

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	14
1 ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНИХ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ.....	16
1.1 Історія розвитку бездротових телекомунікаційних систем та мереж.....	16
1.2 Інфрачервоне випромінювання.....	17
1.3 Лазерне випромінювання.....	19
1.4 IEEE 802.11.....	21
1.5 HIPERLAN.....	22
1.6 Bluetooth.....	23
1.7 Технологія SST.....	25
1.8 Технологія VSAT.....	25
1.9 Історія технологій стільникового зв'язку.....	29
1.10 Перше покоління стільникового зв'язку (1G).....	32
1.11 Друге покоління стільникового зв'язку (2G, 2.5G, 2.75G).....	33
1.12 Третє покоління стільникового зв'язку (3G).....	38
1.13 Четверте покоління стільникового зв'язку (4G).....	41
2 П'ЯТЕ ПОКОЛІННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	44
2.1 Загальні відомості про мережі п'ятого покоління (5G).....	44
2.2 Впровадження мереж п'ятого покоління в світі та в Україні.....	46
2.3 Технології та принципи побудови мереж п'ятого покоління.....	55
2.4 Багатоканальна передача даних в мережах зв'язку 5G.....	66
2.5 Труднощі побудови мереж п'ятого покоління.....	68
2.6 Послуги та швидкість мереж п'ятого покоління.....	70
3 МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ.....	73
3.1 Побудова мобільних мереж 5G на базі багатовимірних сигналів...73	73
3.2 Розрахунок покриття базових станцій стільникового зв'язку.....	80

3.3 Параметри, які впливають на якість з'єднання.....	81
3.4 Розрахунок площі покриття.....	86
ВИСНОВОК.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	90
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

2G	(2 nd Generation) Друге покоління мобільного зв'язку.
3G	(3 rd Generation) Третє покоління мобільного зв'язку.
3GPP	(3 rd Generation Partnership Project) Проект партнерства 3-го покоління.
4G	(4 th Generation) Четверте покоління мобільного зв'язку з підвищеними вимогами.
IT	(Information Technology) Інформаційні технології.
LTE	(Long Term Evolution) Назва мобільного протоколу передавання даних.
GSM	(Global System for Mobile) Глобальний стандарт цифрового зв'язку.
PCS	(Personal Communication Services) Персональні комунікаційні служби.
MIMO	(Multiple Input Multiple Output) Множинні входи, множинні виходи.
QAM	(Quadrature amplitude modulation) Квадратурна амплітудна модуляція.
HIPERLAN	(High Performance LAN) Європейський стандарт безпроводових локальних мереж.
UMTS	(Universal Mobile Telecommunications System) Технологія стільникового зв'язку.
VoLTE	(Voice over LTE) Технологія передачі голосу по мережі LTE.
VSAT	(Very Small Aperture Terminal) Мала спутникова наземна станція.
WiMAX	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) Телекомунікаційна технологія для надання універсального безпроводового зв'язку.
АТС	Автоматична телефонна станція.
БС	Базова станція.
ЛОМ	Локальна обчислювальна мережа.
ЛМ	Локальна мережа.

НКРЗІ	Національна комісія регулювання зв'язку та інформатизації.
ТМЗК	Телефонна мережа загального користування.
ML-MW	Функціональність, яка необхідна для проміжного забезпечення багатоканальної передачі даних.
XCF	Формат зберігання графічної інформації.
UPF	(Ultraviolet Protection Factor) Показник захисту від ультрафіолету.
SMF	(Simple Machine Forum) Безкоштовний інтернет-форум.
QoS	(Quality of Service) Технологія представлення різним класам трафіку різних пріоритетів в обслуговуванні.
IP	Маршрутизований протокол мережевого рівня стеку.
PPP	(Point-to-Point) Двох точечний протокол каналного рівня.
MLPPP	Багатоканальний протокол PPP.
MPTCP	Протокол управління передачею.
LAA	(Licensed-Assisted-Access) Особливість з неліцензованим діапазоном частот.
LWA	(LTE & WLAN Aggregation) Технологія визначена 3GPP.
eMBB	(enhanced Mobile Broadband) Розширення мобільна широкопasmова мережа.
URLLC	(Ultra-Reliable Low Latency Communication) Ультра надійний зв'язок із низькою затримкою.
mMTC	(Massive Machine-Type Communications) Масивна парадигма комунікацій.
VR	(Virtual Reality) Віртуальна реальність.
AR	(Augmented Reality) Доповнена реальність.
BI	Комп'ютерні методи та інструменти організації.
NI	(Network Intelligence) Технологія концепції та можливості глибокої перевірки пакетів.
IoT	Інтернет речей.
ІК	Ієрархічна конструкція.

ЦЗС	Центральна земна станція.
NR	Стандарт New Radio.
ГГц (Гц)	Одиниця виміру – гігагерц (герц).
Wi-Fi	(Wireless Fidelity) Технологія бездротової передачі даних.
ARPU	Середній дохід на одного користувача.
mmWave	Міліметрові хвилі.
MFH	Архітектура Mobile Fronthaul.
MBH	Архітектура Mobile Backhaul.
CPRI	(Common Public Radio Interface) Загальний відкритий радіоінтерфейс.
RoE	(Return On Equity) Коефіцієнт рентабельності.
BBU	Цифровий модуль базової станції.
RRH	Виносний блок базової станції.
GPS	(Global Positioning System) Система глобального позиціонування.
PTP	(Precision Time Protocol) Протокол точного часу.
BER	(Bit Error Rate) Кількість бітових помилок.
WDM	Мультиплексування з розподіленням по довжині хвиль.
D2D	(Device-to-Device) Принцип девайс до девайсу
RD	(Receive Diversity) Рознесений прийом сигналу.
SDN	Мережа передачі даних, в якій рівень управління мережею віддалений від пристрою передачі даних і реалізується програмно.
M2M	(Machine-to-Machine) Взаємодія машина до машини.
PC	(Polar Code) Полярний код.
ML-CP	Додаткова функція в контрольній площині.
ML-MW	Функціональність в площині даних.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Останнім часом світ стрімко розвивається в усіх галузях інфраструктури: ІТ технології, техніка, банки, сфери послуг, а також інформація та зв'язок тощо. Тема впровадження мереж 5G в світі доволі таки актуальна в наш час. Сьогодні ми маємо дуже велику кількість країн, в яких починають впроваджувати мережі п'ятого покоління. До таких країн можливо віднести: США, Китай, Японію, Південну Корею та країни Європи. Завдяки використанню зв'язку п'ятого покоління в наш час ми можемо дистанційно, маючи в руках лише смартфон, слухати музику, переглядати відео, дивитися фільми або телебачення, проводити живі трансляції, грати в онлайн ігри, з мінімальними затримками проводити банківські операції, передавати великі файли на високій швидкості з мінімальною затримкою. Саме це полегшує наше життя, тому що ми тепер, наприклад, можемо дивитись фільми не тільки в кінотеатрі, чи на комп'ютері, а також і на смартфоні в високої якості не завантажуючи попередньо фільм, чи переводити гроші з одного рахунку на інший в один натиск. В цьому випадку використання виходу до Інтернету завдяки бездротового зв'язку – є однією з складових для отримання кінцевого результату описаних вище дій. В зв'язку з цим необхідно проаналізувати та порівняти розв'язання існуючих проблем для створення та розвитку мереж нового покоління на території України.

Ступінь наукової розробки. Висвітлюються та аналізуються розробки в загалом зарубіжних науковців в роботах яких описані аспекти, дослідження, труднощі розробки та розвитку цих мереж.

