

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Навчальна дисципліна:

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

Радіорелейні та супутникові системи передачі

Доцент кафедри Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій,
кандидат технічних наук

Педяш Володимир Віталійович

2025 рік

Зміст

Вступ.....	3
Лекція 1. Основні принципи побудови РРСП.....	4
Лекція 2. Класифікація РРСП.....	8
Лекція 3. Цифрові радіорелейні системи передачі.....	15
Лекція 4. Супутникові системи зв'язку.....	19
Список рекомендованої літератури.....	29

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Телекомунікаційні системи та мережі» є однією з профільних дисциплін підготовки фахівців за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» і спрямована на формування у студентів системних знань про принципи побудови, функціонування та розвитку сучасних телекомунікаційних систем і мереж різного призначення.

Стрімкий розвиток інфраструктури зв'язку в Україні та світі, впровадження мереж п'ятого покоління 5G, масштабування хмарних обчислень і Інтернету речей висувають принципово нові вимоги до рівня теоретичної підготовки та практичних навичок майбутніх інженерів-телекомунікаційників. Фахівець галузі зобов'язаний вільно орієнтуватися в архітектурі мереж передавання даних, методах мультиплексування та принципах побудови цифрових систем передавання, що є базисом для засвоєння спеціальних дисциплін наступних курсів.

Лекція 1. Основні принципи побудови радіорелейних систем передачі (РРСП)

1.1. Роль радіорелейного зв'язку у сучасних телекомунікаційних мережах

Радіорелейний зв'язок є одним із ключових елементів сучасної телекомунікаційної інфраструктури. Незважаючи на стрімкий розвиток волоконно-оптичних мереж, радіорелейні системи передачі (РРСП) залишаються незамінними там, де прокладання кабельних ліній є технічно складним або економічно недоцільним. Це стосується передусім важкодоступних гірських районів, водних перешкод, малонаселених або нестабільних регіонів.

У сучасних телекомунікаційних мережах РРСП виконують функцію магістральних і розподільних ліній передачі, забезпечуючи транспортування голосового трафіку, відеопотоків та даних між базовими станціями мобільного зв'язку, вузлами комутації та корпоративними об'єктами. Завдяки своїй гнучкості та швидкості розгортання радіорелейні лінії широко застосовуються операторами мобільного зв'язку як рішення для організації бекхол-з'єднань.

Сучасні РРСП підтримують передачу потоків з пропускнуою здатністю від кількох мегабіт на секунду до кількох гігабіт на секунду, що відповідає вимогам мереж четвертого та п'ятого поколінь. Завдяки цьому радіорелейні системи органічно вписуються в архітектуру гетерогенних мереж, доповнюючи дротову інфраструктуру та розширюючи зону охоплення телекомунікаційних послуг.

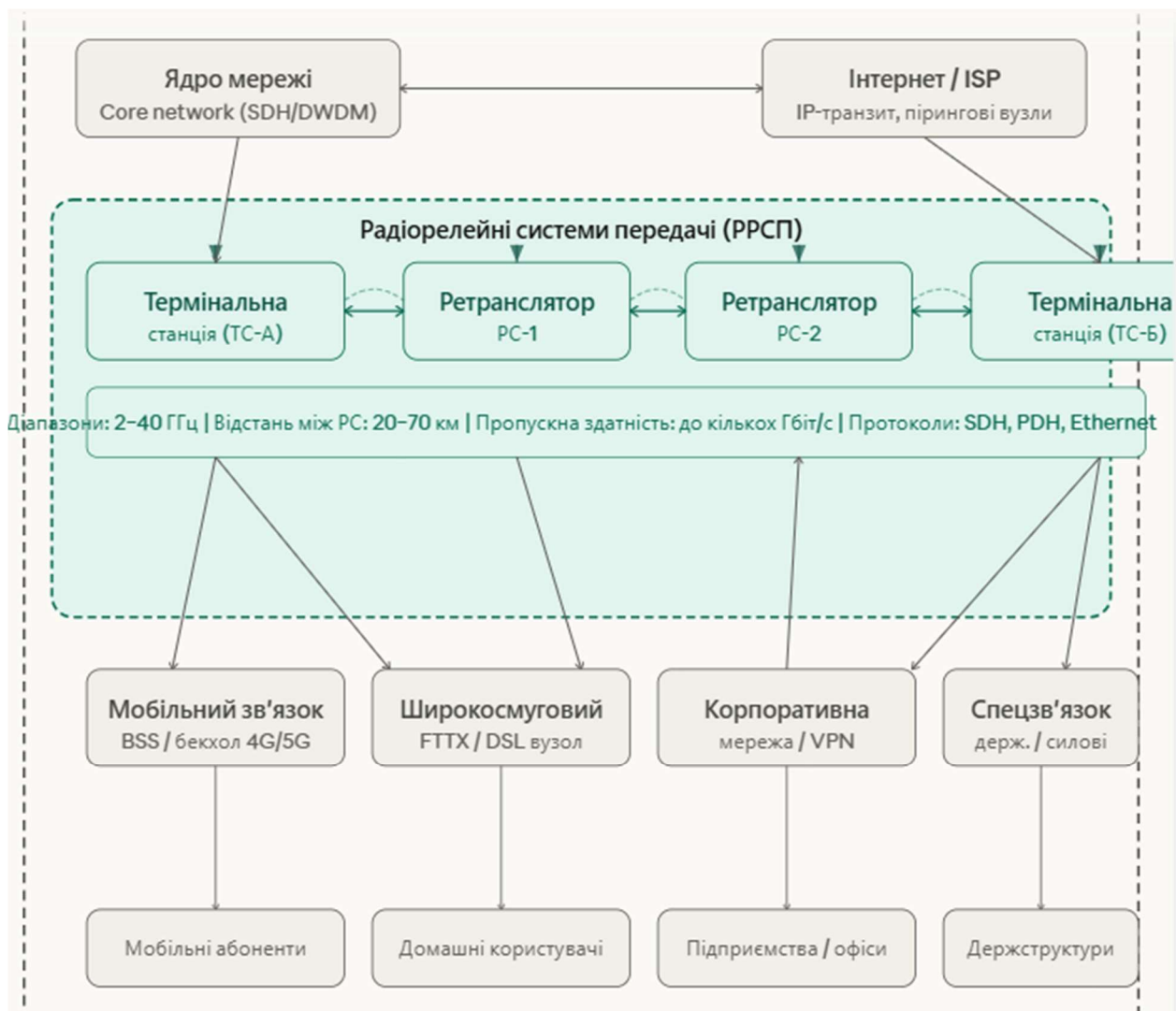


Рисунок 1.1 – РРСР у структурі сучасної телекомунікаційної мережі

1.2. Основні компоненти та технології радіорелейних систем

Радіорелейна система передачі складається з декількох функціональних блоків, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні надійної та якісної передачі інформації. До основних компонентів РРСР належать: термінальне обладнання, антенно-фідерні пристрої, підсилювачі потужності, блоки модуляції та демодуляції, а також системи управління та моніторингу.

Термінальне обладнання РРСП включає передавальний і приймальний тракти, де здійснюється перетворення базового сигналу у радіочастотний і навпаки. Сучасні системи використовують цифрову обробку сигналів, що дозволяє значно підвищити ефективність використання частотного спектра та покращити якість передачі.

Антенно-фідерна система забезпечує спрямовану передачу і прийом радіосигналів між ретрансляторами. Для РРСП прямого бачення переважно застосовуються параболічні антени з високим коефіцієнтом спрямованої дії, що дозволяє зосередити енергію в вузькому пучку і зменшити втрати на трасі.

