або просто встановлюється в офісі (стаціонарний варіант установки), що дає можливість організувати внутрішню мережу зв'язку, при цьому витрати на голосовий і факсимільний зв'язок зменшаться.

Устаткування (Мобільний супутниковий зв'язок). Устаткування виробляється відомою фірмою NEC®, і розроблено спеціально для використання на будь-яких рухомих і стаціонарних об'єктах. До складу базового устаткування входять: - системний блок (прийомо-передатчик, NEC S2) призначений для обробки даних і з'єднання з персональним комп'ютером (ноутбуком), телефоном (радіотелефоном), факсом-апаратом (Group 3 з FEC), терміналом із сенсорним екраном для передачі повідомлень довільної форми (Message Box), а також підключення GPS-приймача; системний блок віброударомiцний і пилевологозахищенний; різні види антен - стаціонарна (ріапаг) або самоналаштовувана антена купольного типу (у морському (тагіпе) або автомобільному (dome) виконанні. Антену вибирають залежно від передбачуваного місця використання пристрою (автомобіль, офіс, яхта й т.д.); - багатофункціональна трубка (системна) з невеликим рідкокристалічним дисплеєм на 30 буквено-цифрових символів, за допомогою якої ініціюються й приймаються телефонні виклики або фіксовані короткі повідомлення (до 40 повідомлень), контролюється поточний стан пристрою (визначається, який рівень сигналу від космічного апарата (супутника), чи вільний абонент, проводиться тестування несправностей і т.д.).

Трубка має певний "інтелект" і здатна зберігати у своїй оперативній пам'яті не тільки номера телефонів і повідомлення, але й параметри установки режимів роботи, паролі для захисту від несанкціонованого використання станції й алгоритми процедур автоматичного самотестування. А також має можливість підключення гучномовця й мікрофона. Термінал (Message Box) призначений для передачі-прийому повідомлень довільної форми між диспетчером і водієм. Повідомлення можна створювати на декількох мовах (українській, англійській). Зручне й просте меню, сенсорний екран - все це створює простоту роботи з

терміналом. Термінал легко монтується в борт панелі невеликих розмірів; - використовуються компактні автомобільні факсиапарати, що дозволяють приймати, відправляти документи на швидкості 4,8 Кбіт/с, (Group 3 з FEC); підключається плата внутрішнього GPS-приймача із зовнішньою антеною для визначення місця розташування об'єкта, і передачею даних на диспетчерський центр; - комплект "Голосний зв'язок" - зовнішній гучномовець і мікрофон [12].

2.3 Система супутникового зв'язку Iridium

Iridium управляє угрупуванням з 66 основних і 6 запасних супутників, розташованих в 6-ти орбітальних площинах з кутом нахилу 86,4 градуса. Орбітальний період становить 100 хвилин 28 секунд, висота орбіти 780 км (485 миль). Кожен супутник покриває зону шириною в 4000 км. У зв'язку з високою швидкістю прольоту супутників (приблизно 1 оборот навколо Землі на годину), сигнал абонента Iridium передається від супутника до супутника, не викликаючи переривання. Наземні станції сполучення пов'язані одночасно як мінімум з двома супутниками з угрупування (рис. 2.1). Використовувані частоти:

1) телефон Iridium - супутник 1616-1626,5 МГц.

2) супутник - телефон Iridium 1616-1626,5 МГц.

3) супутник - супутник 23,18-23,38 ГГц.

4) супутник - наземна станція сполучення 19,4-19,6 ГГц.

5) наземна станція сполучення - супутник 29,1-29,3 ГГц.

Загальні характеристики:

1) Вага супутника - 700 кг (1500 фунтів).

2) Зональні промені - 48 на кожному супутнику.

3) Потужність каналу - 16 ДБ (середня).

4) Термін служби - 5-8 років.

5) Кількість променів, формованих одним супутником: 48.

6) Діаметр променя: близько 50 км.

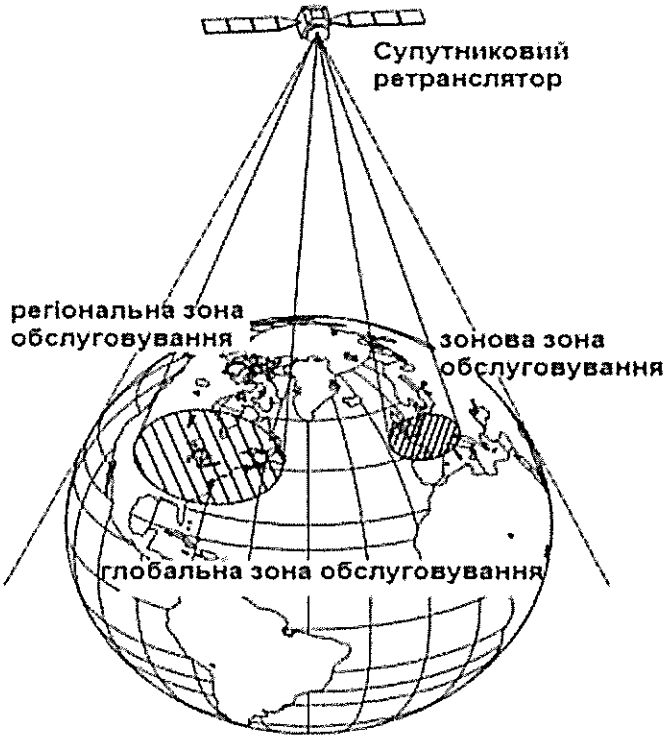


Рис. 2.1. Зони обслуговування супутника

Зв'язок з рухомою станцією здійснюється в діапазоні рухомої супутникової служби, а зі шлюзовими станціями, які здійснюють з'єднання з комутованою мережею загального користування - в діапазоні фіксованої супутникової служби. Зв'язок в напрямках Земля - Космос та Космос - Земля забезпечується в L-діапазоні в смузі 1616... 1625,5 МГц, проте якщо лінія Земля - Космос буде працювати на первинній основі, то лінія Космос - Земля - на вторинній. Фідерні лінії, які забезпечують зв'язок між супутником і станціями з'єднання мережі, а також станціями керування, будуть працювати в смугах частот 19,4.19,6 ГГц на лінії Космос - Земля та 29,1.29,3 ГГц на лінії Земля - Космос. Для маршрутизації викликів передбачений міжсупутниковий зв'язок, який також буде здійснюватися в ВЧ діапазоні в смузі 23,18.23,38 ГГц, який спеціально виділено для супутникового зв'язку [14].

Швидкість передачі мовних повідомлень - 4800 біт/с. Разом з телефонним зв'язком «Iridium» здатен забезпечити передачу даних і факсимільних повідомлень між будь-якими точками планети. Для цього абонентам системи достатньо встановити модем в мовному терміналі. Швидкість передачі даних - 7400 біт/с.

Крім того, система забезпечує передачу повідомлень про координати абонента, які визначаються як пристроями мовного зв'язку, так і спеціальними абонентськими пристроями радіовизначення. Пропускна здатність системи «Iridium» складає 56000 дуплексних телефонних каналів. Система є низькоорбітальною (розташування орбіт показано на рис. 2.2).

Система «Iridium» включає в себе 4 сегмента:

- Космічний сегмент.

- Сегмент керування, який складається з центру управління системи, в який входить обчислювальний центр і станція управління.

- Шлюзові наземні станції, які здійснюють швидкий і ефективний зв'язок з телефонними мережами загального користування.

- Розмовні станції - абонентське обладнання.



Рис. 2.2. Розташування орбіт навколо Землі

2.4 Система супутникового зв'язку Globalstar

Globalstar являє собою консорціум з міжнародних телекомунікаційних компаній, заснований в 1991 році. Система Globalstar розроблена для надання високоякісних супутникових послуг для широкого кола користувачів, що включають: голосовий зв'язок; службу коротких повідомлень; роумінг; - позиціювання; факсимільний зв'язок; передачу даних. Система Globalstar призначена для користувачів стільникових мереж, що роумінгують за межами покриття домашньої мережі, людей, що працюють у віддалених районах, де наземний зв'язок повністю відсутній, жителів населених пунктів з обмеженою ємністю телекомунікаційних мереж для задоволення потреби в телефонії, а також тих, кому необхідний зв'язок під час міжнародних відряджень і подорожей (рис. 2.3).

Супутникове угруповання Globalstar складається з 48 робочих і 4-х запасних супутників, що розташовуються на низькій орбіті, на висоті 1414 км (876 миль) від поверхні Землі. Після повного розгортання всіх наземних станцій з'єднань, угрупування з 48-ми супутників Globalstar буде здатне приймати сигнали з 80% поверхні Землі, тобто практично з будь-якої точки земної кулі за винятком полярних областей і деяких зон центральної частини океанів. Супутники системи прості й надійні [15]. Кожний складається з антени, трапеціеподібного корпуса, двох сонячних панелей і магнітометра.

Загальні характеристики:

Повна вага - 450 кг.

Кількість променів - 16.

Випромінювана потужність-1100 Вт.

Термін служби становить - 7,5 років.

Супутники розосереджені на восьми похилих (52)° орбітах, по 6 на кожній забезпечуючи покриття земної поверхні від 70° півн. ш. до 70° півд.ш.

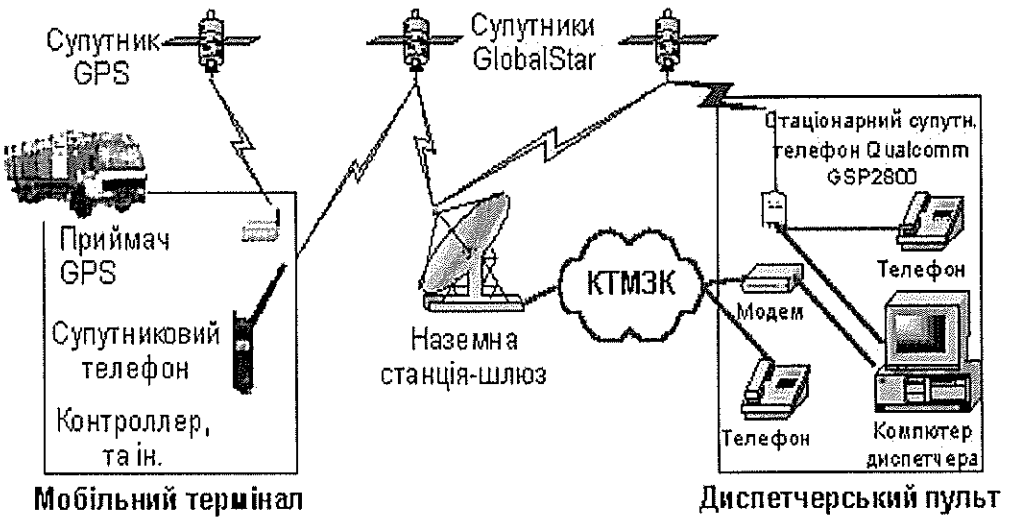


Рис. 2.3. Супутникова система Globalstar

До додаткових переваг використання низькоорбітальних супутників у системі Globalstar ставиться непомітна затримка сигналу і легкі габаритні телефони-трубки, виготовлені за принципом "усе в одному". Супутники працюють по архітектурі "зігнутої труби" ("bent-pipe"). Тобто. приймаючи сигнал абонента, декілька супутників, використовуючи технологію CDMA, одночасно транслюють його на найближчу наземну станцію з'єднання. Наземна станція з'єднання авторизує сигнал і маршрутизує його по наземних мережах до абонента, що викликається.

Стратегічно станції з'єднання в системі Globalstar відіграють ключову роль, тому що дають можливість мати простий і зручний доступ до устаткування, що при необхідності можна модернізувати й міняти залежно від змін у наземних мережах. Саме тому система Globalstar і послуги, які вона надає, прості в керуванні, нарощуваній ємності й модернізації.

Телефони Globalstar. Мобільні супутникові телефони Globalstar забезпечують високоякісний голосовий зв'язок, роумінг і SMS повідомлення, а також, із червня 2000 року, визначення місця розташування й асинхронну передачу факсимільних повідомлень і даних зі швидкістю до 9.6 Кбіт/сек. Вони лише трохи більше існуючих стільникових телефонів і виготовляються трьома провідними виробниками: Ericsson, Qualcomm і TELITAL. Всі телефони є багатомодовими й

дають можливість працювати не тільки в супутниковій мережі Globalstar, але й у стільникових мережах стандартів AMPS, CDMA і GSM. Стаціонарні телефони випускаються на заводах компанії Ericsson та Qualcomm, а таксофони виготовляються компанією Schlumberger. Різноманітні асортименти аксесуарів полегшують користування телефонами в польових умовах, в автомобілі й на судні.