Об'єктом дослідження є мережі нового п'ятого покоління.

Предметом дослідження є дослідження методів створення та розвитку мереж нового покоління – 5G.

Мета та завдання. Визначення кроків розвитку та проблем, які впливають на гальмування розвитку зв'язку в цілому, в тому числі і зв'язку п'ятого покоління, визначення проблем, які можуть виникнути в подальшому розвитку та розширенні цих мереж в світі і також на території України, всі недоліки та переваги

розгортання, методи створення, підтримування та розвитку мереж 5G. Таким чином, актуальність вибраної теми підтверджується необхідністю дослідження методів та аналізу мереж зв'язку п'ятого покоління, а також стандартів 5G зв'язку.

Практичне значення одержаних результатів. Результати одержаних результатів представлені в публікаціях конференцій університету, таких як «Актуальні проблеми кібербезпеки» та «Сучасні інфокомунікаційні технології».

1 ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНИХ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Історія розвитку бездротових телекомунікаційних систем та мереж

В 1901 році італійський фізик Гульєльмо Марконі продемонстрував телеграфний зв'язок між кораблем та берегом за допомогою азбуки Морзе, що складається з крапок і тире, що вельми схоже на двійковий код. На сьогоднішній день цифрові радіосистеми володіють більш високою продуктивністю, проте в їх основі лежить та ж сама ідея [16].

Що ж таке взагалі бездротові, або бездротових мережі зв'язку? Дане поняття використовується для визначення класу технологій зв'язку та технологій передавання даних не використовуючи електричних провідників (так званих дротів або проводів). Зазвичай ця відстань може бути як малою (до декількох метрів), так і дуже великою (десятки тисяч кілометрів). В певному сенсі цей термін може вводити в оману, так як він означає повно відсутність проводів при використанні цих мереж. Але в більшості випадків виходить не так. Безпроводові компоненти мають взаємодію з мережею, в якій як основою передачі даних використовується кабель. Безпроводові технології різного типу (інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, GSM/GPRS/CDMA/LTE, оптичне та лазерне випромінювання, Bluetooth, Wi-Fi тощо) організують роботу мобільних телефонів, GPS-систем навігації, супутникового телебачення, безпроводової комп'ютерної периферії та безпроводних мереж різного рівня [17].

Останніми роками напрям бездротових комп'ютерних мереж та далекого віддаленого доступу зазнав стрімкого розвитку. Це зв'язано з поширенням переносних комп'ютерів, систем пошукового виклику та появою систем класу «персональний секретар», розширення функціональних можливостей мобільних телефонів. Дані системи мають забезпечити ділове планування, розрахунок часу, зберігання файлів та підтримку зв'язку з віддаленими станціями. Крім того, бездротові канали зв'язку затребувані там, де неможливо або дорого прокласти

кабельні лінії на великі відстані. Ще зовсім недавно більшість бездротових комп'ютерних мереж передавала дані зі швидкістю від 1,2 до 14,0 кбіт/с. Найчастіше передавали тільки короткі повідомлення, тому як передача файлів великих розмірів, або довгі сеанси інтерактивної роботи з базою даних були недоступні. В теперішній час технології бездротового передавання даних взаємодіють зі швидкостями в декілька десятків, а то і декілька сотень мегабіт за секунду [17].

Бездротові мережі зв'язку мають певні особливості і переваги, оскільки її компоненти можуть:

- Забезпечити тимчасові підключення до кабельної мережі.
- Допомогти організувати резервне копіювання у кабельну мережу.
- Гарантувати певний рівень мобільності.
- Дозволяти знімати обмеження на максимальну протяжність мережі, які накладаються мідними або навіть оптоволоконними кабелями.

Терміном передача даних називається фізичне перенесення даних цифрового (бітового) потоку у вигляді сигналів від точки до точки, або від точки до множини точок засобами електрозв'язку каналом зв'язку, як правило, для подальшої обробки засобами обчислювальної техніки. Способів передачі даних за допомогою бездротових технологій є багато, всі вони відрізняються своїми можливостями, характеристиками, особливостями та недоліками, а саме швидкістю та дальністю передачі даних [17].

1.2 Інфрачервоне випромінювання

В 1800 році англійський астроном Вільям Гершель, вивчаючи спектри сонця та зірок, виявив, що покази чутливого термометра в різних частинах спектру відрізняються: чим ближче термометр до червоного кінця спектра, тим вище його покази. Помістивши термометр за червоним кордоном спектра (в невидимій області), Гершель виявив, що покази термометра вирости. Випромінювання, яке знаходилося в цій області спектру, не сприймалося оком людини, але чутливий

прилад явно вказував на його наявність. Таким чином було відкрито інфрачервоне випромінювання [18].

Інфрачервоне випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що займає спектральну територію між червоною границею видимого світла з протяжністю хвилі в 700 нанометрів та мікрохвильовим випромінюванням з протяжністю хвилі в 1 міліметр. Також іноді інфрачервоне випромінювання називають інфрачервоним світлом. Усі інфрачервоні безпроводні мережі використовують для передачі даних інфрачервоні промені. У таких системах необхідно створювати дуже потужний сигнал, оскільки інакше значний вплив будуть здійснювати інші джерела, наприклад, світло з вікна. Даний спосіб дозволяє передачу сигналів з великою швидкістю, так як інфрачервоне світло має широкий діапазон частот. Інфрачервоні мережі можуть нормально функціонувати на швидкості 10 Мбіт/с. Інфрачервоні світлодіоди і фотодіоди можуть використовувати в пультах дистанційного керування (наприклад, для управління телевізором, кондиціонером тощо), системах автоматики, пожежних оповіщувачах, охоронних система... Вони ніяк не відволікають увагу люди в силу своїй невидимості. Де ще, крім передачі даних, застосовується інфрачервоне випромінювання? В приладах нічного бачення, що реєструють теплове випромінювання предметів оточення і перетворюють його у видиме зображення. У військовій техніці інфрачервоні промені використовують також для наведення ракет на теплове випромінювання літаків і гелікоптерів. Інфрачервоне випромінювання також знайшло своє застосування у промисловості для сушіння лакофарбових поверхонь. Також останнім часом інфрачервоне випромінювання дедалі частіше починають застосовувати для обігріву приміщень та вуличних просторів. Інфрачервоні обігрівачі використовуються для організації додаткового або основного опалення у приміщеннях, а також локального обігріву вуличного простору [18].

Присутні чотири види інфрачервоних мереж:

- Мережа прямої видимості. У даних мережах передача може бути лише у разі прямої видимості між приймачем і передавачем.

- Мережі на розсіяному інфрачервоному випромінюванні. При даній технології сигнали, які відображуються від стін і стелі, в решті-решт досягають приймача. В цьому виді ефективна територія дії обмежена приблизно до 30 метрів і швидкість передачі даних обмежена, невелика (унаслідок нерівномірності сигналу).
- Мережі на відбитому інфрачервоному випромінюванні. У даних мережах оптичні трансивери, які розташовані поряд з комп'ютером, можуть перевати сигнали в певне місце, де вони пересилаються вже відповідному комп'ютеру.
- Модульовані оптичні мережі. Дані інфрачервоні безпроводні мережі відповідають жорстким вимогам мультимедійного середовища і майже не поступаються в швидкості кабельним мережам. Але, хоча швидкість інфрачервоних мереж і зручність їх використання дуже привабливі, можуть виникати труднощі при передаванні сигналів на відстань понад 30 метрів. До того ж такі мережі схильні до перешкод з боку сильних джерел світла, які є в більшості організацій.