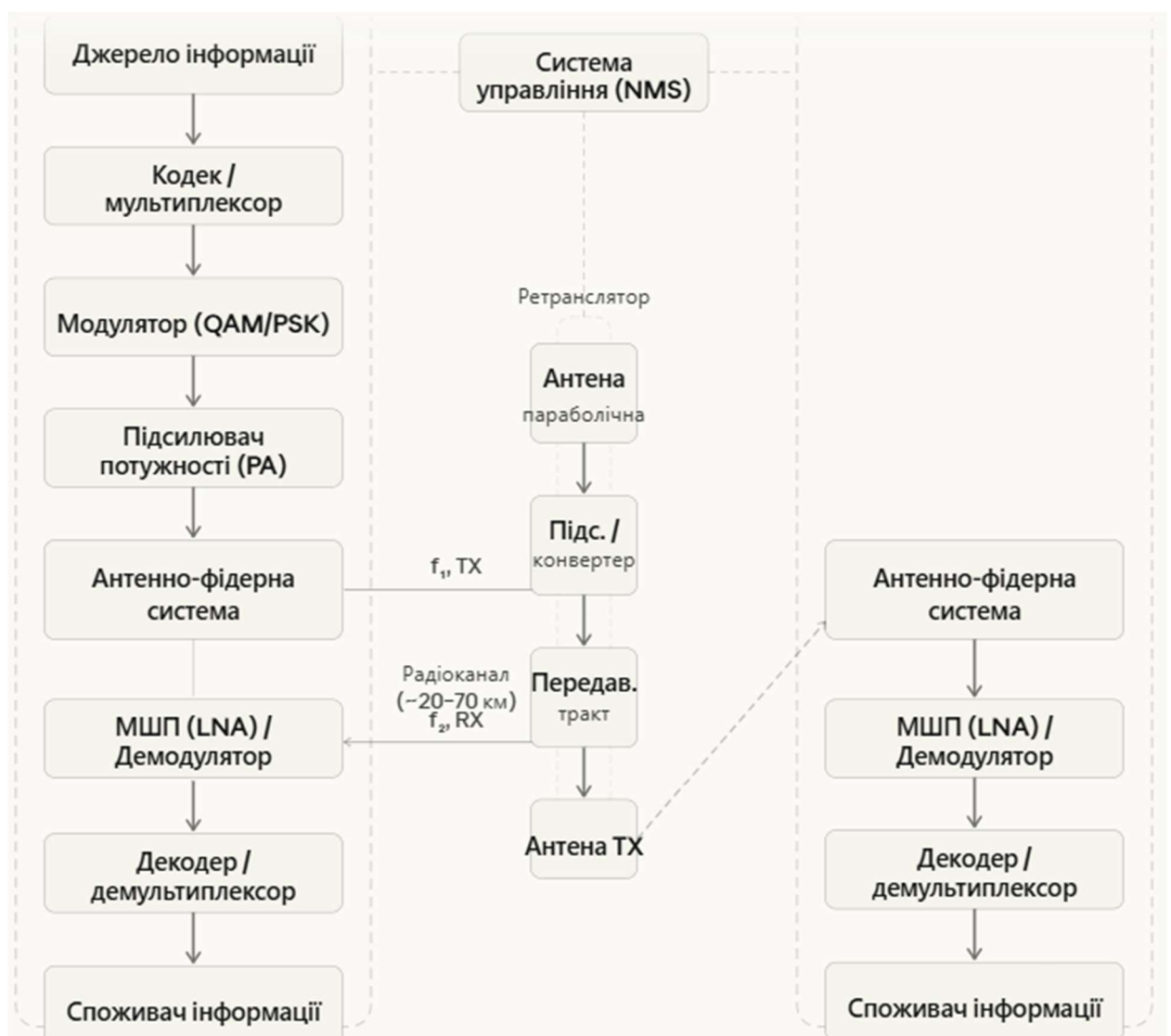


Рисунок 1.2 – Структурна схема основних компонентів радіорелейної системи

1.3. Інноваційні технології та перспективи розвитку РРСП

Сучасна індустрія радіорелейного зв'язку переживає період активного технологічного оновлення. Впровадження адаптивної модуляції дозволяє системам автоматично змінювати схему модуляції залежно від поточних умов поширення сигналу, зберігаючи зв'язок навіть при погіршенні завадової обстановки або атмосферних умов.

Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) знаходить все ширше застосування в радіорелейних системах, дозволяючи збільшити пропускну здатність без розширення смуги частот. Спільно з методами просторового мультиплексування це відкриває можливість передачі потоків з пропускну здатністю понад 10 Гбіт/с на одній радіорелейній ланці.

Розвиток технологій міліметрового діапазону хвиль (E-band: 71–76 ГГц та 81–86 ГГц) дозволяє організовувати надвисокошвидкісні з'єднання для ущільнення міської інфраструктури. У перспективі очікується подальша інтеграція РРСП із хмарними системами управління мережею та штучним інтелектом для автоматизованої оптимізації маршрутів і ресурсів.

Лекція 2. Класифікація РРСП

2.1. Радіорелейні системи прямого бачення, тропосферні та супутникові системи передачі

За принципом поширення радіохвиль системи радіорелейного зв'язку поділяють на три основних класи: системи прямого бачення, тропосферні та супутникові. Кожен з цих класів має власні технічні характеристики, застосовується в різних умовах і призначений для вирішення різних завдань.

Системи прямого бачення (Line-of-Sight, LoS) організовуються між станціями, між якими існує пряма геометрична видимість. Відстань між ретрансляторами у таких системах, як правило, становить від 20 до 70 км і визначається рельєфом місцевості та висотою встановлення антен. Для роботи в діапазонах від 2 до 40 ГГц такі системи забезпечують найкращі характеристики якості та ефективності.

Тропосферний розсіювальний зв'язок використовує ефект розсіювання радіохвиль неоднорідностями тропосфери для забезпечення зв'язку на відстанях від 100 до 800 км, що значно перевищує можливості систем прямого бачення. Незважаючи на більш складне обладнання та нижчу пропускну здатність порівняно з LoS-системами, тропосферні системи знаходять застосування у воєнних і спеціальних комунікаціях.

2.2. Характеристики та параметри радіорелейних з'єднань

Основними параметрами, що характеризують якість та ефективність радіорелейного з'єднання, є: потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени, втрати у вільному просторі, шумова температура приймача та запас змирань. Ці параметри визначають енергетичний бюджет лінії зв'язку та дозволяють прогнозувати якість зв'язку в різних умовах.

Втрати у вільному просторі розраховуються за формулою Фрісса і зростають пропорційно квадрату відстані та квадрату робочої частоти. Тому зі збільшенням робочої частоти необхідно або скорочувати відстань між ретрансляторами, або збільшувати коефіцієнт підсилення антен для підтримання необхідного рівня сигналу на вході приймача.

Важливою характеристикою є також коефіцієнт шуму приймача, що визначає мінімальний рівень сигналу, при якому забезпечується задане відношення сигнал/шум. Сучасні малошумні підсилювачі на основі польових транзисторів дозволяють досягти коефіцієнта шуму менше 2 дБ, що значно збільшує енергетичний запас системи.

2.3. Спектральні характеристики та пропускна здатність радіоканалів

Спектральна ефективність радіорелейного каналу визначається як відношення пропускної здатності до ширини смуги частот, що займається сигналом. Цей показник безпосередньо залежить від застосованого методу модуляції та від відношення сигнал/завада на вході демодулятора.

Зі зростанням вимог до пропускної здатності радіорелейних систем відбувається перехід до більш складних методів модуляції: від QPSK до 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM і навіть 1024-QAM. При цьому спектральна ефективність зростає, однак система стає більш чутливою до завад і вимагає більшого відношення сигнал/шум для забезпечення заданої достовірності.

Смуга частот, що виділяється для кожного радіорелейного каналу, нормована регуляторними органами і, як правило, становить від 3,5 до 56 МГц залежно від діапазону частот та обраного плану розподілу каналів. Завдяки адаптивній модуляції сучасні системи здатні динамічно змінювати спектральну ефективність, зберігаючи зв'язок у несприятливих умовах.