2.5 Система супутникового зв'язку Inmarsat

Супутникова система Inmarsat включає чотири основні частини (рис. 2.4):

1) Космічний сегмент: діючі та запасні супутники з ретрансляторами.

2) Мережа наземних станцій - ЗС (Land Earth Station - LES). Абонентські рухливі наземні станції, або термінали, (Mobile Earth Station - MES).

3) Засоби управління системою: Центр експлуатації мережі (Network Operation Centre - NOC).

4) Центр управління супутниками (Satellite Control Centre - SCC).

Космічний сегмент включає в себе супутники, запущені на геостаціонарну орбіту, висота якої становить близько 35 700 км над екватором. Супутники розташовуються в певних точках над Атлантичним, Індійським і Тихим океанами і забезпечують майже глобальне охоплення поверхні Землі (за винятком приполярних шапок - вище 70° північної широти і нижче 70° південної широти). В даний час функціонують чотири супутники, зони охоплення яких відповідають чотирьом океанським районам: Атлантичний океан/захід, Атлантичний океан/схід, Індійський океан та Тихий океан. Кожен супутник має свою визначену зону покриття чи зону охоплення, у котру входить водяна поверхня і суша, і усередині цієї зони антена рухливої чи фіксованої станції супутникового зв'язку може досить упевнено приймати сигнал від супутника.

Супутники запускаються ракетою-носієм на геостаціонарну орбіту над екватором, на якій швидкість обертання супутника збігається зі швидкістю обертання Землі, і такий супутник здається нерухомим з боку земного спостерігача. Сонячні батареї супутника забезпечують його електроенергією.

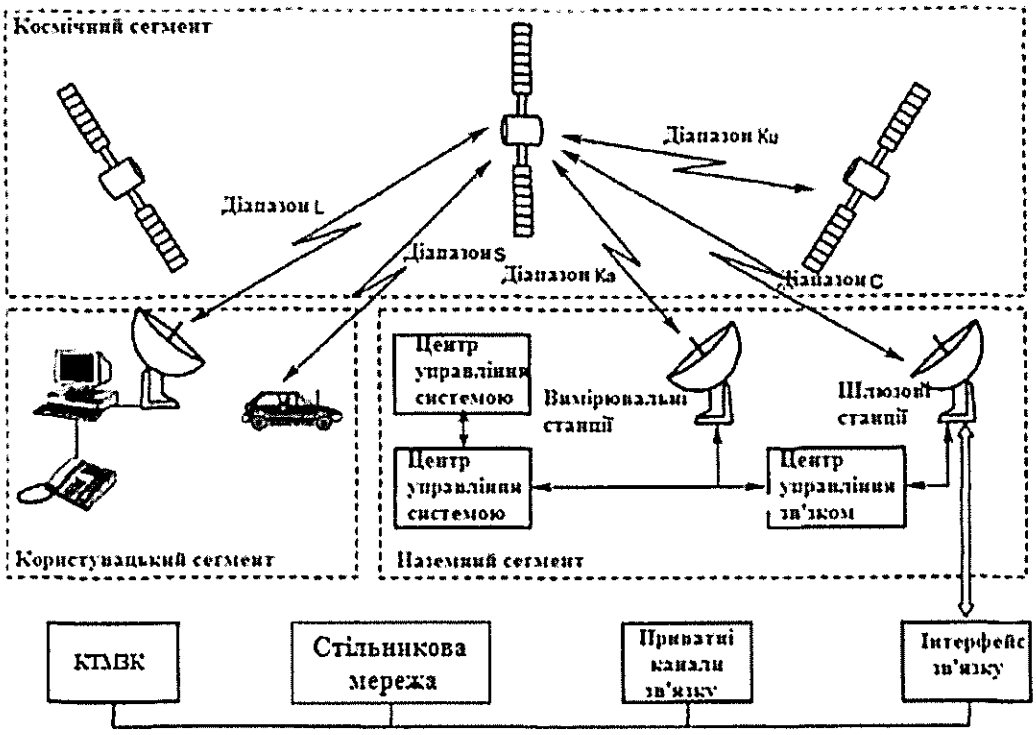


Рис. 2.4. Структура схеми системи стандарту Inmarsat

У системі працюють також запасні супутники, що забезпечують зв'язок у випадку виходу з ладу основного супутника. Наземний сегмент містить у собі глобальну мережу берегових земних станцій (БЗС), станції, що координують роботу БЗС та СЗС мережі у кожному океанському районі, і центра експлуатації мережі [15]. БЗС забезпечують лінію зв'язку між супутником і наземними мережами зв'язку й одночасно можуть надавати кілька каналів для зв'язку зі СЗС.

Зв'язок БЗС із супутником здійснюється через велику параболічну антену з вузькою діаграмою спрямованості. Земні станції зв'язані з береговими комунікаційними мережами, такими, як: міжнародна мережа телекс, телефонні мережі загального користування, мережа цифрових телефонних станцій, Internet. Через БЗС здійснюється зв'язок з рятувально-координаційним центром, а також зі спеціальними службами за допомогою двозначних кодів.

БЗС забезпечують облік часу заняття каналів і оформлення рахунків на оплату послуг зв'язку. У кожнім океанському районі розгорнута координуюча станція мережі, що виконує ряд додаткових функцій, до яких відносяться: -

спостереження за зайнятістю каналів і оперативний їх розподіл по запитах абонентів; - облік усіх терміналів, що знаходяться на зв'язку в будь-який момент часу; - дублюючий прийом та ретрансляція викликів тривоги.

Берегові земні станції забезпечують зв'язок між супутниками і наземними мережами зв'язку, використовуючи діапазон (6425-6443) МГц для передачі сигналів на супутник і діапазон (3600-3623) МГц для прийому сигналів від супутника. Перелік берегових станцій Inmarsat приведений у додатку. Суднові земні станції (Ship Earth Station - SES) - це термінали зв'язку, які установлені на борту судна і призначені для зв'язку з береговими абонентами через супутник і БЗС.

Для роботи в ГМЗЛБ схвалені наступні стандарти супутникових станцій: Inmarsat -A, B, C. Аварійний радіобуй Inmarsat-E може використовуватися замість АРБ КОСПАС-САРСАТ у районі А3. Станції інших стандартів можуть установлюватися додатково для розширення можливостей комерційного зв'язку [17].

2.6 Система супутникового зв'язку Starlink

Starlink – це перша і найбільша у світі мережа супутників, що використовує низьку навколоземну орбіту для надання широкосмугового Інтернету, здатного підтримувати потокове передавання, онлайн-ігри, відеодзвінки тощо.

Використовуючи передові супутники та апаратне обладнання користувачів у поєднанні з нашим глибоким досвідом роботи як із космічними апаратами, так і на орбіті, Starlink забезпечує високошвидкісний Інтернет з низькою затримкою для користувачів у всьому світі.

Більшість послуг супутникового Інтернету надходять з одиничних геостаціонарних супутників, які обертаються навколо планети на відстані 35 786 км. Як наслідок, час передачі даних у зворотному напрямку між користувачем і супутником, також відомий як затримка, є високим, що робить майже неможливим підтримку потокового відтворення, онлайн-ігор, відеодзвінків або інших дій, які передбачають використання великого обсягу даних.

Starlink – це мережа із тисяч супутників, які обертаються навколо планети набагато ближче до Землі, на відстані близько 550 км, і охоплюють всю земну кулю. Оскільки супутники Starlink розташовані на низькій орбіті, затримка значно нижча – біля 25 мс проти 600 мс (рис. 2.5).

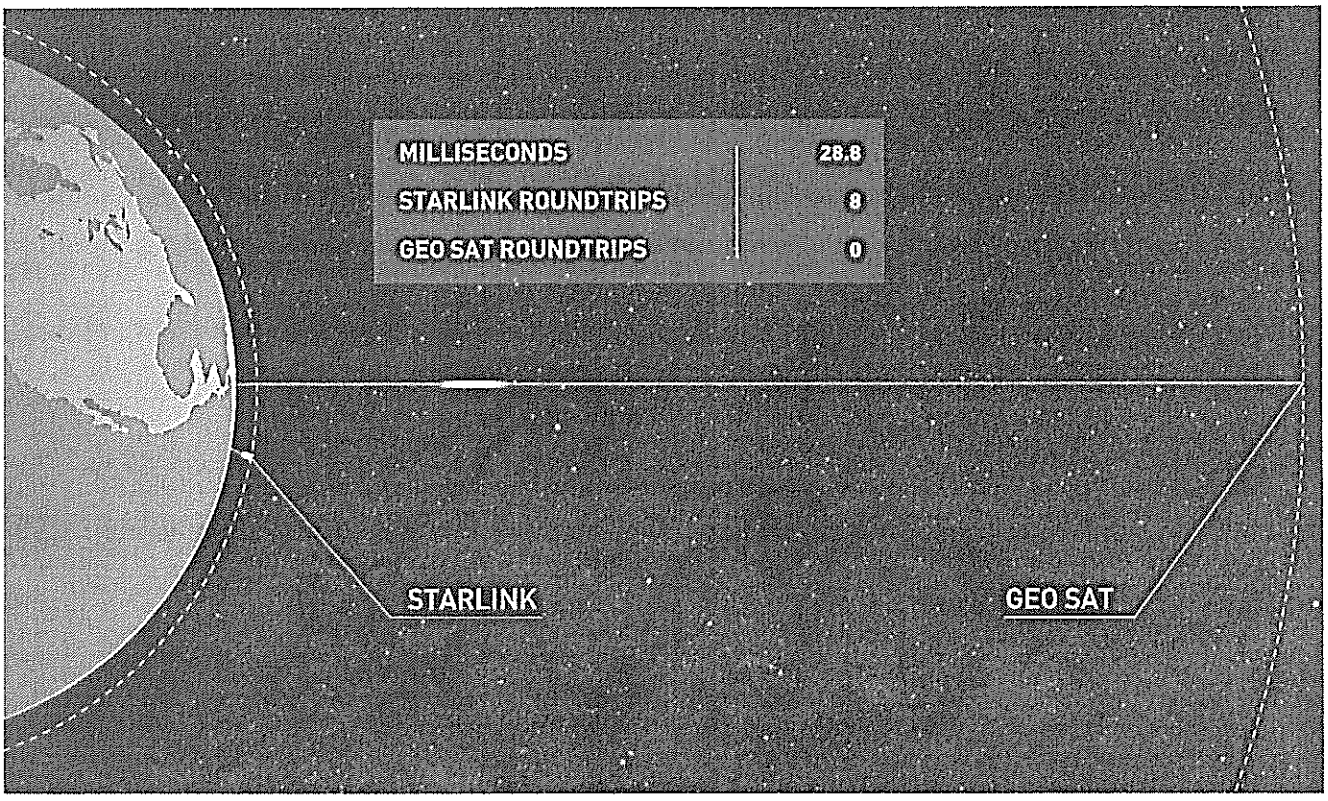


Рис. 2.5. Процес роботи STARLINK

Як провідний постачальник послуг космічного запуску, SpaceX є поки що єдиним супутниковим оператором, який має можливість запускати власні супутники відповідно до потреби. Завдяки частим і маловитратним запускам супутники Starlink постійно оновлюються з урахуванням новітніх технологій.

Starlink – працює над інноваціями для зменшення яскравості супутників та зменшення обсягу сміття на орбіті [16].

Особливості супутників STARLINK (рис. 2.6):

1. Низька маса, компактний розмір: кожен супутник має компактну конструкцію з плоскою панеллю, яка мінімізує об'єм, забезпечуючи щільний стартовий стек, щоб повною мірою скористатися можливостями запуску ракети Falcon 9 від SpaceX.