1.3 Лазерне випромінювання

Лазером називається прилад для генерування або підсилення монохроматичного світла, створення вузького пучка світла, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання при фокусуванні. Лазер працює за принципом, аналогічним принципіві роботи мазера. Лазери можуть використовуватися: для зв'язку (лазерний промінь може переносити набагато більше інформації, ніж радіохвилі), різання, пропалювання отворів, зварювання, спостереження за супутниками, медичних і біологічних досліджень [19].

Фізичною основою роботи лазера використовується квантовомеханічне явище вимушеного випромінювання. При цьому випромінювання лазера може бути безперервним, з постійною потужністю, або імпульсним, що досягає гранично великих пікових потужностей. У певних схемах робочий елемент лазера може

використовуватися як оптичний підсилювач для випромінювання від другого джерела. Створена велика кількість видів лазерів, яких використовують як робоче середовище всіх агрегатних станів. Деякі типи лазерів, наприклад, лазери на розчинах барвників або поліхроматичні твердотільні лазери, можуть генерувати цілий набір частот в широкому спектральному діапазоні. Габарити лазерів різняться від мікроскопічних для ряду напівпровідникових лазерів до розмірів футбольного поля для деяких лазерів на неодимовому склі. Унікальні властивості випромінювання лазерів дозволили використовувати їх в різних галузях науки і техніки, а також в побуті, починаючи з читання та запису компакт-дисків і закінчуючи дослідженнями в галузі керованого термоядерного синтезу [19].

Лазерна технологія схожа на інфрачервону тим, що вимагає прямої видимості між передавачем і приймачем. Якщо з якої-небудь причини промінь буде перерваний, то це перериве і передачу.

Спосіб радіопередачі у вузькому діапазоні (одночастотна передача) нагадує мовлення звичайної радіостанції. Користувачі настроюють передавачі і приймачі на певну частоту. При цьому пряма видимість необов'язкова, площа мовлення становить близько 46 500 квадратних метрів. Проте, оскільки використовується сигнал високої частоти, він не проникає через металеві або залізобетонні перешкоди. Доступ до такого способу зв'язку здійснюється через постачальника послуг. Зв'язок відносно повільний, близько 4,8 Мбіт/с. При способі радіопередачі у розсіяному спектрі сигнали передаються на декількох частотах, що дає змогу уникнути проблем, властивих одночастотній передачі [19].

Доступні радіочастоти розділені на канали. Адаптери протягом заданого проміжку часу налаштовані на певний канал, після чого перемикаються на інший. Перемикання всіх комп'ютерів в мережі відбувається синхронно. Цей спосіб передачі володіє деяким вбудованим захистом: щоб підслухувати передачу, необхідно знати алгоритм перемикання каналів. Якщо необхідно підсилити захист даних від несанкціонованого доступу, застосовується кодування. Швидкість передачі в 250 Кбіт/с відносить даний спосіб до розряду найповільніших [19].

Але є мережі, які передають дані зі швидкістю до 2 Мбіт/с на відстань до 3,2 кілометри, - це на відкритому просторі і до 120 метрів – усередині будівлі. Це той випадок, коли технологія дозволяє одержати по-справжньому бездротову мережу [19].

Федеральна комісія по з електрозв'язку США (Federal Communications Commission) надає такі категорії PCS (Personal Communication Services) та відповідні смуги частот:

- Вузкосмугові PCS для швидкісних пейджерних мереж, двонапрявленого передавання повідомлень, передавання повідомлень мовлення.
- Широкопсмугові PCS.
- Стільниковий зв'язок.
- Цифрове передавання мовлення та даних.
- Неліцензовані PCS.
- Бездротові ЛМ та АТС організацій у найближчому радіусі дії.
- У межах одного будинку та групи будівель.

Неліцензовані PCS можуть передавати дані зі швидкістю до 10 Мбіт/с.

1.4 IEEE 802.11

Також для передачі даних використовуються смуги частот радіо та ультракороткохвильового діапазону. Кожний радіомодем має антену та передавач для напрямленої передачі сигналів. Найпопулярнішими технологіями безпроводної передачі цього класу є: Ethernet (IEEE 802.11), HIPERLAN, Bluetooth.

IEEE 802.11 – це сімейство технологій безпроводового передавання в радіодіапазоні 2,4, 3,6 та 5 ГГц. В наш час сама популярна технологія стандарту IEEE 802.11b, вона надає можливість передавати дані зі швидкістю до 11 Мбіт/с на відстані від кількох до десятків кілометрів. Вихідна швидкість буде залежити від рівня завад та обладнання, яке використовується. На базі IEEE 802.11b будують бездротові локальні мережі Wireless LAN (WLAN). Група стандартів IEEE 802.11 фактично визначає фізичний та каналний рівень протоколів передавання.

Стандарти відрізняються реалізаціями фізичних рівнів передавання, забезпечують різні швидкості [20].

- IEEE 802.11 – це попередня версія стандарту, відома як Wireless Ethernet. На сьогоднішній день вважається дуже застарілою.
- IEEE 802.11b – ця версія забезпечує максимальну швидкість передавання 11 Мбіт/с та використовує 14 каналів у діапазоні 2,4 ГГц.
- IEEE 802.11a – забезпечує передавання на швидкості до 54 Мбіт/с, працює в діапазоні 5 ГГц та має 12 каналів передавання. У ній використовують два піддіапазони передавання 5.15-5.25, 5.25-5.35 ГГц.
- IEEE 802.11g – стандарт забезпечує швидкість передавання даних до 22 Мбіт/с та працює в діапазоні 2,4 ГГц. Повністю сумісний з IEEE 802.11b, однак пропонує три нові методи кодування, які дають змогу збільшити швидкість.

Організація Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) сертифікує обладнання на відповідність IEEE 802.11b. [20].

1.5 HIPERLAN

HIPERLAN – дана технологія розроблена Європейським інститутом стандартів з телекомунікаційних технологій, розшифровується як High Performance Radio Local Area Network. Ця технологія є аналогом IEEE 802.11, який використовується у Європі та має деякі різновиди:

- HiperLAN/1 – швидкість цього типу досягає 20 Мбіт/с у діапазоні 5 ГГц.
- HiperLAN/2 – швидкість передачі даних може досягати до 54 Мбіт/с у діапазоні 5 ГГц [21].

1.6 Bluetooth

Технологія Bluetooth на сьогоднішній день є передовою інтерфейсною бездротовою мережею. Ця технологія була створена в 1998 році групою відомих

компаній: Nokia, Ericsson, IBM, Intel та Toshiba. На даний момент всі розробки в області технології Bluetooth ведуться групою Bluetooth SIG, до якої також входять Microsoft, Lucent та інші компанії, чия діяльність пов'язана з мережевими технологіями. Основне призначення цієї технології – це забезпечення економного і дешевого радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, таких як мобільні телефони та аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери та інші. Дуже велике значення надається компактності електронних компонентів. Це надає можливість застосовувати технологію Bluetooth у пристроях невеликих габаритів розміром з наручний годинник.