Енергетичний бюджет радіорелейного з'єднання

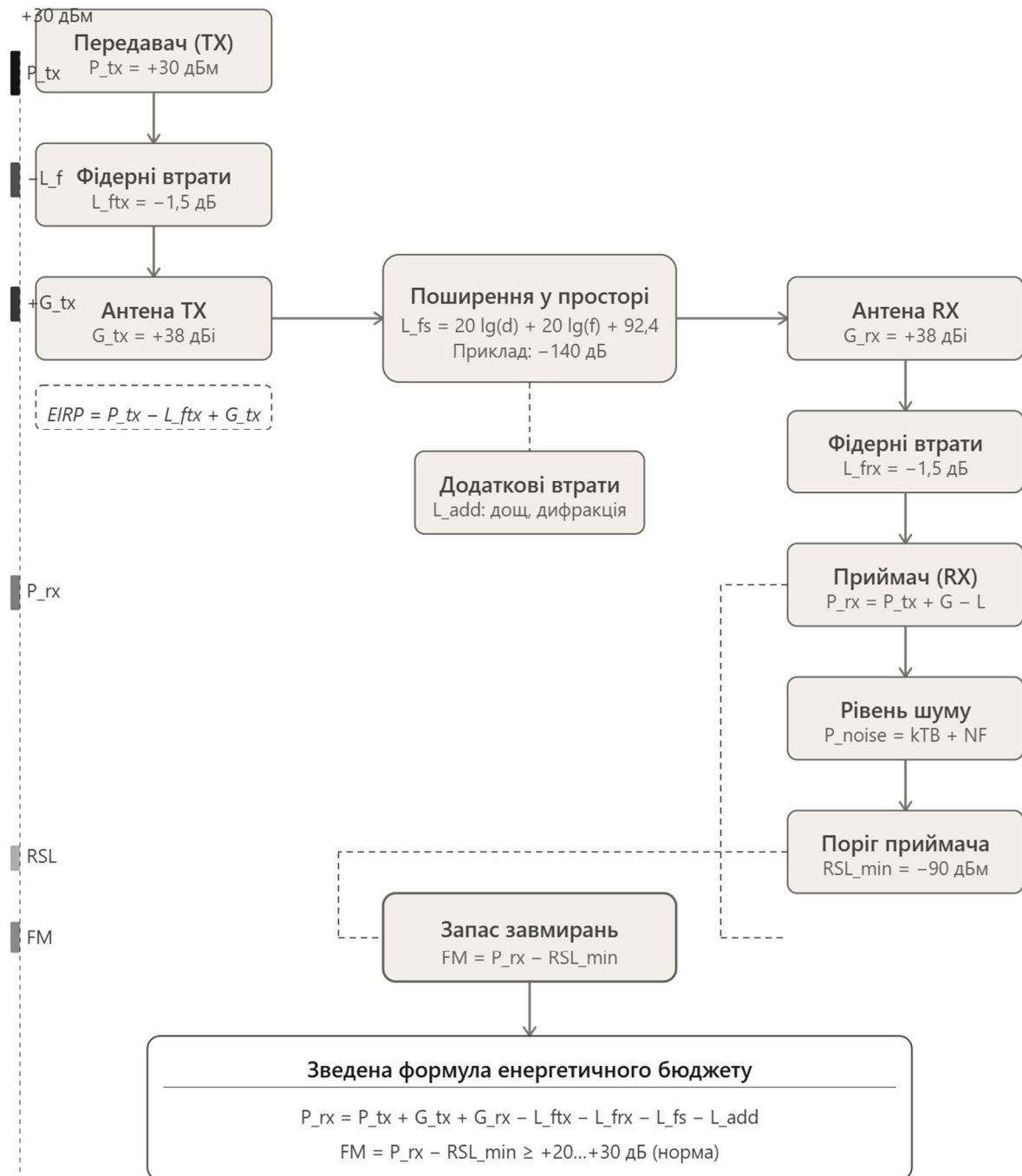


Рисунок 2.1 – Енергетичний бюджет радіорелейного з'єднання

2.4. Вплив шумів та спотворень на якість передачі

Основними факторами, що призводять до погіршення якості передачі в радіорелейних системах, є теплові шуми приймача, завмирання сигналу внаслідок атмосферних явищ та багатопроменеве поширення, а також міжканальні завади. Завмирання є однією з найбільш значущих причин перерв у зв'язку і може мати рефракційний, дифракційний або абсорбційний характер.

Для боротьби з завмираннями у радіорелейних системах застосовуються методи просторового та частотного рознесення, адаптивна корекція частотних спотворень, а також методи завадостійкого кодування. Просторове рознесення дозволяє зменшити глибину завмирань шляхом використання двох антен, рознесених у вертикальному напрямку.

2.3. Спектральні характеристики та пропускна здатність радіоканалів

Спектральна ефективність радіорелейного каналу визначається як відношення пропускної здатності до ширини смуги частот, що займається сигналом. Цей показник безпосередньо залежить від застосованого методу модуляції та від відношення сигнал/завада на вході демодулятора.

Зі зростанням вимог до пропускної здатності радіорелейних систем відбувається перехід до більш складних методів модуляції: від QPSK до 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM і навіть 1024-QAM. При цьому спектральна ефективність зростає, однак система стає більш чутливою до завад і вимагає більшого відношення сигнал/шум для забезпечення заданої достовірності.

Смуга частот, що виділяється для кожного радіорелейного каналу, нормована регуляторними органами і, як правило, становить від 3,5 до 56 МГц залежно від діапазону частот та обраного плану розподілу каналів. Завдяки

адаптивній модуляції сучасні системи здатні динамічно змінювати спектральну ефективність, зберігаючи зв'язок у несприятливих умовах.