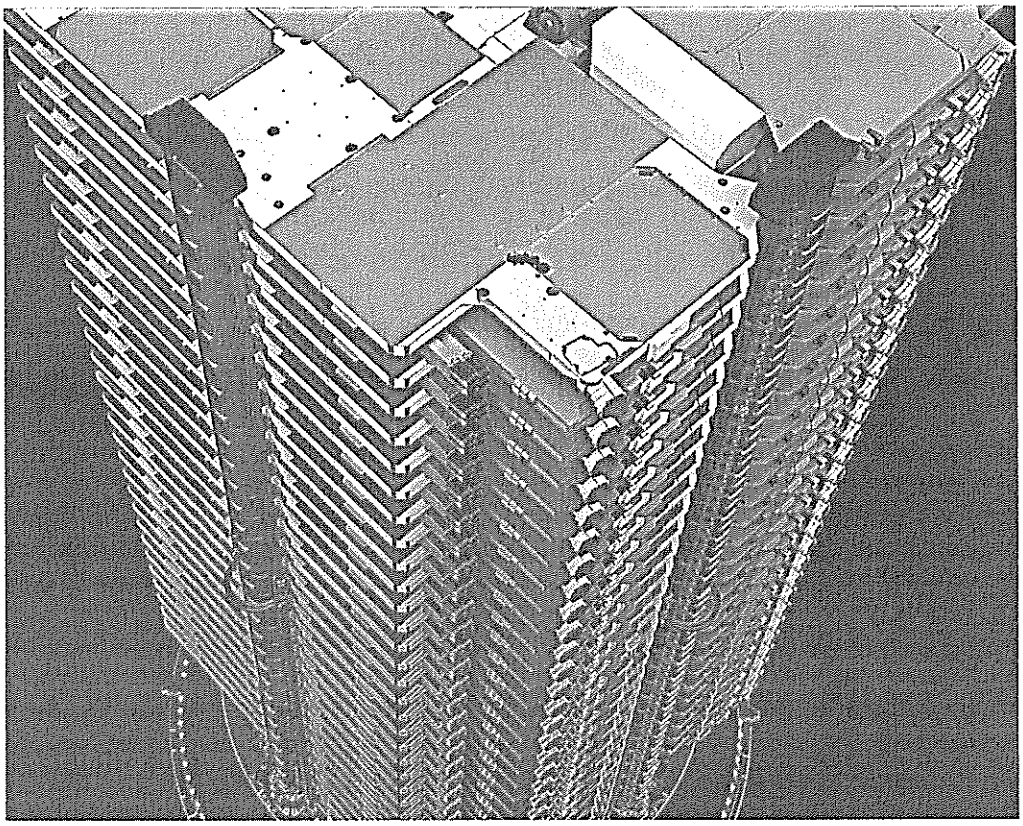


Рис. 2.6. Супутник STARLINK

2. Автономне запобігання зіткненням: супутники Starlink автономно маневрують, щоб уникнути зіткнень з орбітальним сміттям та іншими космічними апаратами. Ця можливість мінімізує фактор людської помилки й забезпечує виняткову надійність, на порядок перевищуючи галузевий стандарт.

3. Зоряний трекер: спеціальні навігаційні датчики Starlink відстежують зірки, щоб визначити розташування, висоту й орієнтацію кожного супутника, забезпечуючи точне розміщення широкосмугової пропускної здатності.

4. Оптичні космічні лазери: Starlink тестує комплексні оптичні космічні лазери (оптичні міжсупутникові лінії зв'язку, або ISL) на своїх супутниках. Вони дозволяють космічному апарату передавати дані без місцевих наземних станцій, забезпечуючи справді глобальне покриття.

5. Антени: кожен супутник Starlink використовує 4 потужні антени з фазованою антенною решіткою та 2 параболічні антени для забезпечення підвищеної пропускної здатності.

6. Іонні рушійні системи: ефективні іонні двигуни, що працюють на

криптоні, дозволяють супутникам Starlink підійматися на орбіту, маневрувати в космосі й залишати орбіту наприкінці свого терміну служби. Starlink – це перший у Всесвіті космічний корабель на **криптоновому двигуні**.

7. Сингулярна сонячна панель: супутники Starlink оснащені сингулярною сонячною панеллю, що значно спрощує роботу системи. Сонячні батареї стандартизовані та легко інтегруються у виробничий процес.

8. Самоорієнтування для самостійного встановлення: Starlink – це перша комерційно доступна антена з фазованою решіткою. У комплекті Starlink є все необхідне для під'єднання до мережі за лічені хвилини. Антена самостійно орієнтується і під'єднується за лічені хвилини за наявності відкритого неба. Starlink може витримувати екстремальний холод, спеку, град, мокрий сніг, сильний дощ, штормовий вітер і навіть дію ракетних двигунів.

Технічні характеристики Starlink (стандартний комплект із приводом)



Рис. 2.7. Термінал STARLINK

1. Застосування: оптимальний вибір для домашнього застосування й повсякденного використання Інтернету (стрімінгові сервіси, програми для відеовикликів, онлайн-ігри тощо).

2. У комплекті Starlink є все необхідне для під'єднання до мережі: термінал

(рис. 2.7) , база, роутер, кабель (15,2 м), кабель змінного струму (1,2 м).

3. Термінал:

Термінал виконаний у мінімалістичному стилі: шнури йдуть у сірому кольорі, роутер чисто білий. У кріпленні передбачені отвори для шурупів, тобто є можливість закріпити антену Starlink на даху або стіні будинку. Антена під час сильних вітрів виконуватиме ефект вітрила, але качати її буде все одно, хоч конструкція досить стійка.

- Антена - електронна фазована антенна решітка
- Орієнтація - моторизоване самоорієнтування
- Екологічний рейтинг - IP54
- Можливість топлення снігу - до 40 мм/год
- Робоча температура - від -30 °C до 50 °C
- Поле зору - 100°
- Середнє споживання енергії - 50–75 Вт

4. WI-FI-роутер Starlink:

- Технологія Wi-Fi - стандарти IEEE 802.11a/b/g/n/ac
- Покоління - Wi-Fi 5
- Радіочастоти - двосмуговий діапазон – 3 x 3 MIMO
- Безпека - WPA2
- Екологічний рейтинг - IP54, для використання у приміщеннях
- Діапазон - до 185 м²
- Робоча температура - від -30 °C до 50 °C
- Mesh - сумісний із 3 mesh-вузлами Starlink
- Адаптер Ethernet - доступно клієнтам у магазині

Starlink не безшумний і трохи нагріватиметься під час роботи. За рахунок примусового нагріву зайвий сніг швидко зникає і сигнал працюватиме, як і повинен. Завдяки IP54 захист від води та пилу, ніякі погодні умови не зіпсують зовнішнього вигляду продукту.

Головна вимога роботи системи - це відкритий простір і відсутність різних

перешкод таких як високі будівлі чи інші споруди. Встановивши антену на відкритому просторі і підключивши до електричної мережі, Вам лишається встановити додаток від Starlink (для IOS чи Android систем) який сам визначить і налаштує антену в оптимальне положення.

2.7 Експлуатаційно-технічна складова систем супутникового зв'язку

Основні показники земних станцій. Діапазони частот та прийом і передачу, та роботу в яких розраховане устаткування станції - антена, прийомна і передавальна апаратура. Більшість ЗС ФСС працює в діапазонах 4 або 11 ГГц та прийом 6 або 14 ГГц та передачу.

Добротність станції та прийом G/T - відношення посилення антени (у децибелах та частоті прийому) до сумарної шумової температури станції (у децибелах відносно 1 К); досягає 42 дБ/К для найбільших застосовуваних та практиці антен (діаметром 32 м), складає 20...31,7 дБ/К для ЗС більшості національних і регіональних систем [18].

Еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність (ЕІВП) - добуток потужності передавача та посилення антени (у смузі передачі) щодо ізотропної антени: як правило знаходиться в межах 50...95 дБВт. Для спрощеного розрахунку перешкод, створюваних іншим мережам зв'язку, часто вказують максимальну спектральну щільність випромінюваної ЗС ЕІВП (Вт/Гц), хоча точний розрахунок перехресних перешкод вимагає знання структури застосовуваних у системі сигналів.

Діаметр антени впливає на розміри і вартість ЗС. Він визначає добротність і ЕІВП станції, а також її просторову вибірковість: якщо в системі використовується поділ сигналів за поляризацією, необхідно знати кросполяризаційні характеристики антени і вказувати, з якою поляризацією станція працює на передачу і на прийом. На ЗС телефонного обміну застосовують антени діаметром від 1.5...2, 5 м до 12 м, іноді до 32 м, на ЗС прийому циркулярної інформації від 0,45

до 2.5... 4 м.

Антена характеризується також показниками опорно-поворотного пристрою і всієї системи наведення антени на ШСЗ. Розрізняють антени повноповоротні, здатні направлятися в будь-яку точку небосхилу, і неповноповоротні, що мають обмежену область оперативного наведення на джерело сигналу. Системи наведення антен характеризуються також можливою швидкістю і прискоренням кутового переміщення. В останні роки все частіше застосовують неповноповоротні, що повільно рухаються і нерухомі антени, придатні для роботи тільки з геостаціонарними ШСЗ.

Основні показники космічних станцій. В основному космічна станція характеризується тими ж показниками, що і ЗС: робочим діапазоном частот, добротністю, ЕІВП кожного передавача, поляризацією випромінюваних і прийнятих сигналів. Однак значення ряду параметрів істотно відмінні від зазначених для ЗС. Наприклад, добротність прийомного тракту КС звичайно складає -10 ... + 6 дБ/К (що викликано не тільки меншими розмірами антени, але і застосуванням більш простого, з більшою шумовою температурою вхідного малошумного підсилювача).

Важливою характеристикою бортового ретранслятора космічної станції є кількість каналів.

Каналом ретранслятора або ЗС, або каналом супутникового зв'язку, будемо називати приймально-передавальний тракт, у якому радіосигнали проходять через загальні підсилюючі елементи (загальний передавач) у деякій виділеній для каналу загальній смузі частот. Весь діапазон частот, у якому працює супутник зв'язку, прийнято поділяти на деякі смуги (шириною 27...36, 72... 120 Мгц), в яких посилення сигналів здійснюється окремим трактом — каналом. Кілька каналів можуть мати загальні елементи — антену, хвилеводний тракт, малошумний вхідний підсилювач. З іншого боку, на ЗС смуга одного каналу може розділятися фільтрами для виділення і наступного детектування сигналів від різних земних станцій, що проходять через загальний канал ШСЗ. Замість терміна «канал» часто застосовується англійський термін «транспондер». Число каналів, що одночасно

діють на ШСЗ, може складати 612, досягаючи 27-48 на найбільш потужних ШСЗ. Сигнали цих каналів поділяються за частотою, простором, поляризацією.

Числом каналів, їхньою смугою пропускання і ЕІВП визначається в основному найважливіший сумарний показник ШСЗ - його пропускні здатності, тобто число телефонних і телевізійних каналів, або в більш загальному виді кількість двійкових одиниць у секунду, яку можна передати через даний ШСЗ. Зрозуміло, про пропускну здатність ШСЗ можна говорити лише умовно, оскільки вона залежить від добротності застосовуваних у системі земних станцій, а також від виду застосовуваних радіосигналів. Пропускна здатність, власне кажучи, характеристика системи, а не ШСЗ. Проте, у літературі часто використовується поняття пропускної здатності (ємності) ШСЗ.

Відзначимо, що пропускна здатність каналу ШСЗ залежить у деякій мірі не тільки від основних показників - смуги пропускання і ЕІВП, але і від інших параметрів, що визначають перекручування переданих сигналів: нерівномірності амплітудної характеристики, коефіцієнта АМ-ФМ перетворення, нерівномірності ГВЗ у смузі ВЧ каналу та ін. Ці параметри впливають на взаємні перешкоди між сигналами різних ЗС, на вірогідність прийому сигналів і тим самим на енергетичні втрати, обумовлені проходженням сигналів через неідеальний тракт бортового ретранслятора ШСЗ.

Основні показники систем супутникового зв'язку.

У залежності від ширини діаграми спрямованості бортових антен ШСЗ (або його окремий канал, якщо на борту кілька антен і вони різні) характеризується зоною покриття — частиною поверхні земної кулі, у межах якої забезпечується рівень сигналів від ШСЗ, необхідний для їхнього прийому з заданою якістю на ЗС визначеної добротності, а також гарантується здатність прийняти на вході ШСЗ сигнали від ЗС, що володіють визначеною ЕІВП [19]. Очевидно, що зона покриття ШСЗ характеризує систему супутникового зв'язку, а не тільки власне ШСЗ.

Зона покриття визначається шириною діаграми спрямованості антени ШСЗ і розраховується як перетин поверхні Землі конусом променя антени. Форма цього перетину залежить від точки розміщення ШСЗ, «точки прицілювання» — точки

перетинання осі головної пелюстки антени ШСЗ із земною поверхнею, а також від нестабільності положення ШСЗ і орієнтації його антен. У зв'язку з нестабільністю вводиться поняття гарантованої зони обслуговування, у якій забезпечується збереження запрограмованих раніше умов прийому та передачі при будь-яких сполученнях відхилень ШСЗ і антени ШСЗ від середнього положення. Точка розміщення ШСЗ на орбіті, точка прицілювання його антени, нестабільності цих параметрів істотні не тільки для розрахунку зон обслуговування, але і для розрахунку взаємних перешкод між ССЗ.