Інтерфейс Bluetooth надає змогу передавати як голос (до 64 Кбіт/с), так і інші різні дані. Для передачі даних може використовуватися асиметричний та симетричний методи. Працюючи на частоті 2,4 ГГц, прийомо передавач надає змогу встановлювати зв'язок на відстані 10 або 100 метрів. Різниця у відстані велика, але з'єднання на відстані 10 метрів надає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний маленький розмір і досить невелику вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0,3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА під час обміну інформацією. У стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних, які передаються з використанням ключа ефективною довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої та двосторонньої аутентифікації. Додатково, для шифрування на рівні протоколу, може бути використано шифрування на програмному рівні [22].

Технологія Bluetooth працює за принципом Frequency-hopping spread spectrum. Коротко, це пояснюється наступний чином: передавач розбиває дані на пакети і передає їх за псевдовипадковим алгоритмом стрибкоподібної перебудови частоти, або шаблоном, складеному з 79 підчастот. Частотний діапазон Bluetooth в більшості країн вільний від ліцензування, але, наприклад, в таких країнах як Франція, Іспанія та Японія через законодавчі обмеження необхідно використовувати відмінні від зазначених вище частоти [22].

На даний момент є багато різних версій технології Bluetooth від 1-ої до 5-ої. Але найбільш використовувані версії в наш час: 4.0, 4.1 та 4.2. В табл. 1.1 наведено порівняння бездротових технологій.

Таблиця 1.1

Порівняння бездротових технологій

Технологія	Стандарт	Мережа	Пропускна здатність	Радіус дії	Частоти
Wi-Fi	802.11a	Локальна	До 54 Мбіт/с	300 м	5,0 ГГц
	802.11b		До 11 Мбіт/с	300 м	2,4 ГГц
	802.11g		До 54 Мбіт/с	300 м	2,4 ГГц
	802.11n		До 450 Мбіт/с	300м	2,4 – 2,5 або 5,0 ГГц
WiMAX	802.16d	Регіональна	До 75 Мбіт/с	25-80 км	1,5-11 ГГц
	802.16e		До 40 Мбіт/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц
Bluetooth	802.15.1	Персональна	До 1 Мбіт/с	10 м	2,4 ГГц
	802.15.3		До 2,1 Мбіт/с	100 м	2,4 ГГц
	802.11		Від 3 Мбіт/с до 24 Мбіт/с	100 м	2,4 ГГц
Інфрачервона лінія зв'язку	IrDA		До 16 Мбіт/с	5-50 см (10 м)	Інфрачервоне випром.

1.7 Технологія SST

Технологія SST може використовувати розподіл сигналу за спектром частот. Це надає змогу збільшити пропускну здатність каналу завдяки збільшеній завадостійкості. Технологія SST уже довгий період застосовувалася для військових потреб. Є два підвиди мереж SST:

- FH-SS. Приймач та передавач синхронно перескакують з частоти на частоту.

- DH-SS. У кожний момент часу сигнал «розмазано» по широкому діапазону частот. Технологія SST надає змогу не тільки збільшити пропускну здатність, а також і ліпше виконувати захист інформації від прослуховування. Зовнішній спостерігач таку інформацію сприймає як «білий шум» [21].

1.8 Технологія VSAT

Технологія VSAT відноситься до малих супутникових наземних станцій. Вона виглядає як термінал з маленькою антеною, використовується в супутниковому зв'язку з початку 90-х років. За міжнародною класифікацією до VSAT відносяться супутникові станції з антенами менше 2,5 метрів. Як правила, для VSAT застосовується спрощена процедура отримання дозволів на частоти.

Поява технології VSAT пов'язана з експериментальною мережею супутникового телефонного зв'язку на Алясці, яка була створена наприкінці 60-х років в ході експериментів та досліджень з супутником АТС-1. Мережа має 25 земних станцій, які встановлені у невеликих селищах. Даний експеримент виявився успішним і був продовжений. Також варто відзначити, що на той момент найменша супутникова станція мала антену діаметром 9 метрів і її вартість складала близько 500 тисяч американських доларів. Подальших розвиток і здешевлення технологій VSAT-систем призвело до створення фірмою Equatorial економічно ефективних систем супутникового зв'язку на базі VSAT, що дало поштовх до появи нових фірм, що пропонують обладнання VSAT. Почався швидкий розвиток ринку, і різко зросла конкуренція на ньому. На даний ринок звернули увагу і великі компанії телекомунікаційного бізнесу, які не мудруючи, почали скуповувати фірми, які успішно розвивалися на ринку на той час. Американський телекомунікаційний гігант AT&T купив компанію Tridom. Піонер створення VSAT Ku-діапазону, компанія Linkabit, злилася з компанією M/A-COM, яка потім стала провідним постачальником обладнання VSAT. З часом Hughes Communications купила відділення у M/A-COM. Таким чином з'явилася фірма Hughes Network Systems. Компанія Scientific-Atlanta є виробником великих станцій супутникового зв'язку,

яка включилася у виробництво обладнання VSAT, придбавши компанію Adcom. Спершу GTE Spacenet надавала послуги VSAT, яка використовувала обладнання інших постачальників. Equatorial в 1987 році засновники фірми заснували нову фірму – Gilat Satellite Networks Ltd. з виробництва VSAT. Таким чином, створився основний пул гравців на ринку виробництва VSAT, який зберігається і на до нашого часу [23].

Мережа супутникового зв'язку на базі VSAT має три основні елементи: центральна земна станція (ЦЗС), супутник-ретранслятор та абонентські VSAT термінали. ЦЗС у мережі супутникового зв'язку має виконувати функції центрального вузла та забезпечувати управління роботою всієї мережі, перерозподіл її ресурсів, виявлення несправностей, тарифікацію послуг мережі та сполучення з наземними лініями зв'язку. Зазвичай ЦЗС встановлюється у вузлі мережі, на який припадає найбільший трафік. Це може бути, наприклад, головний офіс або обчислювальний центр компанії в корпоративних мережах, або ж велике місто в регіональній мережі [23].

Абонентська станція VSAT, абонентський VSAT термінал зазвичай включає в себе антенно-фідерний пристрій, поверхневий зовнішній радіочастотний блок і внутрішній блок. Зовнішній блок являє собою невеликий прийомопередавач або приймач. Внутрішній блок забезпечує сполучення супутникового каналу з термінальним обладнанням користувача (комп'ютер, сервер ЛОМ, телефон, факс).

Супутники ретранслятори мережі VSAT будуються на базі геостаціонарних супутників-ретрансляторів. Це дозволяє максимально спростувати конструкцію абонентських терміналів і забезпечувати їх простими фіксованими антенами без системи стеження за супутником. Супутник приймає сигнал від земної станції, підсилює його і направляє назад на Землю. Найважливішими характеристиками супутниками є потужність бортових передавачів і кількість радіочастотних сигналів на ньому. Для забезпечення роботи через малогабаритні абонентські станції типу VSAT потрібні передавачі з вихідною потужністю близько 40 Вт [23].

Приймально-передавальна апаратура і антенно-фідерний пристрій зазвичай будується на базі стандартного устаткування, наявного на ринку. Вартість

визначається розмірами антени і потужністю передавача, які суттєво залежать від технічних характеристик використовуваного супутника-ретранслятора. Для забезпечення надійності зв'язку апаратура зазвичай має 100% резервування.

Каналоутворююча апаратура забезпечує формування супутникових радіоканалів і стикування їх з наземними лініями зв'язку. Кожен з постачальників систем супутникового зв'язку застосовує свої оригінальні рішення в цій частині ЦЗС, що часто включає можливість використовувати для побудови мережі апаратуру і абонентські станції інших фірм. Зазвичай ця підсистема будується за модульним принципом, що дозволяє по мірі зростання трафіку та кількості абонентських станцій в мережі легко додавати нові блоки для збільшення її пропускної здатності [23].