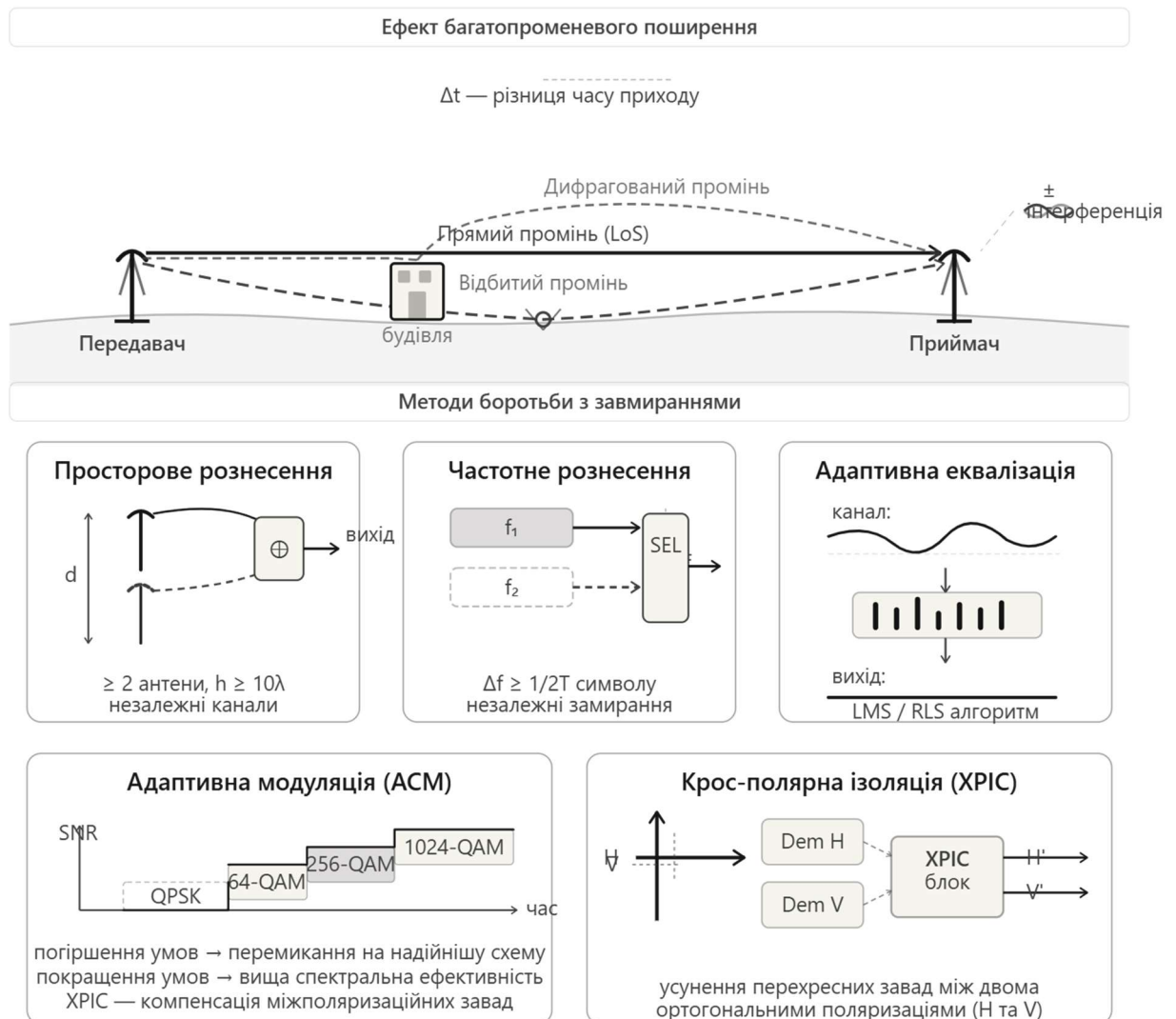


Рисунок 2.2 – Ефект багатопроменевого поширення та методи боротьби з замираннями

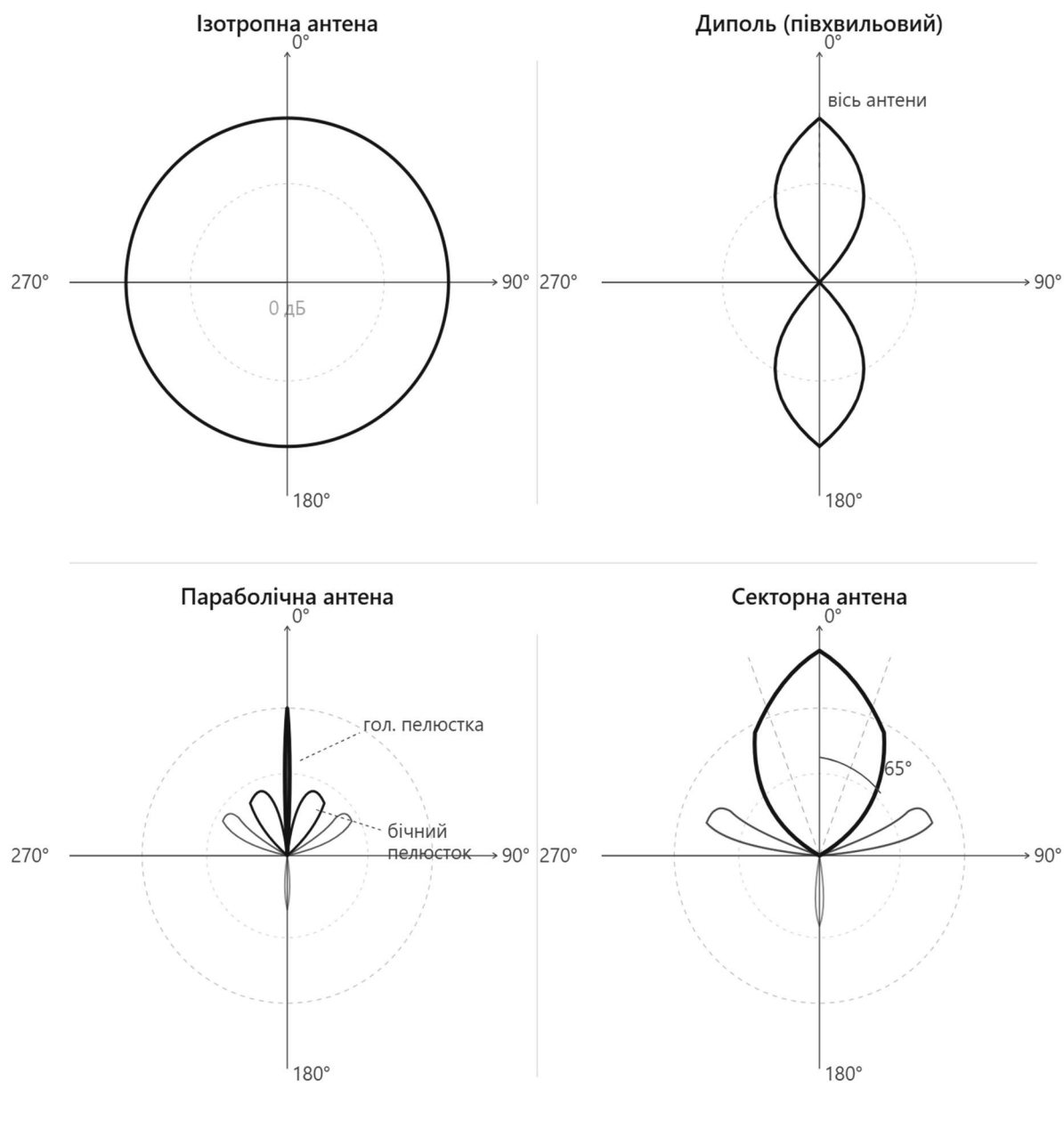
2.5. Вибір та конфігурація антен для радіорелейних систем

Антенна система є одним із найважливіших елементів радіорелейного зв'язку. Правильний вибір типу антени та її конфігурації безпосередньо впливає на якість, надійність та ефективність системи. Для РРСП прямого

бачення переважно використовуються параболічні антени різного діаметра з коефіцієнтом підсилення від 25 до 45 дБі.

Вибір діаметра антени є компромісом між коефіцієнтом підсилення, вартістю, габаритами та вітровим навантаженням на опору. Більший діаметр антени забезпечує вищий коефіцієнт підсилення і вузьку діаграму спрямованості, що дозволяє збільшити відстань між ретрансляторами, проте ускладнює точне наведення антени та підвищує навантаження на щоглу.

Напрявленість антени суттєво впливає на зону покриття та ефективність використання частотного ресурсу. Вузька діаграма спрямованості зменшує рівень завад від сусідніх радіорелейних ліній та дозволяє більш щільне частотно-просторове повторне використання частот у мережі РРСП. Правильне налаштування поляризації антени є додатковим засобом захисту від завад.



Порівняльні характеристики

Тип антени	КНД, дБі	Кут пром. гол. пелюстки	Примітка
Ізотропна	0	$360^\circ \times 360^\circ$	Теоретична
Диполь	2,15	$360^\circ \times 78^\circ$	Всенапрямна
Параболічна	30 – 45	$0,5^\circ - 3^\circ$	РРСП, РЛС
Секторна	15 – 20	$60^\circ - 120^\circ \times 7^\circ$	БС стільн.

Рисунок 2.3 – Діаграми спрямованості антен різних типів

Лекція 3. Цифрові радіорелейні системи передачі

3.1. Модуляція та кодування в радіорелейних системах

Цифрові радіорелейні системи передачі базуються на методах квадратурної амплітудної модуляції (QAM), що дозволяє досягти високої спектральної ефективності. Вибір конкретного методу модуляції – QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM або 1024-QAM – визначається умовами поширення сигналу на трасі, необхідною пропускнуою здатністю та допустимим рівнем завад.

При застосуванні QPSK кожен символ несе два біти інформації, тоді як при 256-QAM – вісім бітів. Відповідно, спектральна ефективність зростає у чотири рази, проте система стає значно чутливішою до завад: для забезпечення однакового коефіцієнта помилок при 256-QAM потрібне на 20–24 дБ більше відношення сигнал/шум, ніж при QPSK.

Завадостійке кодування відіграє ключову роль у забезпеченні надійності цифрових РРСП. Сучасні системи використовують коди Ріда-Соломона, турбо-коди або LDPC-коди, що дозволяють виправляти пакети помилок, характерних для замираючого радіоканалу. Поєднання адаптивної модуляції та завадостійкого кодування (ACM – Adaptive Coding and Modulation) є стандартним підходом для сучасних цифрових РРСП.

3.2. Планування мережі та оптимізація ресурсів

Планування мережі радіорелейного зв'язку є комплексним завданням, що включає вибір трас радіорелейних ліній, розміщення ретрансляторів, призначення робочих частот і поляризацій, а також визначення технічних характеристик обладнання. Для вирішення цих завдань використовуються спеціалізовані програмні комплекси, що враховують рельєф місцевості, дані про поширення радіохвиль і частотний ресурс.

При виборі місця розміщення ретрансляторів необхідно забезпечити відсутність перешкод у зоні Френеля, оцінити ймовірність і глибину можливих завмирань, а також передбачити можливість технічного обслуговування. На рівнинній місцевості ретранслятори розміщуються на висотних спорудах або спеціальних щоглах, тоді як у гірській місцевості використовуються природні підвищення рельєфу.

Оптимізація мережі передбачає ефективне використання частотного ресурсу шляхом частотно-просторового повторного використання, вибору оптимальної пропускної здатності для кожної ланки відповідно до поточного і прогнозованого трафіку, а також збалансованого розподілу навантаження між паралельними маршрутами.