Для спрощеного розрахунку взаємних перешкод часто також вказується максимальна спектральна щільність випромінюваного ШСЗ потоку потужності (Вт/ГГц). Нарешті, найважливішим показником ШСЗ, що визначає не тільки надійність і безперебійність зв'язку, але насамперед економічні характеристики всієї системи зв'язку, є термін служби ШСЗ - час напрацювання до відмовлення супутника цілком або припустимого числа каналів космічної станції, що визначається з високою імовірністю - як правило 0.9 і більше. У сучасних ШСЗ досягнуто термін служби 10...12 років і більше завдяки високій надійності елементів, гнучкій і розгалуженій схемі резервування.

Зона обслуговування системи — це сукупність (об'єднання) зон обслуговування окремих штучних супутників Землі, що входять у систему.

Пропускна здатність системи є об'єднання пропускних здібностей ШСЗ, які входять у систему. Пропускна здатність системи виявляється менше суми пропускних здібностей окремих ШСЗ, оскільки для зв'язку між собою станцій, що працюють через різні ШСЗ, частина каналів транслюється двома КС послідовно — за допомогою двострибкових ліній (ЗЕМЛЯ-ШСЗ-ЗЕМЛЯ- ШСЗ- ЗЕМЛЯ) або прямих міжсупутникових з'єднань (ЗЕМЛЯ-ШСЗ-ШСЗ- ЗЕМЛЯ).

Якщо в ССЗ використовується тільки один ШСЗ, зона обслуговування і пропускна здатність системи і ШСЗ збігаються. Пропускна здатність системи залежить у деякій міри від впливу перешкод, створюваних іншими ССЗ і роль цих перешкод зростає по мірі збільшення числа супутників на орбіті. Система супутникового зв'язку характеризується числом і розміщенням ЗС, числом ШСЗ і

типом їхньої орбіти, точкою розміщення та геостаціонарній орбіті.

Характеристикою системи є також число каналів та ШСЗ, їхня смуга пропускання, смуги частот каналів та ділянках Земля-супутник і супутник- Земля. Однією з найважливіших характеристик системи є метод багатостанційного доступу - метод сполучення сигналів, випромінюваних різними ЗС, для їхнього проходження через загальний канал бортового ретранслятора космічної станції. Багатостанційний доступ (БД) застосовують тому, що звичайно виявляється неекономічним створювати число стовбурів на ШСЗ, яке дорівнює числу ЗС у системі. Застосовують БД із поділом сигналів за частотою, формою і часом [17].

Різний спосіб БД приводить до втрати пропускної здатності каналу до 3...6 дБ, хоча в найбільш досконалих системах (з часовим поділом - БДЧП) ці втрати можуть не перевищувати 0,5...2 дБ.

На енергетичні характеристики системи зв'язку, необхідну смугу частот, її електромагнітну сумісність з іншими системами істотно впливає застосовуваний метод модуляції. Найбільш поширена частотна модуляція (ЧМ) і фазова модуляція (ФМ). З параметрів модуляції найважливіше значення при ЧМ має девіація частоти, при ФМ - число фаз несучої (кратність модуляції), а при передачі програм телебачення - також спосіб передачі звукового супроводу (часове або частотне сполучення з відеосигналом, частота піднесучої і та ін.). Метод модуляції і параметри модульованого сигналу повинні бути узгоджені зі смугою пропускання.

Іншою важливою характеристикою системи є якість каналів передачі повідомлень — телевізійних, телефонних та ін. Відмітимо, що звичайно ССЗ використовується для створення міжнародних або міжміських каналів зв'язку великої довжини, і якість цих каналів відповідає вимогам, сформульованим у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) або у внутрішньодержавних нормативних документах.

Однак у деяких системах супутникового зв'язку виходячи з їхнього специфічного призначення або з економічних міркувань досягаються більш високі або більш низькі показники якості. Причиною зниження відношення сигнал-шум є не тільки бажання зменшити вартість прийомної станції, але і можливість зберегти при цьому досить високу якість прийому в абонента. Дійсно, прийомна станція такої системи наближена до абонента, супутникова лінія замінює не тільки

міжміську наземну лінію, але і частину розподільчої мережі, спрощується або зовсім виключається наземний телевізійний передавальний центр.

Іноді у каналах зв'язку також встановлюють трохи знижене відношення сигнал-шум або скорочену смугу пропускання в порівнянні з рекомендованими для міжміських каналів, якщо ССЗ призначена для спеціалізованих або внутрішньовідомчих цілей. Як і в попередньому випадку, у таких спеціалізованих системах спрощені станції наближені до абонента, і якість каналу для абонента залишається прийнятно високою.

Висновки до розділу 2

Зробивши детальний розгляд і аналіз різних супутникових систем зв'язку, ми отримуємо чітку картину того, що стрімко зростає потреба в телекомунікаціях, де потрібно бути на зв'язку і мати можливість доступу до даних в будь-який час і в будь-якому місці. Наземні лінії зв'язку технологічно не можуть забезпечити такий доступ. Для цього необхідна велика кількість наземних ретрансляторів, а зв'язок через море і океан або в важкодоступних місцях (пустеля, гори, ліс) в принципі не можливий. Тому, супутникові системи зв'язку, найчастіше, це єдине можливе рішення в забезпеченні зв'язку між віддаленими людьми, об'єктами і регіонами.

Насамперед ССЗ це якісна телефонія за межами зони покриття станціями стільникового зв'язку, яка пропонує тривалу автономну роботу, довгий час знаходження в режимі очікування виклику (за рахунок малого енергоспоживання), малу вагу і всенаправлена антена - надає користувачеві високі гарантії працездатності у віддаленні від наземного зв'язку. Найкраще в цьому себе проявляють геостаціонарні супутники. Адже, навіть трьох таких супутників достатньо для покриття усієї території планети крім приполярних широт [11].

Проведений аналіз принципів побудови глобальних систем супутникового зв'язку дозволяє зробити висновок про те, що системи з апаратами на геостаціонарній орбіті незважаючи на ряд переваг, мають один суттєвий недолік - а саме значну затримка сигналу.

3 ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

3.1 Аналіз систем супутникового зв'язку

Існує багато різних систем супутникового зв'язку, проте для детального обґрунтування було обрано дві системи: Iridium і Inmarsat.

Огляд сучасних рішень. У системі Iridium функціонують 77 супутників, 66 з яких є активними, вони розміщуються та 6-ти приполярних орбітах. Розроблений для цієї мережі механізм між супутникових зв'язків дозволяє передавати сигнал з одного супутника на інший без ретрансляції цього сигналу на Землю. У наземний сегмент входять дві центральні станції управління і контролю. Вони здійснюють управління орбітальним угрупованням космічних апаратів, забезпечують синхронізацію системи супутникового зв'язку, організовують групові тракти передачі. Всього наземний сегмент включає 20 базових станцій сполучення і управління зв'язком. Супутники Iridium перебувають на висоті 780 км над поверхнею Землі. Їх термін служби становить 7-10 років [21, 23].

За допомогою ракети-носія Falcon 9 було виведено десять супутників Iridium NEXT, вагою 860 кг кожен. Точна вартість супутника Iridium NEXT не розголошується, але за загально доступними даними вона складає близько 31 млн доларів.

Антенні системи космічних апаратів Iridium NEXT формують 48 парціальних променів, які створюють загальну зону покриття діаметром понад 4000 км. Одна зона має діаметр близько 700 км.

Для виключення дублювання від сусідніх космічних апаратів частина променів виводиться з активного режиму роботи. Так, із загальної кількості 3168 променів в поточний момент часу активні лише 2150, тобто в середньому кожен апарат створює близько 32 парціальних променів (стільників). При цьому потужність, що споживається одним апаратом становить близько 2,2 кВт [20].

Середня пропускна здатність при використанні смуги частот 10,5 МГц для

зв'язку між мобільним терміналом і супутником становить понад 110 каналів на одну соту поверхні Землі. Для обслуговування абонентів можливості апарата дозволяють створити до 5700 телефонних каналів, але їх реальна кількість становить близько 3840. Враховуючи таке обмеження в мережі на супутниках Iridium NEXT можливе одночасне обслуговування 253440 абонентів.

Для порівняння, система Inmarsat має парк з одинадцяти супутників (два з яких є резервними) на геостаціонарній орбіті на відстані близько 36000 кілометрів від Землі і включає супутники нового покоління, які являють собою певний еталон для систем мобільного супутникового зв'язку з точки зору їх енергетичних можливостей, пропускної спроможності і універсальності. Виведені на орбіту супутники забезпечують глобальне охоплення широкосмуговим зв'язком 98% земної поверхні, за винятком самих крайніх полярних регіонів.

При цьому був виведений лише один супутник Inmarsat 5 -F4 вагою 6070 кг. Заявлена вартість супутника складає 235 млн доларів (для супутників попереднього покоління Inmarsat 4A-F4 вона складала 350 млн доларів).

Кожен із супутників Inmarsat 5-F4 генерує 89 фіксованих точкових сфокусованих променів, які можуть бути оперативно сконфігуровані для забезпечення необхідної пропускної здатності мережі в районах підвищеного попиту на послуги.

З'єднання всередині мережі в межах зони покриття здійснюється без використання наземних станції. Для з'єднання абонентських терміналів із іншими мережами передбачено три наземних станції. Термін служби супутників розрахований на 12-15 років [21].

Виділений для системи Inmarsat частотний діапазон із смугою 68 МГц дає можливість здійснити підключення до супутника Inmarsat 5-F4 майже 35000 каналів зв'язку, але фактично їх кількість не перевищує 32000. Живлення супутника здійснюється від сонячних батарей, потужність яких становить в середньому 14,5 кВт.

Якщо б мережа була побудована виключно на супутниках Inmarsat 5-F4, то виходячи з їх характеристик, можливо забезпечити одночасне обслуговування до

288000 абонентів.

Ефективність супутникового сегменту систем Iridium та Inmarsat може бути оцінена за допомогою показника E, що являє собою умовну вартість підключення для обслуговування одного абонента, яка враховує як вартість космічного апарату, так і вартість його запуску:

$$E = {}^{C}/_{V} \tag{3.1}$$

де C - вартість супутника з урахуванням витрат на його запуск; V - кількість одночасних підключень до супутника.

За 2016-2017 роки в середньому пуск ракети-носія Falcon 9 обходився замовнику в 100 млн доларів [16].

Попередній аналіз, наведений вище, дає змогу визначити кількість одночасних підключень до супутника Iridium NEXT: $V_{Iridium}$ = 3 840. Оскільки ракетою носієм одразу було виведено десять супутників, то вартість супутника з урахуванням витрат на його запуск становить:

$$C_{\text{Iridium}} = 31 + 10 = 41 \text{ млн доларів.}$$

Для супутників Inmarsat 5-F4 відповідні характеристики приймуть значення:

$$V_{Inmarsat} = 32\,000,\ C_{\text{Inmarsat}} = 235 + 100 = 335 \text{ млн доларів.}$$

Запропонований показник, розрахований за формулою (3.1), для супутника Iridium NEXT становитиме $E_{\text{Iridium}} = 10677$ доларів за підключення, а для супутників Inmarsat 5-F4: $E_{Inmarsat}$ = 10469 доларів за підключення. Звичайно ж меншому значенню показника відповідає більша ефективність.

Незважаючи на майже однаковий показник ефективності, за рахунок таких основних недоліків систем геостаціонарного базування, як: значна затримка в проходженні сигналу, його високе загасання, перенасиченість геостаціонарної орбіти на багатьох ділянка та неможливість обслуговування приполярних областей.

3.2 Показники якості обслуговування

Відповідно до рекомендацій МСЕ-Т I.112 сукупність телекомунікаційних послуг розділена на два типи (додаток А): доставки (перенесення) інформації (реалізують функції трьох нижніх рівнів моделі взаємодії відкритих систем) (Bearer Service, BS) і надання зв'язку (Teleservice, TS). При цьому телекомунікаційні послуги класифікується за видом переданої інформації (телефонія, передача даних та ін.), важливості (основні, додаткові) та іншими ознаками.

Якість телекомунікаційних послуг — це сукупність властивостей послуги, які визначені якістю функціонування мережі, які характеризують здатність задовольняти потреби користувачів. Забезпечення якості телекомунікаційних послуг є однією з найважливіших задач проектування мереж зв'язку. Відповідно до рекомендацій МСЕ-Т Е.800, Е.430, I.350 характеристики якості телекомунікаційних послуг можна розділити на дві групи (рис. 3.1): характеристики, пов'язані з якістю обслуговування (Quality of Service, QoS), і характеристики, пов'язані з якістю функціонування мережі (Network Performance, NP) [22].