Сучасний VSAT забезпечує отримання інформації власником VSAT зі швидкістю до 4 Мбіт/с (в режимі мультикаст до 30 Мбіт/с) і передачу інформації до 1-2 Мбіт/с. Сучасні VSAT мають один і більше портів Ethernet і вбудовані функції маршрутизатора. Деякі моделі, за допомогою розширення можуть оснащуватися 1-4 телефонними портами [23].

За даними на 2007 рік у світі більше мільйона VSAT, з них тільки в США більше 500 тисяч одиниць. Значне зростання числа VSAT у 2007 році стався завдяки реалізації Федеральних цільових програм – Універсальна послуга зв'язку (пункти колективного доступу в інтернет) та Освіта. Основні виробники VSAT на сьогодні є: Codan (Австралія), Hughes Network System (США), Gilat (Ізраїль), ViaSat (США), IDirect (США), NDSatCom (Німеччина). Типова вартість VSAT для кінцевого користувача складає близько 2500-3000 американських доларів. Розгортання VSAT і включення в мережу зазвичай займає 4-6 години для бригади з 2 чоловік. Основне використання VSAT – організація широкопasmового доступу в Інтернет, телефонний зв'язок, передача даних для корпоративних мереж, відеоконференції, дистанційне навчання. Використовується переважно поза великих міст, там де немає надійних і високошвидкісних наземних каналів зв'язку.

В заключення можна зрозуміти, що технологія VSAT використовує для передавання даних геостационарні супутники, розміщені над екватором Землі на

висоти 40 тисяч кілометрів. Наземні станції для зв'язку зі супутником застосовують еліптичні антени діаметром 3 метри. Канал VSAT:

- Забезпечує швидкість передавання даних до 3 Мбіт/с.
- Дає змогу реалізувати сполучення на великі відстані з переходом державних кордонів.
- Сумірний за ціною з кабельними каналами такої ж пропускної здатності. Водночас цей канал відрізняється значними затримками передачі даних, зумовленими великою відстанню до супутника (затримка становить близько 250 мкс, коли для кабельних мереж затримка становить всього 15 мкс). Тому канал VSAT не можна використовувати в системах реального часу та оперативного зв'язку [23].

Оскільки вартість супутникового зв'язку велика, то постачальник послуг купує у власника супутника канал зв'язку великої ємності і продає частини пропускної здатності каналу. Отже, мережа з використанням ланок VSAT має зіркову структуру.

Також існують системи на базі низькоорбітальних супутників LEO (Low Earth Orbital), як і системи VSAT, для передавання даних використовують супутник. Але цей супутник розміщено на висоті до 100 кілометрів на звичайній, а не геостаціонарній орбіті. У цьому випадку зменшується затримка в передачі даних. Крім того, вивести такий супутник на орбіту значно дешевше, ніж геостаціонарний. Водночас для підтримування постійного зв'язку треба використовувати велику кількість таких низькоорбітальних супутників. Серед наявних проєктів на даних момент можна виділити систему Iridium, яка використовує близько 66 супутників. Корпорація Teledesic, власниками якої є Білл Гейтс та Грек Маккав, планує створити всесвітню систему передавання мультимедійної інформації на основі LEO-технології. Планують, що така мережа використовуватиме 840 супутників і надаватиме користувачам канали перепускної здатності від 62 Кбіт/с до 2 Мбіт/с [23].

1.9 Історія технологій стільникового зв'язку

Також в теперішній час можна виділити найбільш використовуваним стільниковий зв'язок. Стільниковий зв'язок – один із видів мобільного радіозв'язку, в основі якого лежить стільникова мережа. Особливість стільникового зв'язку полягає в тому, що зона покриття ділиться на «стільники», що визначається зонами покриття окремих базових станцій. Стільники частково перекриваються й разом утворюють мережу. На ідеальній (рівній і без завад) поверхні зона покриття однієї базової станції являє собою коло, тому складена з них мережа має вигляд шестикутних зон.

Мережу становлять рознесені в просторі прийомо-передавачі, що працюють у тому самому частотному діапазоні, і комутувальне устаткування, що дозволяє визначати поточне місце розташування рухливих абонентів і забезпечувати безперервність зв'язку при переміщенні абонента із зони дії одного прийомо-передавача в зону дії іншого [24].

В 1947 році Д.Г. Рингом, співробітником відомої лабораторії, створеної винахідником телефону Беллом (США), була висунута чудова ідея стільникового принципу організації мереж рухомого зв'язку. У таких мережах зони обслуговування окремих БС утворюють стільники, розмір яких визначається територіальною щільністю абонентів мережі. Частотні канали, які використовуються для роботи однією з БС мережі, можуть повторно розподілятися за певним законом для роботи інших БС, що входять у цю мережу. Це забезпечує високу ефективність використання РПС. В стільникових мережах абонент, переміщаючись із зони дії однієї БС в іншу, може підтримувати постійний зв'язок як з рухомим абонентом, так і з абонентом ТМЗК. Такі мережі охоплюють великі території, і абонент, якщо він знаходиться в зоні дії хоча б однієї з БС, що входить в загальну мережу, може вийти на зв'язок або його може викликати інший абонент незалежно від свого місцезнаходження (послуга роумінгу). Через 20 років ця ідея знайшла своє втілення в стільникових мережах рухомого зв'язку загального користування. Впровадження таких мереж починається з 70-х років, спочатку в

США, а пізніше в європейських країнах, в Японії і в інших регіонах світу. Завдяки їх створення нові послуги рухомого зв'язку стали доступними для сотень мільйонів людей багатьох країн світу [24].

Стільникові технології пройшли декілька етапів розвитку:

- 1G-технології. Початок 80-х років. Перше покоління стільникових мереж використовувало аналогові технології. В таких мережах передавали тільки телефонні розмови.
- 2G-технології. Середина 90-х років. Цифрове кодування та передавання мовлення і коротких текстових повідомлень.
- 2.5G-технології. 2001 рік (США). Цифрові мережі з передаванням мовлення, тексту, приєднання до інтернету.
- 3G-технології. Технологія наступного покоління. Швидкість передавання до 2 Мбіт/с. Передавання мультимедійних даних. Окремі технології доступні в Японії.
- 4G-технології. Покращена технологія третього покоління. Передача мультимедійних даних до 100 Мбіт/с.

Отже, розглянемо кожне покоління технологій стільникового зв'язку. В таблиці 1.2 представлена в загальному вигляді еволюція бездротових мереж, а саме початок розробок цих технологій, їх реалізація, підтримувані сервіси, швидкісні характеристики, підтримувані стандарти тощо.