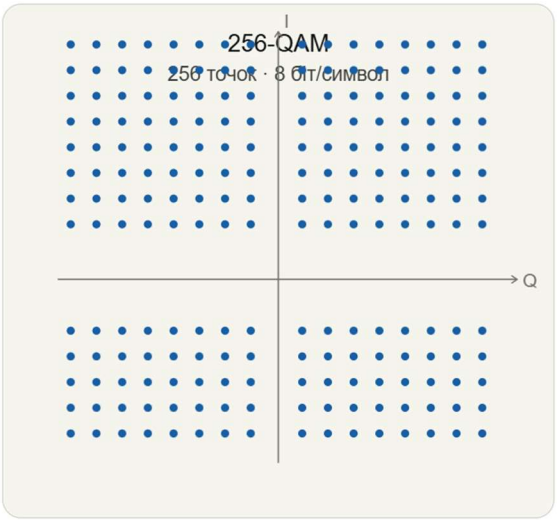
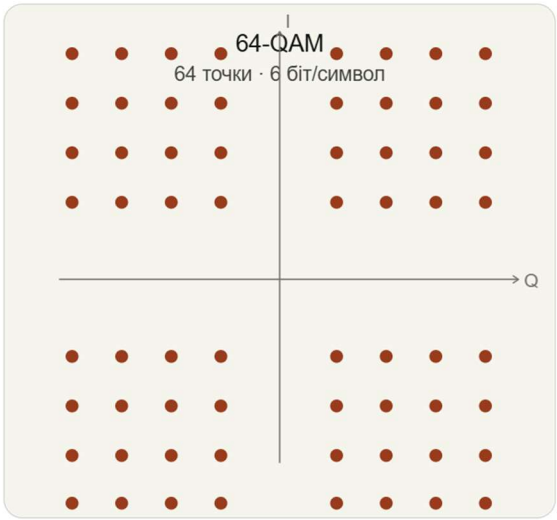
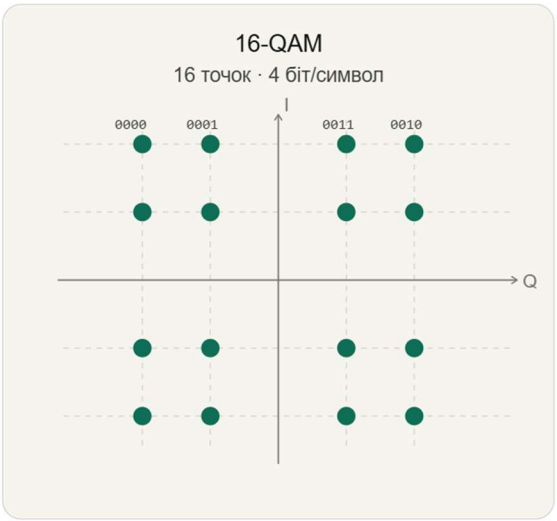
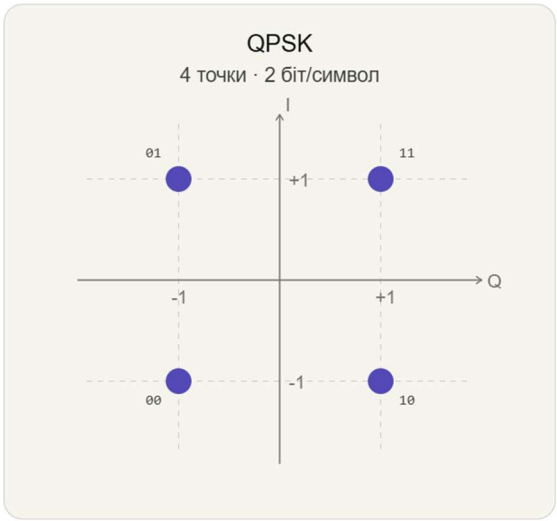
3.3. Автоматизоване управління та моніторинг радіорелейних систем

Сучасні цифрові РРСП оснащені розвиненими системами управління та моніторингу, що забезпечують централізований контроль всіх вузлів мережі з єдиного центру управління. Ці системи дозволяють у режимі реального часу відстежувати стан обладнання, рівні сигналів, показники якості передачі, а також оперативно виявляти і усувати несправності.

Протоколи управління SNMP і NETCONF, а також інтерфейс REST API забезпечують інтеграцію РРСП з корпоративними системами управління мережею (NMS). Завдяки цьому оператор може отримати повну картину стану всієї мережі радіорелейного зв'язку, незалежно від географічного розподілу вузлів.

Впровадження систем автоматизованого управління дозволяє реалізувати функції самодіагностики, автоматичного перемикання на резервні ресурси у разі відмови обладнання, а також адаптивного управління

параметрами передачі залежно від поточного стану каналу. Це значно підвищує надійність мережі і скорочує час відновлення зв'язку після аварій.



Порівняння схем модуляції				
Схема	Точок	Біт/символ	Відн. S/Ш (дБ)	Спект. ефект.
● QPSK	4	2	≈ 13	2 біт/Гц
● 16-QAM	16	4	≈ 20	4 біт/Гц
● 64-QAM	64	6	≈ 26	6 біт/Гц
● 256-QAM	256	8	≈ 34	8 біт/Гц

Вищий порядок = більше біт, але потрібне краще відношення сигнал/шум

Рисунок 3.1 – Сузір'я сигналів для різних схем QAM-модуляції

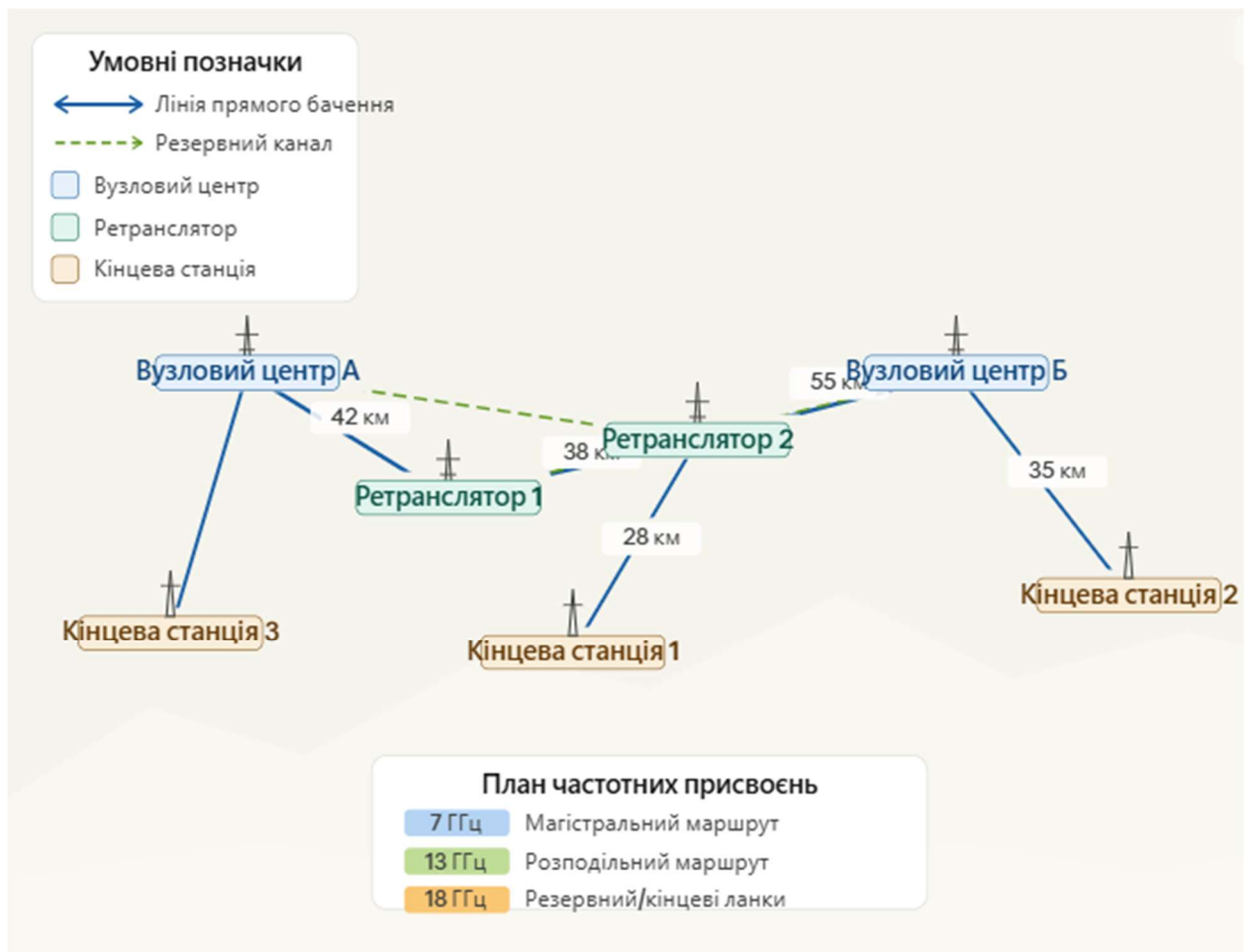


Рисунок 3.2 – Приклад схеми планування мережі РРСП

Лекція 4. Супутникові системи зв'язку

4.1. Роль та призначення супутникових систем зв'язку

Супутникові системи зв'язку займають особливе місце у структурі глобальної телекомунікаційної інфраструктури завдяки своїй унікальній здатності забезпечувати зв'язок на будь-яких відстанях, включаючи найвіддаленіші та малонаселені регіони планети. На відміну від наземних систем, супутниковий зв'язок не залежить від наявності наземної інфраструктури і може бути розгорнутий практично миттєво в будь-якій точці земної кулі.