Якість обслуговування — це сукупність показників, які визначають ступінь задоволення користувача обслуговуванням яке йому надається. Якість обслуговування визначається в точці доступу до послуги і характеризується властивостями зручності використання, забезпеченості, дієвості (доступності, безперервності, цілісності) і безпеки обслуговування. У свою чергу якість функціонування мережі є основою для якості обслуговування і визначає здатність мережі виконувати функції, що забезпечують зв'язок між абонентами. Якість функціонування мережі характеризується здатністю до обробки трафіку, ресурсами і можливостями мережевих об'єктів, а також надійністю і якістю передачі.

Суб'єктивна оцінка якості обслуговування при передачі мови. Первинним критерієм якості аудіо- та відеоінформації є сприйняття якості послуги користувачем. Визначення якості послуг може базуватися як на суб'єктивних, так і на об'єктивних оцінках. Найбільш широко використовувана методика суб'єктивної

оцінки якості описана в рекомендації МСЕ Р.800 і відома як методика MOS (Mean Opinion Score) [23]. Відповідно до неї якість мовлення, що отримується при проходженні сигналу від мовця (джерело) через систему зв'язку до слухача (приймач), оцінюється як арифметичне середнє від усіх оцінок, виставлених експертами після прослуховування тестованого тракту передачі.

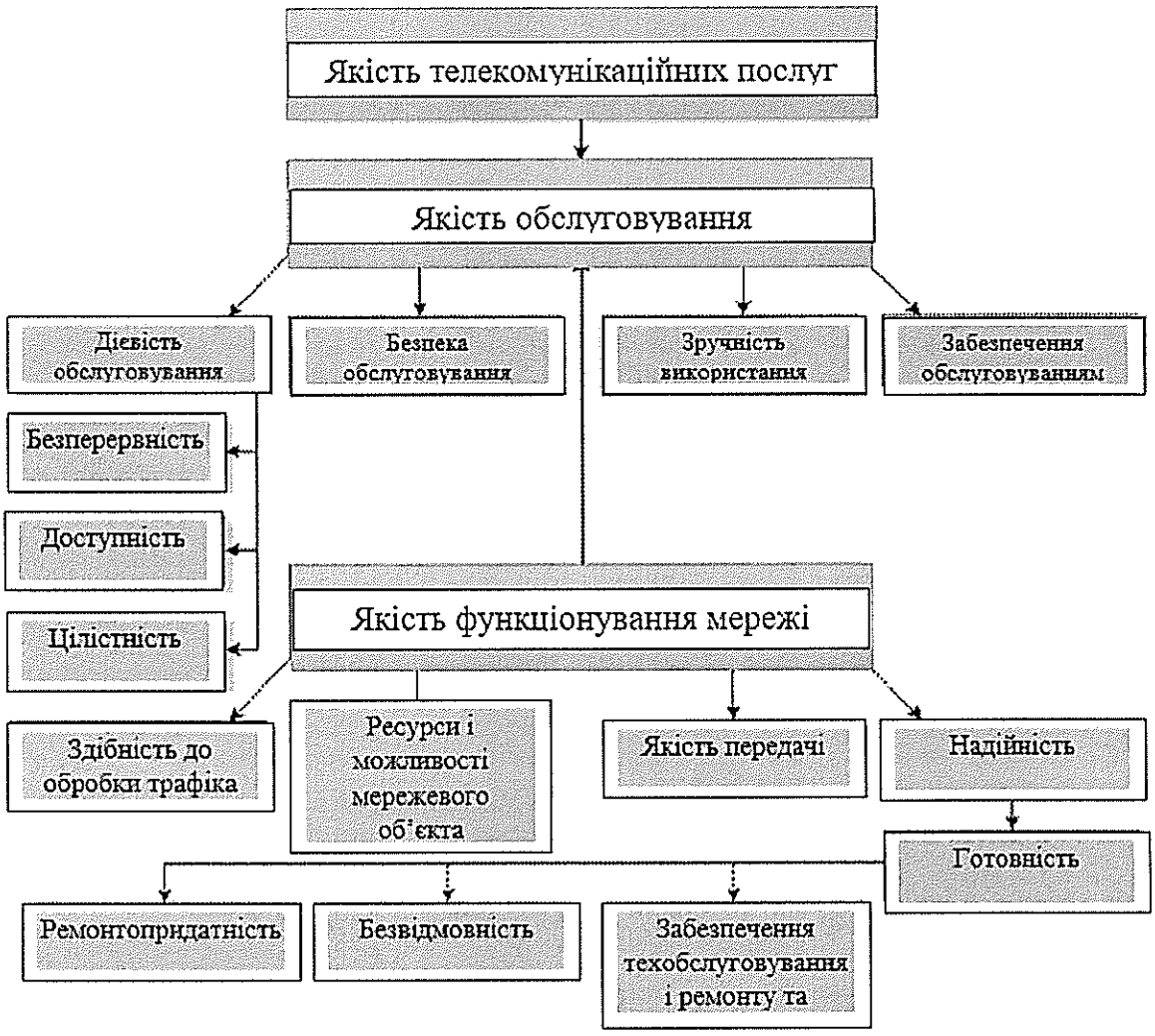


Рис. 3.1. Якість телекомунікаційних послуг

Експертні оцінки визначаються відповідно до такої п'ятибальною шкалою: 5 - відмінно, 4 - добре, 3 - прийнятно, 2 - погано, 1 - неприйнятно. Оцінки 3,5 бали і вище відповідають стандартній і високій якості, 3,0 - 3,5 - прийнятної якості, 2,5 - 3,0 - синтезований звук. Для передачі мови з гарною якістю доцільно орієнтуватися на значення MOS не нижче 3,5 балів.

Методика MOS, заснована на суб'єктивних оцінках, є досить надійним

інструментом, в ній відсутня можливість кількісно врахувати фактори які впливають на якість мови. Зокрема, не враховуються: наскрізна (end-to-end) затримка між мовцем по телефону і слухачем; вплив варіації затримки; вплив втрат пакетів.

Об'єктивна оцінка якості обслуговування при передачі мови в пакетних мережах. Для подолання зазначених недоліків МСЕ прийняв рекомендацію G.107, в якої був описаний підхід до об'єктивного оцінювання якості послуг в телекомунікаціях. В його основу покладена так звана Е-модель, яка відкрила новий напрямок в оцінці якості послуг, який пов'язаний з вимірюванням характеристик терміналів і мереж. Після створення Е-моделі було проведено велике число випробувань, в яких змінювався рівень впливу спотворюючих мережевих факторів. Дані цих тестів були використані в Е- моделі для обчислення об'єктивних оцінок. Результатом обчислень відповідно до Е-моделі є число, зване R-фактором ("коефіцієнтом рейтингу"). Значення R- фактору однозначно зіставляються з оцінками MOS [23-25].

Відповідно до Е-моделі R-фактор визначається в діапазоні значень від 0 до 100, де 100 відповідає найвищому рівню якості. При розрахунку R-фактора враховуються 20 параметрів, в числі яких: однонаправлена затримка; коефіцієнт втрати пакетів; втрати даних через переповнення буфера джітера; спотворення, що вносяться при перетворенні аналогового сигналу в цифровий і подальшому стисненні (обробка сигналу в кодеках); вплив відлуння і ін.

Таким чином, Е-модель і R-фактор можуть бути використані для об'єктивної оцінки якості передачі мови. Як тільки R-фактор отриманий, можуть бути обчислені відповідні оцінки MOS. Обчислення R-фактору починається для випадку, коли спотворення сигналу в каналі не враховуються, а приймаються до уваги спотворення, які мають місце при перетворенні реальної мови в електричний сигнал (і назад). Теоретичне значення R-фактору зменшується від 100 до 93,2, що відповідає оцінці MOS, рівній 4,4. Таким чином, при використанні Е-моделі оцінка 4,4 в системі MOS є максимально можливою оцінкою якості мови в мережі без спотворень. Величина R- фактору змінюється від 0 до 93,2, що відповідає зміні

оцінок MOS від 1 до 4,4. Значення R-фактора визначається за такою формулою (3.2):

$$R = Ro - Is - Id - Ie + A, \tag{3.2}$$

де: Ro = 93,2 - початкове значення R-фактора;

Is - спотворення, що вносяться кодеками і шумами в каналі;

Id - спотворення за рахунок сумарної наскрізний затримки ("від краю до краю") в мережі;

Ie - спотворення, що вносяться обладнанням, включаючи і втрати пакетів;

A - фактор переваги.

Наприклад, користувачі можуть погоджуватися з низьким рівнем якості, отримуючи додаткові зручності. У більшості випадків розрахунку R-фактора параметр A приймається рівним нулю [26].

Проблема затримки сигналу.

Серед багатьох чинників, що впливають на якість передачі мови, можна відзначити затримку сигналу в терміналах і вузлах мережі. Вплив затримки на якість передачі мови можна оцінити за допомогою кривої, отриманої з використанням моделі характеристик передачі згідно з рекомендаціями МСЕ-Т G.107. Ця крива, що дозволяє оцінити вплив затримки на якість мови, представлена в рекомендації МСЕ-Т G.114.

По осі ординат ліворуч відкладені значення рейтингового коефіцієнта R згідно Е-моделі, по осі ординат праворуч - рівні „прийнятності" якості передачі для користувача, пропорційні значенням R і виражені в балах. При рейтинговому коефіцієнті R < 50 якість настільки погана, що не підлягає будь- якій оцінці. Затримка понад 400-500 мс призводить до практичної неможливості здійснення діалогового режиму в мовному з'єднанні. Затримана відповідь співрозмовника викликає психологічну реакцію у вигляді перепитування, в той же час надходить затримана відповідь, і нормальний діалог порушується. Бажаною є затримка, яка не перевищує 150 мс, оскільки крім затримки слід враховувати й інші погіршуючи фактори. Таким чином стає зрозумілим, що певним недоліком геостаціонарних

систем супутникового зв'язку є часова затримка сигналу.

Для прикладу визначимо час затримки в існуючих геостаціонарних системах при встановленні з'єднання між абонентами, які знаходяться в Європі й Південній Америці (користувачі знаходяться в зоні дії різних геостаціонарних супутників). Шлях проходження сигналу виглядає наступним чином: спочатку він надходить на геостаціонарний супутник від абонента (36 000 км), далі сигнал повертається на наземну станцію, яка розташована в Європі (36 000 км), від неї на наземну станцію, яка розташована Південній Америці (10 000 км), далі на другий геостаціонарний супутник (36 000 км) та лише після цього - на апарат другого абонента (36 000 км). Тобто затримка в змодельованій ситуації становитиме згідно формули (3.3):

$$\frac{36\,000 + 36\,000 + 10\,000 + 36\,000 + 36\,000}{300\,000} \approx 0{,}51\ (\text{с}) \qquad (3.3)$$

Відповідно до рис. 3.2. оцінка не досягає навіть двох балів, що є дуже поганим показником якості передачі мови.

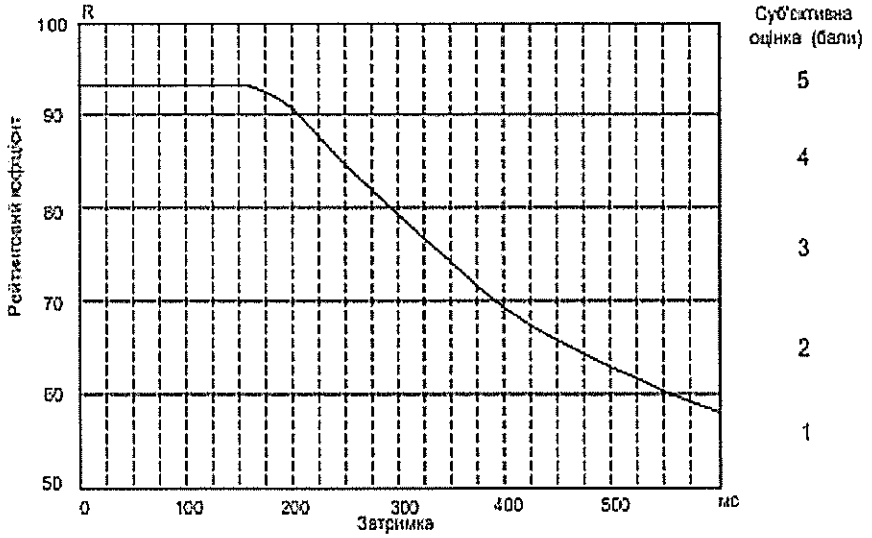


Рис. 3.2. Залежність якості передачі мови від затримки сигналу

3.3 Метод покращення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку

Для впровадження методу покращення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку пропонується застосування наносупутників (НС). Це клас малих штучних супутників Землі, створення яких стало можливим завдяки розвитку мікроміниатюризації та нанотехнологій. Нині вони все частіше використовуються для різноманітних космічних досліджень. Терміном «CubeSat», яким надалі я буду оперувати, позначаються наносупутники (Nano-satellite), що створені згідно зі стандартом, створеним під керівництвом професора Bob Twiggs (факультету аеронавтики й астронавтики, Стенфорда). Такі супутники мають розмір 10x10x10 см. В них зазвичай використовується електроніка та програмне забезпечення на основі готових комерційних продуктів, що суттєво здешевлює CubeSat, порівняно зі звичайними сателітами, для кожної серії яких розробляються унікальні програмні та технічні рішення.