Таблиця 1.2

Еволюція бездротових мереж

Покоління	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Початок розробок	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Реалізація	1984	1991	1999	2002	2006-2007	2008-2010
Сервіси	Аналоговий стандарт, речові повідомлення	Передача даних зі швидкістю до 9,6 Кбіт/с	Пакетна передача даних.	Передача даних до 2 Мбіт/с	Збільшення швидкості мереж	Підтримка мультимедіа, швидкість до декілька сотень Мбіт/с

Продовження таблиці 1.2

Еволюція бездротових мереж

Швидкість передачі	1,9 Кбіт/с	9,6-14,4 Кбіт/с	115 Кбіт/с (1 фаза), 384 Кбіт/с (2 фаза)	2 Мбіт/с	3-14 Мбіт/с	100 Мбіт/с - 1 Гбіт/с
Стандарти	AMPS, TACS, NMT	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA20 00, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE- Advanced, WiMAX Release 2
Мережа	PSTN	PSTN	PSTN, мережа пакетної передачі	Мережа пакетної передачі	Мережа пакетної передачі	Мережа пакетної передачі

1.10 Перше покоління стільникового зв'язку (1G)

1G – саме перше покоління бездротових телефонних технологій і мобільних телекомунікацій. Це аналогові телекомунікаційні стандарти, які були введені в 1980-х роках, а на початку 90-х років були витіснені більш досконалою цифровою технологією 2G (друге покоління). Основною різницею між 1G та 2G є те, що мережі 1G використовують аналогову модуляцію радіосигналів, коли мережі 2G є цифровими, що дозволяло, серед іншого, шифрувати розмови та відсилати СМС-повідомлення.

Першим стандартом 1G став NMT (Nordic Mobile Telephone), який використовується в країнах Північної Європи, Швейцарії, Нідерландах, Східної Європи і Росії. Інші стандарти включають в себе AMPS (Advanced Mobile Phone System), які використовуються в Північній Америці та Австралії, TACS (Total Access Communications System) в Великобританії, C-450 в Західній Німеччині, Португалії та Південній Африці, Radiocom 2000 в Франції та RtMI в Італії. В Японії було декілька систем. NTT розробила 3 стандарти, в той час як конкуруюча система

під управлінням DDI використовувала стандарт JTACS (Japan Total Access Communications System). В 1G мережах фактична швидкість завантаження складала від 2.9 Кбіт/с до 5.6 Кбіт/с. Попередником технології 1G є рухомий телефонний радіозв'язок (ще як буває кажуть, стандарт нульового покоління, 0G) [25].

Перша комерційна мережа автоматизована мобільна мережа першого покоління NTT (Nippon Telegraph and Telephone) була запущена в 1979 році в Японії, спочатку в столиці, в Токіо. На протязі 5-ти років мережа NTT була розширена і охопила все населення Японії, ставши першою загальнонаціональною мережею 1G. В 1981 році мережа була запущена в Данії, Фінляндії, Норвегії та Швеції. NMT стала першою мережею мобільного зв'язку за участю міжнародного роумінгу запущена система Nordic Mobile Telephone. Перша мережа 1G, запущена в США, була Chicago-based Ameritech, яка була заснована в 1983 році з використанням мобільного телефону Motorola DynaTAC [25].

1.11 Друге покоління стільникового зв'язку (2G, 2.5G, 2.75G)

2G є позначенням технології бездротового зв'язку другого покоління. У США аналоговий стандарт AMPS отримав такого широкого поширення, що пряма його заміна його цифровим стандартом виявилася практично неможливою. Вихід був знайдений у розробці двоережимної аналого-цифрової системи, що дозволяє поєднувати роботу аналогової і цифрової системи в одному і тому ж діапазоні. Робота над відповідним діапазоном була розпочата в 1988 році і закінчена в 1992 році. Цей стандарт отримав найменування D-AMPS, або IS-54, а його практичне застосування було розпочато в 1993 році. У Європі ситуація ускладнювалася наявністю безліччю несумісних аналогових систем. Тут виходом виявилася розробка єдиного загальноєвропейського стандарту GSM. Відповідна робота була розпочата в 1982 році, до 1987 року були визначені всі характеристики системи, а в 1988 році прийняті основні документи стандарту. Практичне застосування стандарту почалося з 1991 року. Ще один варіант цифрового стандарту, за характеристиками подібний з D-AMPS, був розроблений в Японії в 1993 році,

спочатку він називався JDC, а з 1994 року – PDC (Personal Digital Cellular). Але на цьому розвиток цифрових систем стільникового зв'язку не зупинилося [25].

Стандарт D-AMPS додатково удосконалився за рахунок введення нового типу каналів управління. Справа в тому, що цифрова версія IS-54 зберегла структуру каналів управління аналогового AMPS, що обмежувало можливості системи. Нові чисто цифрові канали управління введені у версії IS-136, яка була розроблена в 1994 році і почала застосовуватися в 1996 році. При цьому була збережена сумісність з AMPS і IS-54, але підвищена ємність каналу керування і помітно розширені функціональні можливості системи. Стандарт GSM, продовжуючи удосконалюватися технічно, в 1989 році пішов на освоєння нового частотного діапазону 1800 МГц. Цей напрям відомий під назвою системи персонального зв'язку [25].

Відмінність останньої від вихідної системи GSM 900 не стільки технічна, скільки маркетингове з технічної підтримки: ширша робоча смуга частот у поєднанні з меншими розмірами вічок дозволяє будувати стільникові мережі значно більшої місткості, і саме розрахунок на масову систему мобільного зв'язку з відносно компактними, легкими, зручними і недорогими абонентськими терміналами був закладений в основу цієї системи. Відповідний стандарт був розроблений в Європі в 1990-1991 роках. Система отримала назву DCS 1800 і почала використовуватися в 1993 році. У 1996 році було прийнято рішення іменувати її GSM 1800. У США діапазон 1800 МГц виявився зайнятий іншими користувачами, але була знайдена можливість виділити смугу частот у діапазоні 1900 МГц, яка отримала в Америці ім'я діапазону систем персонального зв'язку. Освоєння діапазону 1900 МГц почалося з кінця 1995 року, робота в цьому діапазоні передбачена стандартом D-AMPS, і розроблена відповідна версія стандарту GSM.

Мережа 2G була побудована, в основному, для передачі голосових послуг та повільної передачі даних. Швидкість передачі даних сягає до 19,5 Кбіт/с. Використання цифрових сигналів між гарнітурами та базовими станціями збільшує пропускну можливість системи в двох ключових напрямках:

- Цифрові голосові дані можуть бути зжаті і мультиплексовані більш ефективно, чим аналогове кодування голосу за рахунок використання різних кодеків, що дозволяє передавати більшу кількість дзвінків в одній полосі радіочастот.
- Цифрові системи були розроблені, щоб мобільні телефони мали менше випромінювання. Це означає, що ячейки повинні бути менше, отже, більше ячеек будуть розміщені в тому самому об'ємі простору. Це стало можливим завдяки базовим станціям мобільного зв'язку і тому, що відповідне обладнання стало дешевшим [25].

Мережі другого покоління також мають свої недоліки. В менш густо населених районах, слабкий цифровий сигнал, який надсилається мобільним телефоном, може бути не достатньо, щоб досягнути базової станції. Як правило, ця проблема виникає в 2G-системах, які засновані на більш високих частотах, але ця проблема майже не зачіпає 2G-системи на низьких частотах. Національні установки сильно різняться між країнами, які диктують, де 2G може бути розгорнутий [25].

Можливо застосувати загальне правило: «Частота обернено пропорційна довжині хвилі». Аналоговий сигнал має гладку криву, в той час як цифрова крива має зубчасті ступені. Це може бути як перевагою, так як недоліком. В гарних умовах цифровий сигнал буде звучати краще. В більш гірших умовах аналоговий сигнал не зміниться, в той час як в цифровому сигналі з'являться спотворення. При поганих умовах цифровий сигнал вийде з ладу, дзвінки не будуть надходити, або будуть нерозбірливі, в той час як аналоговий сигнал буде повільно погіршуватися, дозволяючи утримувати зв'язок довше і, принаймні, передає деякі аудіо файли так, що їх можливо розібрати [25].