Основними напрямками застосування супутникових систем є: забезпечення телефонного зв'язку і передачі даних у районах, де відсутня наземна інфраструктура; телевізійне та радіомовлення; навігаційні послуги; дистанційне зондування Землі; забезпечення зв'язку для рухомих об'єктів – морських суден, літаків, транспортних засобів; а також організація резервних каналів зв'язку для критично важливих об'єктів.

Сучасні супутникові системи зв'язку забезпечують широкосмуговий доступ до Інтернету, передачу голосу та відеоконференції, а також спеціалізовані послуги для урядових і військових структур. Вони відіграють ключову роль у системах раннього попередження про стихійні лиха та в операціях з ліквідації їх наслідків.

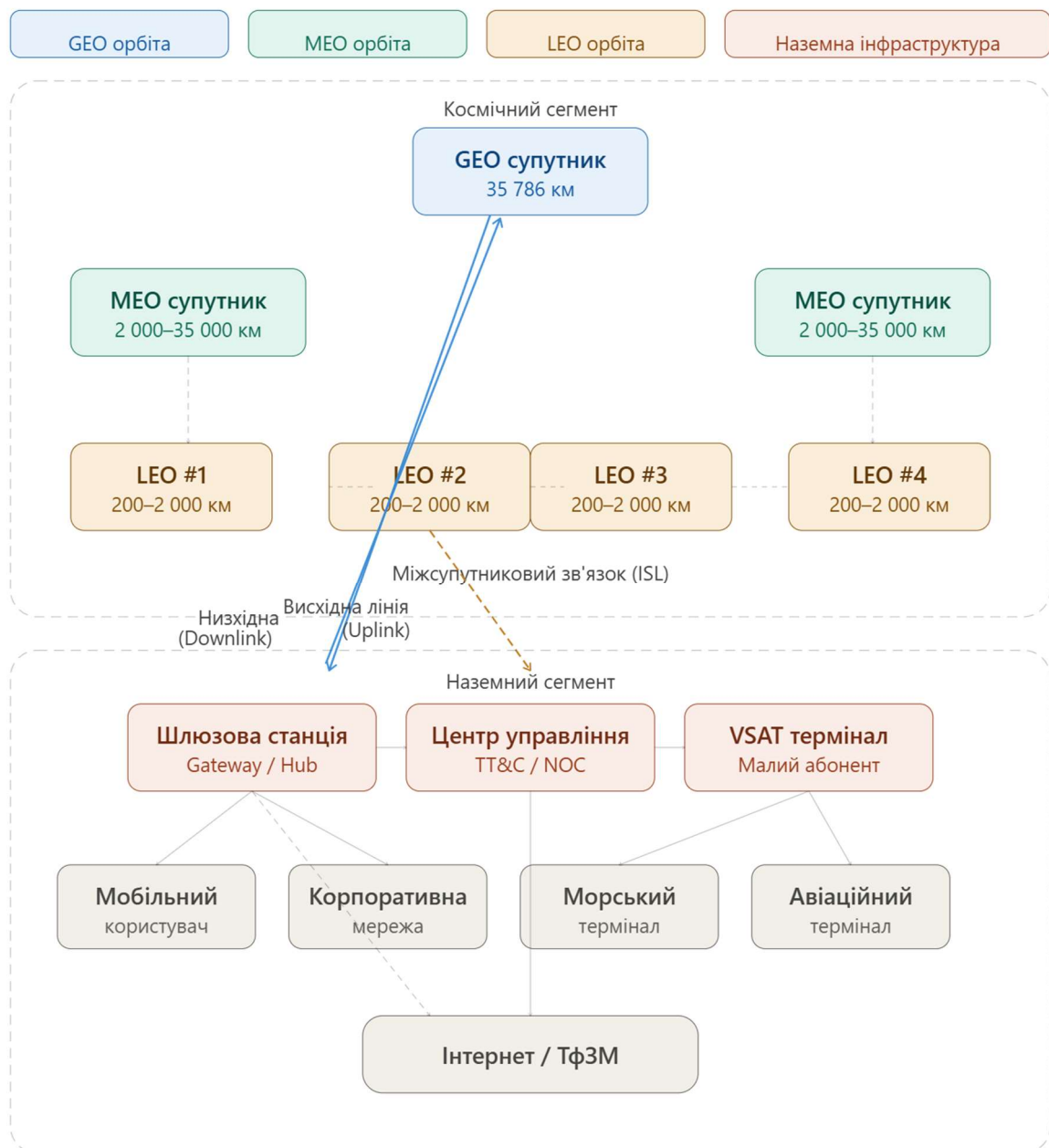


Рисунок 4.1 – Структура глобальної супутникової системи зв'язку

4.2. Історія розвитку супутникового зв'язку

Початок ери супутникового зв'язку пов'язаний із запуском першого штучного супутника Землі Sputnik-1 у 1957 році. Однак перший справжній комунікаційний супутник Telstar-1 був запусканий у 1962 році і вперше забезпечив трансатлантичну передачу телевізійного сигналу. Ці перші демонстрації відкрили нову епоху у глобальних комунікаціях.

У 1965 році на геостаціонарну орбіту був виведений перший комерційний супутник зв'язку Early Bird (Intelsat I), що забезпечив постійний двосторонній зв'язок між Північною Америкою та Європою. Починаючи з цього моменту, індустрія супутникового зв'язку розвивалася стрімкими темпами, і до кінця 1990-х років на орбіті функціонувало понад 200 активних супутників зв'язку.

На сучасному етапі розвитку спостерігається тенденція до розгортання великих низькоорбітальних угруповань супутників. Такі проекти, як Starlink, OneWeb та Amazon Kuiper, передбачають виведення тисяч малогабаритних супутників на низькі орбіти для забезпечення глобального широкосмугового доступу до Інтернету з мінімальними затримками.

4.3. Технічні характеристики супутникових транспондерів

Транспондер є основним функціональним елементом супутника зв'язку, що забезпечує прийом сигналів з Землі, їх перетворення та ретрансляцію назад. Класичний транспондер складається з малошумного підсилювача вхідного сигналу, перетворювача частоти, смугового фільтра та підсилювача потужності.

Основними параметрами транспондера є смуга пропускання, яка зазвичай становить 36 або 72 МГц, вихідна потужність підсилювача потужності (TWTA або SSPA) від кількох десятків до кількох сотень ват, а також коефіцієнт шуму малошумного підсилювача. Ефективна ізотропно-випромінювана потужність (EIRP) сучасного транспондера може досягати 50–60 дБ·Вт у напрямку зони обслуговування.

Сучасні регенеративні транспондери здатні виконувати цифрову обробку сигналів безпосередньо на борту супутника: демодуляцію, декодування, комутацію та повторну модуляцію. Це дозволяє здійснювати

гнучку маршрутизацію між різними зонами обслуговування і значно підвищує ефективність використання ресурсів супутника.