Такі апарати важать всього кілька кілограмів і можуть виводитися в космос в якості попутного навантаження або відразу пакетами в десятки і навіть сотні одиниць. Доступ абонентів до ресурсів мережі можливий саме через НС. Кластери НС можуть використовуватися в якості ретрансляційної мережі. За умови розташування орбіти НС на висотах до 700 км з'являється потенційна можливість зменшення затримки сигналу за рахунок скорочення протяжності маршруту його проходження [8].

На рис. 3.3 зображений випадок обслуговування абонентів, які знаходяться в зоні обслуговування одного геостаціонарного супутника (ГС). Існуючий варіант обслуговування передбачає встановлення з'єднання в декілька основних етапів. На першому етапі ініціатором, наприклад Абонентом 1, надсилається запит на ГС на обслуговування, отримується його підтвердження, після чого передається адресна інформація (ділянка 1.1) [26]. По завершенні її аналізу визначається можливість встановлення з'єднання з Абонентом 2 (ділянка 1.2) та за наявності такої відбувається передача трафіку між абонентами по маршруту: Аб.1-1.1-ГС-1.2-Аб.2.

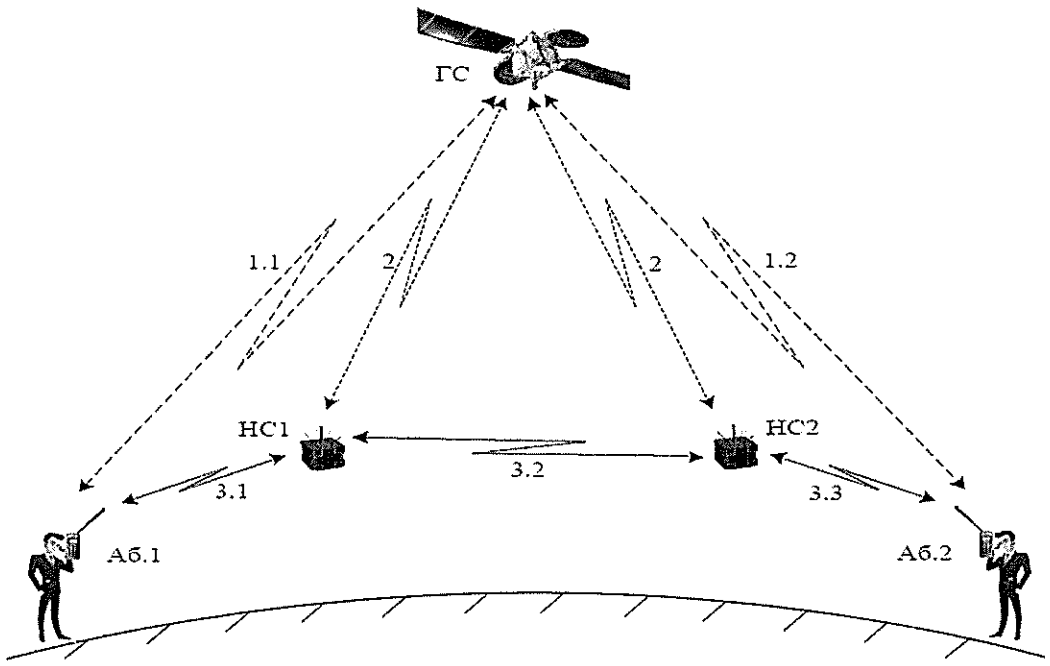


Рис. 3.3. Етапи встановлення з'єднання та проходження сигналів між абонентами.

Довжина шляху проходження сигналу без урахування кривизни поверхні Землі, при відстані до ГС близько 36000 км складає порядку S1=72000 км, що відповідає часу затримки в проходженні сигналу в одному напрямку:

$$T_{затр1} = S1/C = 0{,}24 \text{ (с)}. \tag{3.4}$$

При наявності угрупування НС передбачається, що інформація про розташування НС є доступною та постійно оновлюється на ГС. Алгоритм встановлення з'єднання незначно ускладнюється і виглядає наступним чином. Початковий етап (ділянки 1.1, 1.2) практично збігається із попереднім випадком [7]. Але, після встановлення факту доступності Абонента 2, відбувається аналіз можливості встановлення з'єднання абонентів із певними НС (ділянка 2), а також між зазначеними НС. При значній кількості НС в угрупуванні така можливість високо імовірна. Тобто, якщо вона є, від ГС надходить сигнал управління як до абонентських терміналів, так і до визначених НС, на встановлення з'єднань між терміналами і НС (ділянки 3.1, 3.3), та між НС (ділянка 3.2). Залежно від відстані між абонентами буде змінюватись кількість ділянок 3.2 в маршруті. На рис. 1.1 представлений варіант такого з'єднання між абонентами по маршруту: Аб.1-3.1-НС1-3.2-НС2-3.3-Аб.2.

Довжина шляху проходження сигналу між абонентами, які знаходяться на відстані 10000 км один від одного при відстані до НС близько 700 км, складає порядку S2=12000 км, що відповідає часу затримки сигналу в одному напрямку: $T_{затр2} = S2/C = 0{,}04$ (с).

Скорочення часу затримки при застосуванні запропонованого методу, відповідно з рис.3.2, дозволяє покращити якість передачі мови від показника «погано» (при обрахуванні за формулами 3.3 та 3.4) до показника «відмінно».

Слід зазначити, що проведені розрахунки здійснювались без урахування часу обробки сигналів на борту ГС та НС.

НС угрупування, яке буде складатись з кластерів. Кожен кластер за об'ємом виконуваних функцій буде аналогічним супутнику системи Iridium. За таких умов, для створення глобальної системи супутникового зв'язку необхідно буде розташувати на шести орбітах мінімум 66 кластерів НС (по 11 на кожній орбіті).

Склад кластеру із НС може бути не однорідним з погляду на функції, що виконуються окремими апаратами (Рис.3.1): основна частина НС може використовуватися для зв'язку із абонентськими терміналами, інші – для концентрації і комутації навантаження всередині кластеру, зв'язку із сусідніми кластерами НС, які розташовані на власній та суміжних орбітах, а також для зв'язку із наземними станціями. Оскільки відстань між НС кластеру складає лише кілька десятків метрів, взаємодія між ними може здійснюватися за допомогою Wi-Fi або лазерного променю. Склад кластеру пояснює рис. 3.4.

Мінімальна кількість НС у одному кластері визначиться наступним чином. Для зв'язку із абонентськими терміналами, за умови формування одним НС одного парціального променю, потрібно 32 апарати. Функцію концентрації і комутації навантаження всередині кластеру буде виконувати один НС (із дублюванням).

Для зв'язку із іншими кластерами на власній та суміжних орбітах - чотири НС, для зв'язку із наземними станціями - два НС. Таким чином, для виконання функцій аналогічних за обсягом тим, що виконує супутник Iridium NEXT, в кластері повинно бути не менше 40 НС [24].

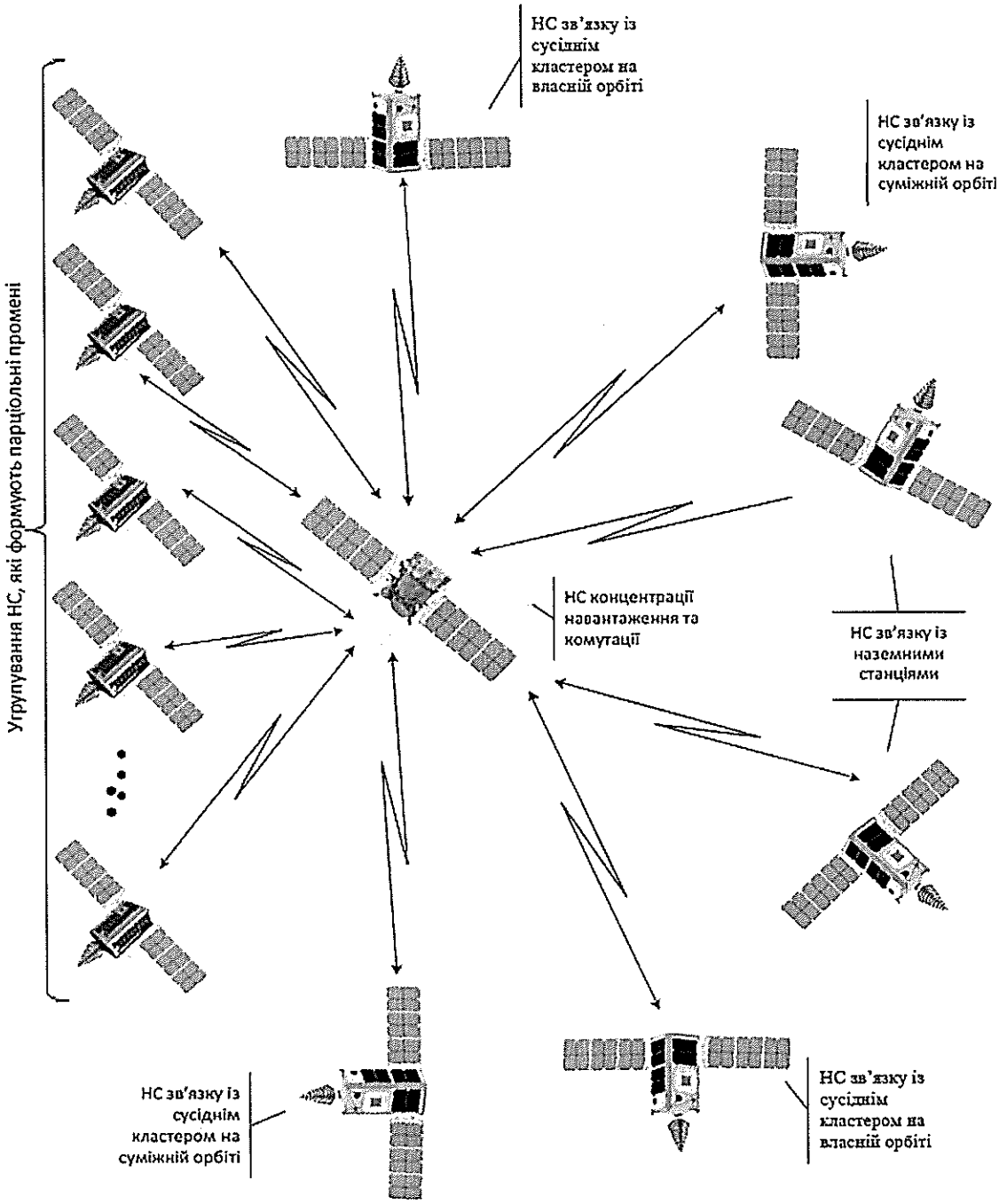


Рис. 3.4. Архітектура кластеру із НС

У згорнутому стані така антена являє собою пружину, що займатиме об'єм близько V=11 см^3, тобто 1,1 % від загального об'єму CubeSat-1. Антени НС, що формують парціальні промені на межі зони обслуговування кластеру, повинні забезпечити ширину діаграми спрямованості до 0 =30°, при цьому підсилення становить G=13-15 дб, але довжина антени збільшиться до l=56 см при тому ж діаметрі. Тоді у складеному вигляді об'єм антени збільшиться майже у 2,5 рази [19].

Необхідне взаємне розташування променів НС в кластері можна забезпечити лише при керованому польоті НС. Тому на кожному НС необхідно мати систему орієнтації та стабілізації. Доцільно використовувати комбіновану систему [20], яка буде складатись з магнітних котушок, що дозволяють вирішувати безпосередньо завдання стабілізації й орієнтації, а також іонних двигунів, які будуть задіяні, в основному, для зміни орбіти НС. Це дозволить здійснити конфігурування взаємного розташування НС в кластері, значно збільшити термін служби НС та здійснювати їх плановий відхід з орбіти по закінченні експлуатації. Ця система також забезпечить необхідне положення сонячних батарей відносно Сонця.

Оцінімо можливість забезпечення автономної роботи НС виходячи з енергетичних показників.

Загасання для [21] ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

$$L = 32{,}4 + 20\lg(f) + 20\lg(d) \tag{3.4}$$

де f - частота в МГц, d - відстань в км.