А до переваг мобільного зв'язку другого покоління можливо віднести те, що цифрова телефонія повинна бути вільною від статичних і фонових шумів, стиснення з втратами, яке використовується для досягнення цієї цілі, знижує якість зв'язку, а це означає що діапазон передаваного звуку знижується. Говорячи по телефону, абонент чує меншу тональність голосу.

Технологія 2.5G використовується в системах 2G, в яких реалізувалися домени з комутацією пакетів в доповнення доменів з комутацією каналів. До технології 2.5G можемо віднести GPRS – це стандарт, який використовує не зайняту голосовим зв'язком смугу частот для передачі інформації. Використовується в мобільних пристроях для передачі MMS, WAP-серфінгу та повноцінного з'єднання з інтернетом. Розрізняють так звані класи GPRS – рівень підтримки стандарту конкретним приладом. Існують класи від першого до дванадцятого – чим вищий клас, тим більшу швидкість передачі він може, теоретично, забезпечити телефон [25].

Служба передачі даних GPRS налаштовується над існуючою мережею GSM. На структурному рівні систему GPRS можливо розділити на дві частини: підсистему базових станцій та опорну мережу GPRS. В підсистему базових станцій входять всі базові станції та контролери, які підтримують пакетну передачу даних. Для цього BSC (Basic Station Controller) доповнюється блоком управління пакетами – PCU (Packet Controller Unit), а BTS (Base Transceiver Station) – кодуєчим пристроєм GSM в форматі, які використовуються протоколами TCP/IP [25].

При використанні GPRS інформація збирається в пакети і передається через невикористовувані в даний момент голосові канали. Така технологія передбачає більш ефективне використання ресурсів мережі GSM. При цьому, що саме є пріоритетною задачею – голосовий трафік або передача даних – вибирається оператором зв'язку. Федеральна трійка в Росії використовує безумовний пріоритет голосового трафіку перед даними, тому швидкість передачі даних залежить не тільки від можливостей обладнання, але і від навантаження на мережу. Можливість використання зразу декількох каналів забезпечує достатньо високі швидкості передачі даних, теоретичний максимум при всіх зайнятих таймслотах TDMA складає 171,2 Кбіт/с. Існують різні класи GPRS, які відрізняються швидкістю передачі даних і можливістю суміщення передачі даних з одночасним голосовим викликом [25].

Передача даних розділяється по напрямленням «вниз» - від мережі до абонента, та «вверх» - від абонента до мережі. Мобільні термінали розподіляються

на класи по кількості одночасно використовуваних таймслотів для передачі і прийому даних. Телефони середини 2000-х років підтримували до 4 таймслотів одночасно для прийому по лінії «вниз» (могли приймати 85 Кбіт/с даних), та до 2 для передачі по лінії «вверх». Телефони кінця 2000-х років підтримували class 12.

Абоненту, який підключається до GPRS, надається віртуальний канал, який на час передачі пакету стає реальним, а в інший час використовується для передачі пакетів інших користувачів. Так як один канал можуть використовувати декілька абонентів, можливе виникнення черги на передачу пакетів, а це як наслідок, затримка зв'язку. Наприклад, сучасна версія програмного забезпечення контролерів базових станцій допускає одночасне використання одного таймслота шістнадцяти абонентів в різний час і до 5 (з 8) таймслотів даних на частоті, разом – до 80 абонентів, які використовують GPRS на одному каналі зв'язку.

Інший крайній випадок – пакетування таймслотів в один безперервний з витісненням слотів на інші частоти. При цьому телефон, який працює в режимі GPRS, приймає всі пакети на одній частоті і підряд та не витрачає часу на перемикання частот. В цьому випадку швидкість передачі даних досягає максимально можливої, як описано вище, 4+2 таймслоти, або 4+4.

Технологія GPRS використовує GMSK-модуляцію. В залежності від якості радіосигналу дані, які передаються по радіоефіру, кодуються по одній з 4 кодових схем. Кожна кодова схема характеризується надмірністю кодування і завадостійкістю, та вибирається автоматично в залежності від якості радіосигналу. По тій же схемі використовується теж саме обладнання, працює і технологія EDGE, але в середині таймслота EDGE використовується інша, більш щільна, упаковка інформації.

Технологія EDGE вже відноситься до 2.75G і слугує, як надлаштуванням над 2G та 2.5G (GPRS) мережами. Взагалі, це технологія передачі даних, що забезпечує передачу великих обсягів інформації в мережі мобільного зв'язку. Технологія EDGE підтримує у середньому в три рази вищу швидкість передачі даних, ніж GPRS, крім того, забезпечується ефективніше використання частотних ресурсів і поліпшення покриття мережі в порівнянні зі звичайною мережею GSM.

Максимально досяжна, теоретична, швидкість передачі інформації в мережі EDGE – 474,6 Кбіт/с. Це означає, що технологія EDGE відкриває для оператора мобільного зв'язку можливість надати абонентам послуги з передачі даних в існуючому частотному спектрі GSM зі швидкостями, характерними для мереж третього покоління (3G) мобільного зв'язку [25].

Уперше технологія EDGE була представлена ETSI (Європейським інститутом стандартизації електрозв'язку) на початку 1997 року як еволюція існуючого стандарту GSM. Вирішуючи проблеми передачі даних у мережі GSM, оператори звернули увагу на технологію EDGE, Enhanced Data for Global Evolution (E-GPRS) він же UWC-136 (Universal Wireless Communications – 136). Технологія EDGE дозволяє частково зняти обмеження по швидкості й запустити цілий ряд принципово нових послуг, таких як мобільне телебачення, завантаження більших обсягів інформації на телефон, системи відеоспостереження.

Основна еволюційна зміна при переході від класичної технології GSM до EDGE полягає в застосуванні нового методу модуляції і кодування, що значно розширює можливості радіоінтерфейсу. Таким чином, технологію EDGE варто розглядати як еволюційний крок на шляху до більш високих швидкостей передачі при одночасному збереженні найважливіших параметрів радіоінтерфейсу GSM, таких як, наприклад, ширини смуги частот каналу в 200кГц та структури пакета (бітових послідовностей).

Технологія EDGE може впроваджуватися двома різними способами: як розширення GPRS, у цьому випадку її варто називати EGPRS, або як розширення CSD. EDGE не є новим стандартом стільникового зв'язку. Однак, EDGE має на увазі додатковий фізичний рівень, що може бути використаний для збільшення пропускної здатності сервісі GPRS або HSCSD. При цьому, самі сервіси надаються точно так само, як і раніше. Теоретично, сервіс GPRS здатний забезпечувати пропускну здатність до 160 Кбіт/с, а EGPRS – до 473,6 Кбіт/с [25].

EDGE підтримують усі мобільні оператори України, які надають послуги зв'язку GSM: Київстар, Vodafone та Lifecell. EDGE працює на території України скрізь, де є покриття мереж мобільного зв'язку. Попри це, завантаження мереж

мобільного зв'язку поки що не дозволяє повністю використовувати швидкісний потенціал цієї технології. Також, наприклад, для контрактних абонентів оператора мобільного зв'язку доступна послуга EDGE+/GPRS+, яка забезпечує більш швидку передачу даних за рахунок стиснення й оптимізації даних.

1.12 Третє покоління стільникового зв'язку (3G)

Наступним поколінням мобільного зв'язку є технологія третього покоління, яка називається 3G. Вона надає набір послуг, який включає високошвидкісний мобільний доступ до мережі інтернет та технологію радіозв'язку.