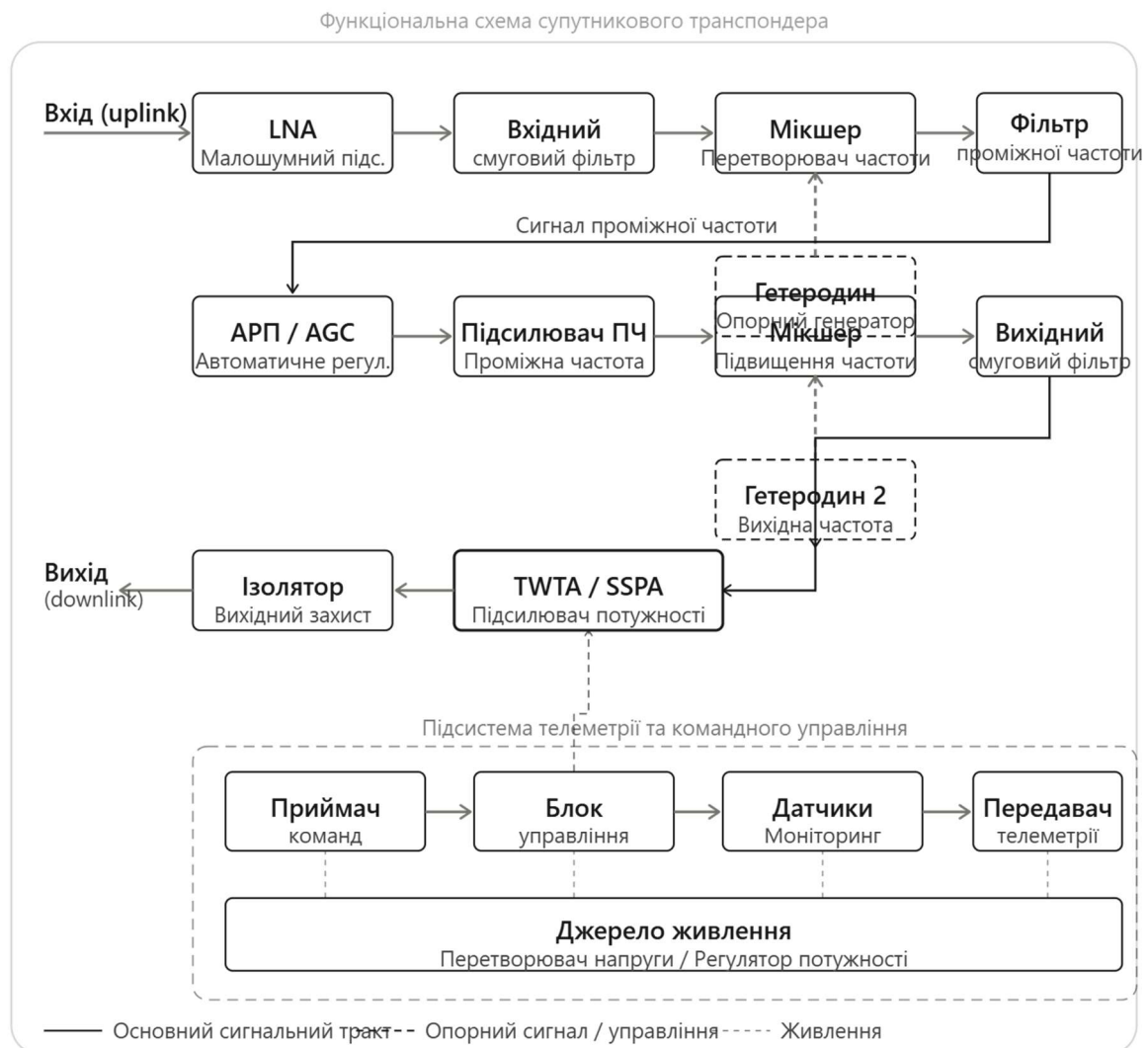


Рисунок 4.2 – Функціональна схема супутникового транспондера

4.4. Різновиди орбіт та їх вплив на зв'язок

Орбіта, на якій розміщується супутник зв'язку, є одним із найважливіших параметрів, що визначає характеристики системи. За висотою орбіти прийнято виділяти низькі (LEO, 200–2000 км), середні (MEO, 2000–35 786 км) та геостаціонарні (GEO, 35 786 км) орбіти.

Геостаціонарна орбіта є найбільш поширеною для систем фіксованого супутникового зв'язку та мовлення. Перебуваючи нерухомо відносно поверхні Землі, геостаціонарний супутник охоплює майже третину земної поверхні. Основним недоліком GEO є велика затримка поширення сигналу, що становить близько 250–280 мс в один бік, що ускладнює організацію інтерактивних сервісів.

Низькоорбітальні супутники (LEO) мають значно меншу затримку поширення сигналу – від 5 до 20 мс, що робить їх придатними для широкосмугового доступу до Інтернету з якістю, близькою до наземних з'єднань. Однак для забезпечення глобального і безперервного покриття необхідне угруповання з сотень або тисяч супутників, що суттєво ускладнює і здорожчує систему.

4.5. Модуляційні схеми для супутникових каналів

Вибір схеми модуляції для супутникового каналу визначається, в першу чергу, значним загасанням сигналу на трасі Земля-супутник, обмеженою потужністю бортового підсилювача та необхідністю ефективного спільного використання ресурсів транспондера різними земними станціями.

Традиційно в супутникових системах застосовувалися фазові методи модуляції BPSK та QPSK через їх стійкість до нелінійних спотворень, що виникають при роботі бортового підсилювача потужності в режимі насичення. Вищий порядок модуляції, наприклад 8PSK або 16APSK, використовується у системах DVB-S2 та DVB-S2X для підвищення спектральної ефективності при передачі цифрового телебачення.

У сучасних широкосмугових супутникових системах активно впроваджується адаптивна схема кодування та модуляції (ACM), яка дозволяє

кожній земній станції отримувати оптимальні параметри передачі залежно від поточних атмосферних умов. При ясном небі станція може використовувати 32APSK з кодовою швидкістю 9/10, тоді як під час дощових опадів переходить до QPSK з більш надійним кодуванням.

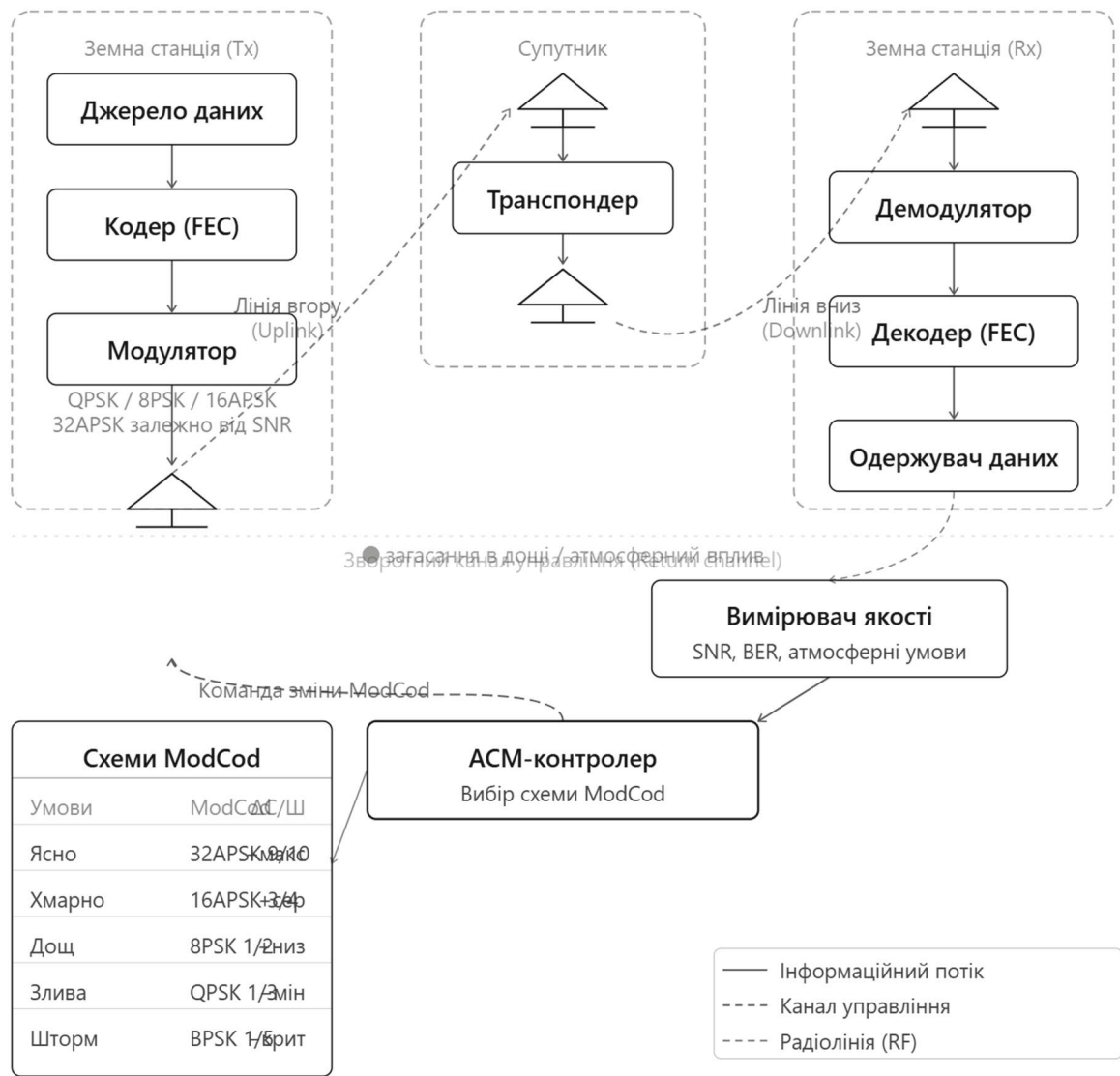


Рисунок 4.3 – Схема адаптивної модуляції та кодування у супутниковому каналі

4.6. Супутникові антени та антенні системи

Земна антенна система є критично важливим елементом супутникового термінала. Від характеристик антени значною мірою залежить ефективність прийому слабкого сигналу від супутника та якість переданого сигналу. Найбільш поширеним типом антен для фіксованого прийому від геостаціонарних супутників є параболічні антени різного діаметра – від 0,6 м для споживчого прийому до 9–13 м для магістральних земних станцій.