Тому на межі зони обслуговування кластеру (відстань понад 1500 км) загасання становить L =160 дБ.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку близько - 118 дБ. Враховуючи підсилення антени до G = 15 дБ, втрати, що пов'язані із формуванням спіральною антеною сигналу із круговою поляризацією порядку 3 дБ, а також можливі втрати в атмосфері до 3 дБ, потужність випромінювання із «запасом» в 3 дБ повинна становити:

$$P = 160 - 118 - 15 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дб}, \tag{3.5}$$

тобто 4 Вт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) передавача, як правило, не перевищує 30%, що відповідає потужності споживання 14 Вт. Додатково для роботи приймача потрібно 5 Вт.

При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Землі. Окрім того, система стабілізації споживає

близько 4-8 Вт (короткочасно) [27].

Виходячи з цього, сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення на рівні 45 Вт.

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі, складає близько 1366 ват на квадратний метр. На сьогодні переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з ККД, що не перевищує 20%. За умов розташування поверхні сонячної батареї НС перпендикулярно напрямку поширення сонячних променів (із допуском на незначне відхилення до 15 градусів), електрична потужність, яка виробляється, може бути знайдена:

$$P = 1366 \times \eta \times S \tag{3.6}$$

де η - коефіцієнт корисної дії сонячної батареї; S - площа поверхні сонячної батареї.

Для отримання необхідної потужності живлення, яка розрахована за формулою (3.7) площа поверхні сонячної батареї повинна бути не меншою, ніж:

$$S = \frac{P}{1366 \times \eta} \tag{3.7}$$

тобто S = 0,165 м^2. Стандартний розмір НС формату CubeSat-1 - куб із стороною 10 см. За умови використання двох симетричних батарей, одна сторона якої дорівнює зазначеним 10 см, інша, за умови округлення розрахункового значення у більший бік, кратний 10 см - повинна мати довжину 90 см.

Виходячи з цього та враховуючи необхідність наявності акумулятора у конструкції НС, його формат можна визначити як CubeSat-2, коли в одному кубі із стороною 10 см будуть розташовані елементи енергоустаткування (сонячні батареї та акумулятор), а в іншому - обладнання відповідно до функціонального призначення. Загальна вага такої конструкції буде знаходитись в межах 9 кг.

При масовому виробництві вартість одного НС формату CubeSat-2 не буде перевищувати 150 тис доларів. Тому сукупна вартість кластеру складатиме 6 млн доларів.

При виведенні апаратів на орбіту з висотою 750 км ракетою-носієм Falcon 9 вартість одного кг КН, складатиме близько 11630 доларів [28]. Оцінимо ефективність системи супутникового зв'язку, яка побудована на угрупуванні НС, з

урахуванням формули (1). Будемо використовувати параметри, що відповідають одному кластеру НС: кількість одночасних підключень $1/_{нс} = 3840$; вартість всіх сорока НС кластеру з урахуванням витрат на запуск (визначиться добутком маси одного НС та вартості одного кг КН, що виводиться на орбіту) складатиме:

$C_{НС} = 40 \times (150000 + 9 \times 11630) \approx 10{,}2$ млн доларів, відповідно $Е_{НС} = 2653$ доларів за підключення.

Це дозволяє побудувати порівняльну характеристику основних типів систем супутникового зв'язку (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Порівняльна характеристика основних типів систем супутникового зв'язку

Тип орбіти супутникової системи (тип апарату)	Вага супутника, кг	Вартість одного апарата, тис. дол.	Кількість каналів (підключень) на супутник	Умовна вартість каналу, дол.	Вартість каналу з урахуванням виведення на орбіту, дол.
Низькоорбітальна (Iridium NEXT)	860	31000	3840	8073	10677
Геостаціонарна (Inmarsat 5-F4)	6070	235000	32000	7344	10469
Низькоорбітальна (CubeSat -2)	9	150	120	1250	2653

Висновки до розділу 3

Отже, супутниковий зв'язок надає широкий спектр телекомунікаційних послуг майже у будь-якій точці земної кулі. При цьому якість надання послуг телефонії напряму залежить від способу побудови супутникової системи.

Таким чином, застосування угрупування НС у системах з супутниками на геостаціонарній орбіті дозволить значно скоротити час запізнювання сигналу і тим самим підвищити якість обслуговування абонентів.

Тобто, вирішується головний недолік геостаціонарних систем супутникового зв'язку.

ВИСНОВКИ

Отже, як бачимо на сьогодні, ефективність супутникового сегменту системи зв'язку побудованого з використанням НС виявляється значно вищою у порівнянні із існуючими ССЗ. Вирішуючи головну проблему існуючих геостаціонарних супутникових систем — затримку сигналу. Окрім того, запропоноване рішення в цілому підвищує надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики угрупування, а у випадку часткового резервування НС в кластері, такі події можуть бути повністю нівельовані.

Також, запропоновано метод значно дешевше від існуючих. Важливим є і той факт, що використання НС вирішить проблему космічного сміття, оскільки НС будуть знаходитись на низькій орбіті та по закінченню своєї місії будуть повністю згорати в земній атмосфері. В сукупності це дає змогу дійти висновку, що запропонована ССЗ надає якісніший зв'язок і економічно вигідніша за системи, що використовуються на сьогодні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Open Networking Foundation: SDN Architecture, Issue 1, June 2014.

2. ETSI GS NFV 002, v1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework, 2013.

3. Abdelsalam, M. Luglio, C. Roseti, and F. Zampognaro, "Analysis of Bandwidth Aggregation Techniques for Combined Use of Satellite and xDSL Broadband Links," 2018, International Journal on Satellite Communications and Networking, pp. 1–15.

4. M. Corici et al., "Assessing Satellite-Terrestrial Integration Opportunities in the 5G Environment," Sept. 2016. URL: https://artes.esa.int/sites/default/files/Whitepaper (дата звернення 18.10.23)

5. ETSI GS MEC 003, v1.1.1: A Mobile Edge Computing (MEC); Technical Requirements, 2016.

6. SHINE Project: Secure Hybrid In Network Caching Environment, available at: https://artes.esa.int/projects/shine-secure-hybrid-networkcaching-environment. (дата звернення 07.11.23)

7. D. Bettinger, "Maximizing the HTS Opportunity: Leveraging New Satellite Architectures and Business Models to Grow," Asia Pacific Satellite Communications Council (APSCC), APSCC 2013 Q3 newsletter, ISSN 1226-8844.

8. "MPEG-DASH–Dynamic Adaptive Streaming over HTTP," ISO/IEC Standard, ISO, Standard ISO/IEC 23009.

9. S. Loreto and S. P. Romano, "How Far Are We from WebRTC-1.0? An Update on Standards and a Look at What's Next," IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 7, 2017, pp. 200–207.

10. S. P. Romano, C. Roseti, and A. M. Tulino, "SHINE: Secure Hybrid in Network Caching Environment," in Proc. International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 19-21 June 2018, Rome, Italy.

11. "Digital Video Broadcasting (DVB); second generation DVB interactive satellite system (RCS2); part 2: lower layers for satellite standard," ETSI EN 300 421 (V.1.1.2), ETSI, European Standard ETSIEN 301 545-2 (V.1.1.1).

12. M. Ji et al., “Order-Optimal Rate of Caching and Coded Multicasting with Random Demands,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 63, no. 6, 2017, pp. 3923–49, June 2017.

13. S. P. Romano and F. Giangrande, “On the use of Network Codingas a Virtual Network Function in Satellite-Terrestrial CDNs,” in Proc. First International Workshop on Resource Slicig for Future Clouds and Networks, Honolulu, HI, USA, April 2018.

14. Interoperability of Superhigh Frequency (SHF) Satellite Communications Phase-Shift Keying (PSK) Modems MIL-STD-188-165B, March 2018.

15. "Fixed Radio Systems; Parameters affecting the Signal-to-Noise (SNR) and the Receiver Signal Level (RSL) threshold in point-to-point receivers", Theory and practice. ETSI TR 103 053 v1.1.1, September 2019.

16. Система супутникового зв’язку STARLINK/ URL: https://www.starlink.com/technology (дата звернення 15.11.23)

17. H. Zhou, A. Pal, A. Mehta, H. Nakano, A. Modigliana, T. Arampatzis, et al., "Reconfigurable phased array antenna consisting of high-gain high-tilt circularly polarized four-arm curl elements for near horizon scanning satellite applications", IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 17, no. 12, pp. 2324-2328, Oct. 2018.

18. W. Zhang, A. Pal, A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal and H. Nakano, "Low profile pattern-switchable multibeam antenna consisting of four L-shaped microstrip lines", IET Microw. Antennas & Propag., vol. 12, no. 11, pp. 1846-1851, Aug. 2018.

19. T. Takahashi et al., "Wide-Angle Beam Steering AESA with Three-Dimensional Stacked PCB for Ka-Band In-Flight Connectivity", 2019 IEEE International Symposium on Phased Array System & Technology (PAST), 2019.

20. J. Chieh et al., "Development of Flat Panel Active Phased Array Antennas Using 5G Silicon RFICs at Ku- and Ka-Bands", IEEE Access, vol. 8, pp. 192669-192681, 2020.

21. X. Luo, J. Ouyang, Z.-H. Chen, Y. Yan, L. Han, Z. Wu, et al., "A Scalable Ka-band 1024-element transmit dual-circularly-polarized planar phased array for Satcom Application", IEEE Access, vol. 8, pp. 156084-156095, 2020.

22. I. D Portillo, B. G. Cameron and E. F. Crawley, "A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband", Acta Astronautica, vol. 159, pp. 123-135, 2019.

23. H. Kaushal and G. Kaddoum, "Optical communication in space: Challenges and mitigation techniques", IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 19, no. 1, pp. 57-96, 2018.

24. "SpaceX non geostationary satellite system. Attachment A: Technical information to supplement", Schedule S, Nov. 2016, [online] Available: https://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1158350. (дата звернення 20.11.23)

25. F. Song, Y. Zhou, L. Chang and H. Zhang, "Modeling space terrestrial integrated networks with smart collaborative theory", IEEE Network, vol. 33, no. 1, pp. 51-57, Jan./Feb. 2019.

26. H. Zech, F. Heine, D. Tröndle, S. Seel, M. Motzigemba, R. Meyer, et al., "LCT for EDRS: LEO to GEO optical communications at 1.8 Gbps between Alphasat and Sentinel 1a", Proc. SPIE Security and Defence, 2015.

27. X Ji, L Ding and L Qian, "et Optimization of Global Coverage LEo Satellite Constellation Design[J]", Computer Simulation, vol. 34, no. 9, pp. 64-69, 2017.

28. M Yang, X Dong and M. Hu, "Design and simulation for hybrid LEO communication and navigation constellation[C]/ / Guidance", Navigation & Control Conference. IEEE, 2017.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Презентація по магістерській роботі на тему:

Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем

Виконав: студент
Олександр ХОВАНСЬКИЙ

Мета роботи

Мета роботи – пошук шляхів покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем.

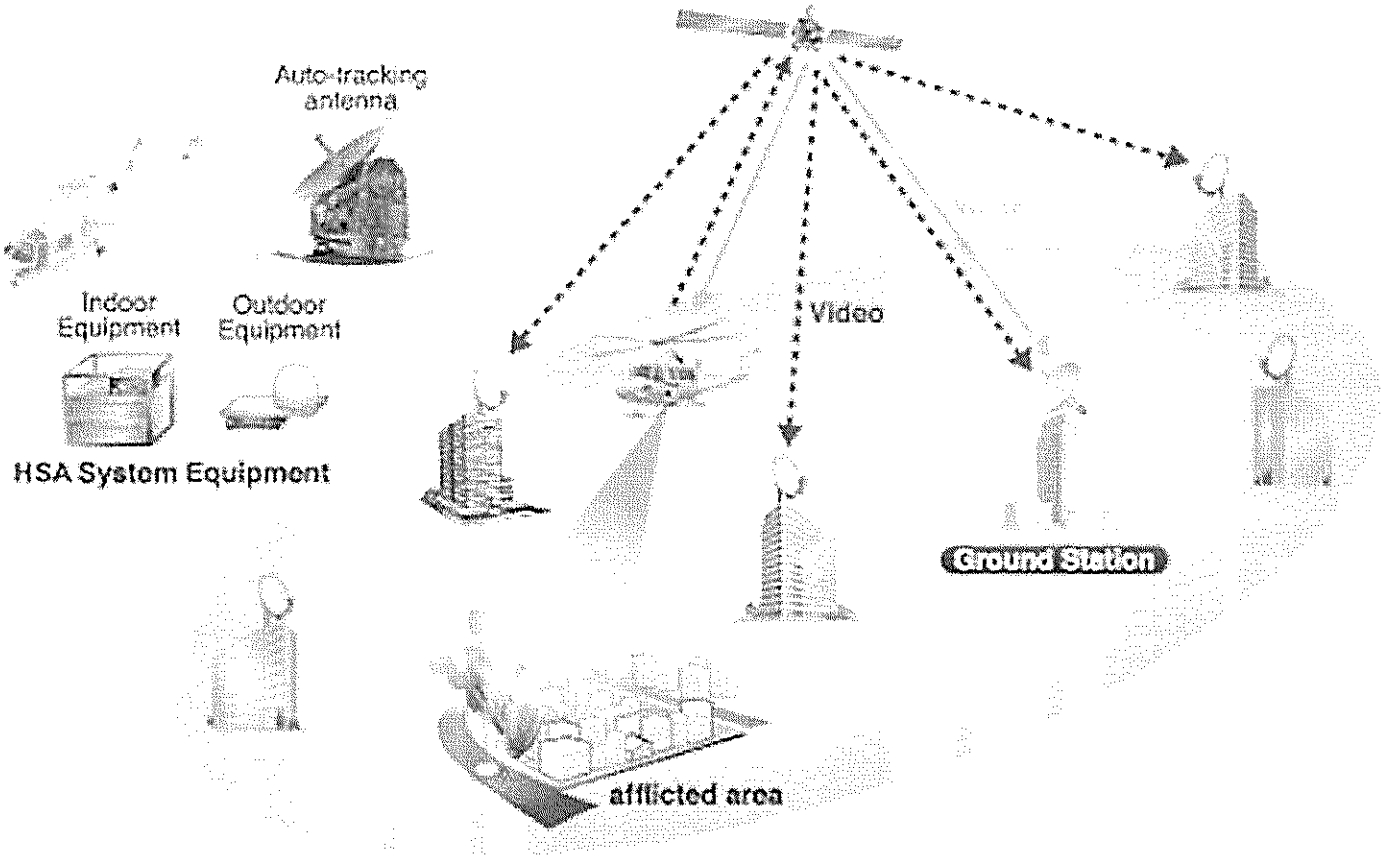
Об'єкт дослідження - процес обслуговування абонентів супутникових телекомунікаційних систем.

Предмет дослідження – методи підвищення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку.

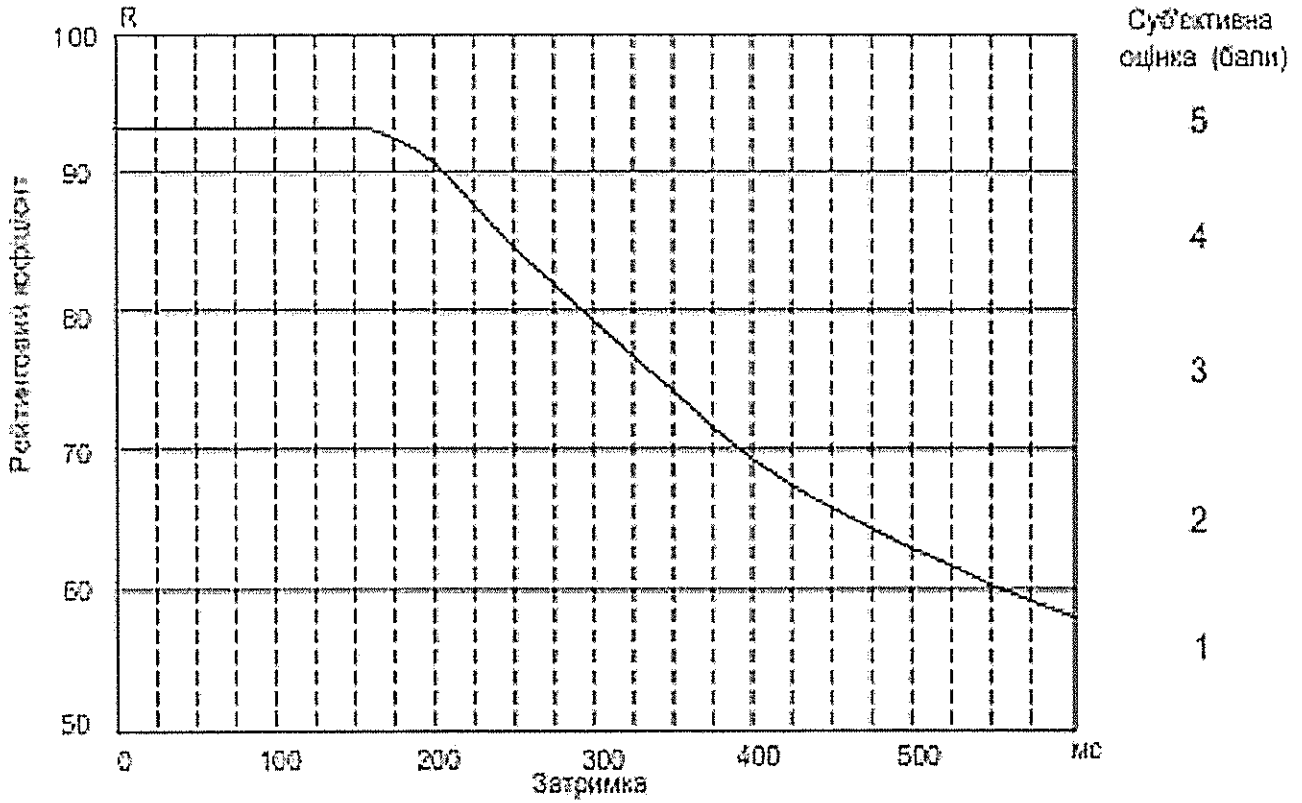
Визначення супутникових орбіт

Назва орбіти	Абревіатура	Висота орбіти (в кілометрах)
Низька навколоземна орбіта	LEO	200 – 1200
Середня навколоземна орбіта	MEO	1200 – 35790
Геосинхронна орбіта	GSO	35790
Геостаціонарна орбіта	GEO	35790
Висока навколоземна орбіта	HEO	Вище 35790

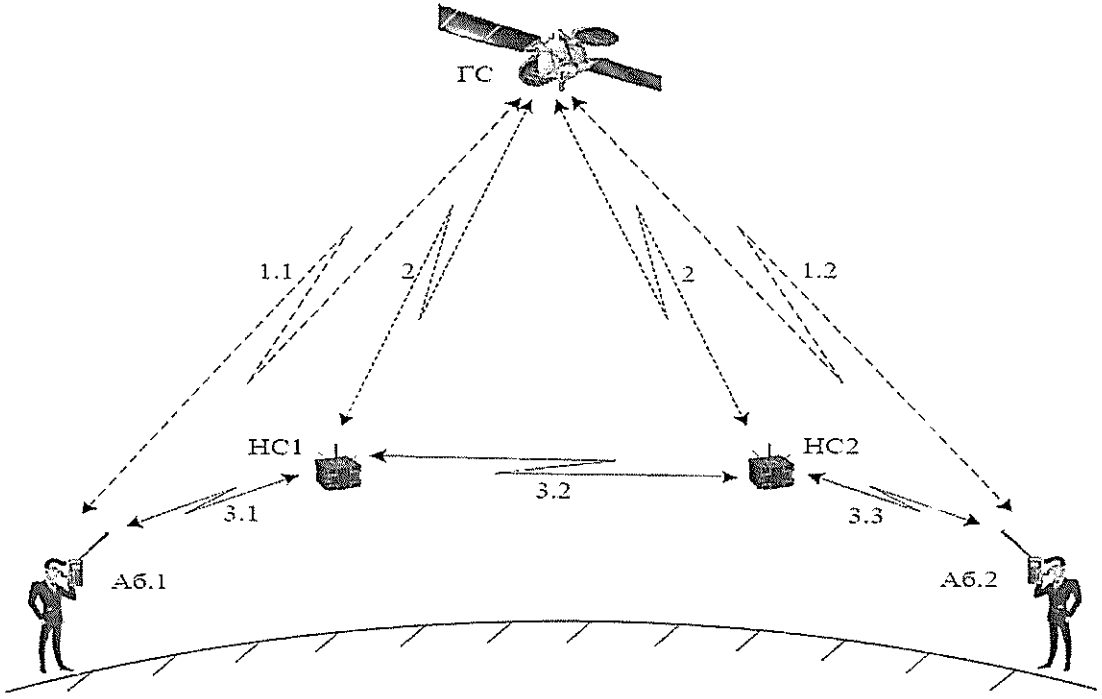
Загальна схема зв`язку СТС



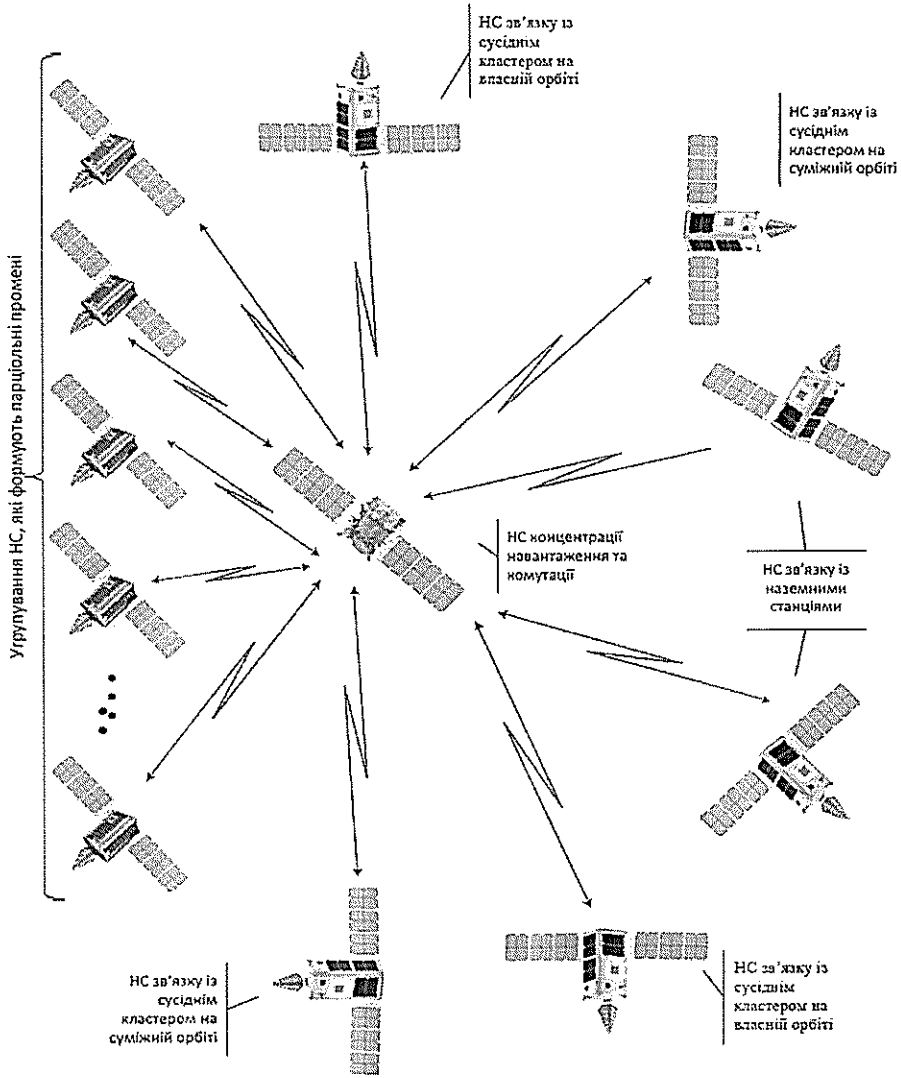
Залежність якості передачі мови від затримки сигналу



Етапи встановлення з'єднання та проходження сигналів між абонентами



Запропонована архітектура кластеру із НС



Висновки

В даній роботі виконано пошук шляхів покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем.

Розділ 1 надає відомості щодо поточного стану сучасних ССЗ, структури системи супутникового зв'язку. Проведений аналіз даних систем та проблеми які виникають.

В розділі 2 проведено аналіз принципів побудови глобальних систем супутникового зв'язку. Показано що системи з апаратами на геостаціонарній орбіті незважаючи на ряд переваг, мають один суттєвий недолік - а саме значну затримка сигналу.

В 3 розділі для впровадження методу покращення якості обслуговування абонентів персонального супутникового зв'язку пропонується застосування наносупутників (НС). Виконано оцінку можливостей забезпечення автономної роботи НС виходячи з енергетичних показників. Розраховано показники якості передачі мови в залежності від затримки сигналу.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр ХОВАНСЬКИЙ

Назва: Методи покращення роботи супутникових телекомунікаційних систем

Координатор: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :9.9

Коефіцієнт подібності 2 :5.6

Тривога: 8

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*