Антени VSAT-терміналів (Very Small Aperture Terminal) мають діаметр від 0,75 до 2,4 м і призначені для організації корпоративних мереж, доступу до Інтернету та спеціалізованих додатків. Завдяки компактним розмірам і можливості монтажу на даху будівлі або транспортному засобі VSAT-антени отримали широке розповсюдження для організації зв'язку в місцях, де відсутні наземні мережі.

Для забезпечення зв'язку з рухомими об'єктами – судами, літаками, наземними транспортними засобами – застосовуються стабілізовані антенні системи з активним гіроскопічним або електронним наведенням на супутник. Системи з фазованою антенною решіткою дозволяють здійснювати електронне сканування без механічного повороту, що є значною перевагою для рухомих платформ.

4.7. Використання супутників для глобального покриття Інтернету

Супутниковий ширококутовий Інтернет є одним із найбільш динамічно розвиваючихся сегментів телекомунікаційного ринку. Завдяки глобальному охопленню супутникові системи дозволяють надавати послуги доступу до Інтернету в районах, де відсутня або є нерозвиненою наземна інфраструктура, включаючи сільські та важкодоступні регіони.

Перехід до низькоорбітальних угруповань супутників кардинально змінює підхід до організації супутникового Інтернету. Затримки в мережах LEO порівнянні з наземними широкосмуговими з'єднаннями, що відкриває можливість використання супутникового Інтернету для чутливих до затримок додатків: відеоконференцій, хмарних ігор, фінансових транзакцій.

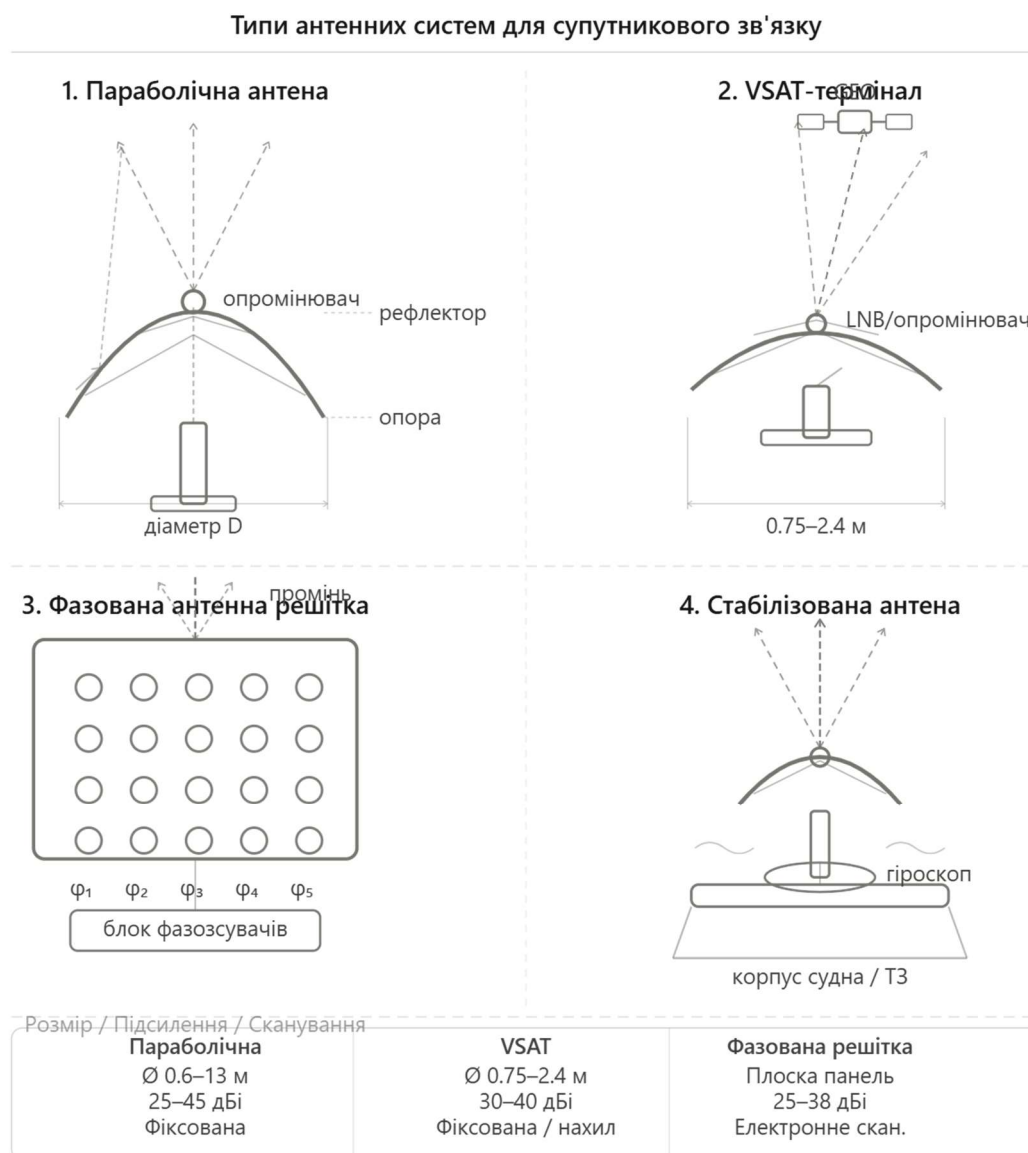


Рисунок 4.4 – Типи антенних систем для супутникового зв'язку

Важливим напрямком є інтеграція супутникових і наземних систем зв'язку в єдину гетерогенну мережу. Відповідно до концепції Non-Terrestrial Networks (NTN) стандарту 5G, супутникові сегменти стануть невід'ємною частиною мобільних мереж п'ятого покоління, забезпечуючи повне глобальне покриття для абонентів і машинних пристроїв.

4.8. Вплив міжнародних регуляцій на супутникові системи

Функціонування супутникових систем зв'язку регулюється на міжнародному рівні Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ-Р), що є спеціалізованим агентством ООН. МСЕ-Р здійснює координацію використання радіочастотного спектру та орбітальних позицій, веде міжнародний реєстр частотних присвоєнь і розробляє рекомендації та стандарти у сфері радіозв'язку.

Геостаціонарна орбіта є обмеженим природним ресурсом: кількість орбітальних позицій, придатних для використання у конкретних частотних діапазонах, обмежена. Для регулювання доступу до цього ресурсу МСЕ-Р встановив процедуру координації: нові супутникові мережі повинні пройти процедуру міжнародної координації з вже зареєстрованими системами, що може займати кілька років.

Розгортання великих низькоорбітальних угруповань поставило нові виклики перед системою міжнародного регулювання. МСЕ-Р розробляє нові підходи до регулювання LEO-систем, зокрема встановлює вимоги щодо термінів виведення супутників на орбіту після реєстрації, правила дерегуляції орбітальних позицій у разі їх невикористання, а також норми щодо запобігання засміченню космічного простору. Ці регуляторні заходи

спрямовані на забезпечення сталого розвитку космічної галузі в умовах стрімкого зростання кількості космічних апаратів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Голь В.Д., Ірха М.С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навчальний посібник. Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250 с.
2. Тарбаєв С.І., Домрачева К.О., Заїка В.Ф., Трембовецький М.П. Проектування інфокомунікаційних мереж. Навчальний посібник.. – Київ: ННІТІ ДУТ, 2019. – 151 с.
3. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. – Львів: Львівська політехніка, 2016. – 336 с.
4. Кайдан М. В., Климаш М. М., Стрихалюк Б. М. Напрямні системи телекомунікаційних мереж. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 488 с.
5. П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів. – К.:САММІТ-КНИГА, 2010. –640 С.: іл.
6. Буров Є.В. Комп'ютерні мережі: Підручник / Буров Є.В., Митник М.М. За заг. ред. Пасічника В.В. Львів: Магнолія 2019. – 204 с.
7. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львівська політехніка, 2016. – 336 с.
8. Комп'ютерні мережі. Локальні комп'ютерні мережі. Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму. [Текст] / Уклад.: О.Ю. Кулаков, Р.Ю. Берест – К.: НТУУ «КПІ», 2012. –164 с.
9. Комп'ютерні мережі. Загальні принципи функціонування комп'ютерних мереж : Навчальний посібник / С. В. Мінухін, С. В. Кавун, С. В. Знахур. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 210 с.