Мережі третього покоління працюють на частотах дециметрового діапазону (частота 2 ГГц), а швидкість передачі даних становить понад 2 Мбіт/с. Такі мережі надають можливість організувати відеозв'язок, дивитись на мобільному телефоні фільми, телепрограми, прослуховувати онлайн музику, грати в деякі онлайн ігри тощо. У світі існує два стандарти 3G: UMTS та CDMA2000. UMTS в основному розповсюджений в Європі, а CDMA2000 в Азії та США. За даними Wireless Intelligence, на кінець 2006 року у світі нараховувалось близько 364 мільйони абонентів 3G мереж, з них 93,5 мільйони абонентів використовували UMTS, а 271,1 мільйон абонентів були підключені до мереж CDMA2000. Найбільший мобільний оператор був на той час – японський NTT DoCoMo, який нараховував близько 40 мільйони абонентів [25].

Вирішення цієї проблеми абсолютно аналогічне сьогоdnішньому – розробка багатомодових терміналів, що можуть працювати в двох і більше стандартах. Термін «3G» використовується для опису сервісів мобільного зв'язку стандартів наступного покоління, які забезпечують більш високу якість звуку, а також високошвидкісний інтернет-зв'язок та мультимедійні сервіси. Мобільні мережі третього покоління відрізняються від мереж другого покоління, таких як наприклад цифровий стандарт мобільного зв'язку GSM, зв'язок перехідного покоління (2.5G) GPRS набагато більшою швидкістю передачі даних, а також ширшим набором і високою якістю послуг, що надаються.

Інноваційна діяльність з розробки 3G (UMTS і CDMA2000) розпочалася у 1992 році. У 1999 році МСЕ (міжнародний союз електрозв'язку) затвердив 5 радіоінтерфейсів ІМТ-2000 як частину рекомендації ІТУ-Р М.1457. У 2007 році до них доданий WiMax. До переліку стандартів увійшли так звані «еволюційні стандарти» (EDGE і CDMA), що є зворотно сумісними з існуючими мережами покоління 2G, а також «революційні стандарти», що потребують нового обладнання та працюють на інших частотах. До «революційних» стандартів належить сімейство UMTS, що визначене в стандартах, розроблених для ІМТ-2000, а також незалежно розроблені стандарти DECT і WiMAX, які включено, оскільки вони відповідають визначенню ІМТ-2000. Попри те, що EDGE формально відповідає специфікаціям 3G, більшість телефонів, що підтримують GSM/UMTS, ідентифікують EDGE як «2.75G», а UMTS як «3G» [25].

1 листопада 2007 року державне українське підприємство Укртелеком запустило мережу мобільного зв'язку 3G під брендом «Utel». Мережа «Utel» працювала в стандартів UMTS 2100 за надбудовою HSDPA (3.5G). З 2012 року її правонаступником стала компанія ТриМоб, яка теж працює з цією надбудовою. Якщо в базовій версії UMTS забезпечує пікові швидкості від 2 Мбіт/с для статичних об'єктів поблизу стільникової комірки та 384 Кбіт/с для мобільних абонентів, то для пристроїв, що підтримують HSDPA, швидкості в теорії можуть досягати 14,4 Мбіт/с. На практиці вони ж рідко перевищують 3 Мбіт/с, а в умовах високих, щільних забудов та завантаженості мережі – ще менше. Даний стандарт зв'язку дає змогу здійснювати відеодзвінки, забезпечує широкопasmовий доступ до інтернету, а також дозволяє переглядати потокове відео в онлайн [25].

Після приєднання у 2013-му році CDMA Ukraine до Інтертелекому в Україні стали діяти такі оператори мобільного зв'язку 3G: ТриМоб, Інтертелеком, PEOPLEnet, Vodafone Ukraine. 23 лютого 2015 року в ході торгів за отримання ліцензії 3G між трьома найбільшими операторами мобільного зв'язку (Київстар, Vodafone, Lifecell). Перший лот відійшов українському оператору Lifecell. Компанія «Астеліт» заплатила за нього 3,35 мільярди гривень, перебивши пропозицію «МТС Україна» розміром в 3,22 мільярди гривень. За оцінками

конкуренції на тендері, компанія переплатила 600 мільйони гривень. Переможцем по другому лоту стала компанія «МТС Україна». Компанія не підвищувала початково запропоновану ставку і придбала другу ліцензію за 2,71 мільярди гривень. Останній третій лот автоматично перейшов «Київстару» за підсумками голосування НКРЗІ. Сума, яку компанія заплатила за частоту, як і передбачалося, склала 2,7 мільярди гривень.

За умовами тендеру оператори зобов'язалися протягом 18 місяців після проведення конкурсу запуснути мережу третього покоління на території всіх обласних центрів України, а протягом 6 років – на території всіх районних центрів і всіх населених пунктів з населенням понад 10 тисяч осіб. Крім того, за умовами договору оператори повинні були перерахувати Міністерству Оборони України за проведення конверсії радіочастот мінімум 1,6 мільярди гривень. Оплата конверсії повинна здійснюватися пропорційно кількості лотів в рівних пропорціях і на рівних умовах. Перший етап проведення конверсії, яка буде здійснюватися за рахунок переможців тендеру, займе 23 місяці, другий етап триватиме 18 місяців, третій – 17 місяців. Перші кошти вони вже перерахували.

Станом на вересень 2017 року в Україні є вже 20 тисяч базових станцій, через які надаються послуги 3G. 9 листопада 2016 року представник мобільного оператора «Київстар» Петро Чернишов відкрито звинуватив запорізьке комунальне підприємство «Міські теплові мережі» в тому, що в Запоріжжі немає 3G, яке не пускає фахівців мобільної мережі на свої об'єкти і вимагає від мобільних операторів орендної плати. Мер міста швидко відреагував на ситуацію і заявив, що вже дав розпорядження керівнику концерну «Міські теплові мережі» надати доступ операторам мобільного зв'язку. 10 листопада 2016 року запоріжці, що користуються мобільними послугами оператора «Vodafone», стали отримувати смс-повідомлення про швидке «пришестя» 3G-інтернету. За запевненням оператора, мобільний стандарт зв'язку буде введений вже в листопаді 2016 року. 16 листопада 2016 року Генеральний штаб Збройних сил України дозволив використання базових станцій 3G в Запоріжжі, а вже 17 листопада 2016 року одразу

два оператора – Київстар та Lifecell – оголосили про запуск мережі 3G в Запоріжжі. З 25 листопада 2016 року Vodafone почав поетапний запуск 3G мережі в Запоріжжі.

1.13 Четверте покоління мереж стільникового зв'язку (4G)

Четверте покоління мобільного зв'язку (4G) активно використовується в наш час по всьому світу. 4G можна трактувати, як покоління мобільного зв'язку з підвищеними вимогами. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, які дозволяють здійснити передачу даних зі швидкістю, яка переважає 100 Мбіт/с – для рухомих, та 1 Гбіт/с – для нерухомих (стаціонарних) абонентів. Такі технологія, як LTE Advanced та WiMAX 2 були офіційно признані безпроводовими стандартами зв'язку четвертого покоління (4G) МСЕ на конференції в Женеві в 2012 році.

Специфікації будь-якого покоління зв'язку, як правило, відносяться до зміни фундаментального характеру обслуговування, які несумісні технологіями передачі, більш високим піковим бітрейтом, новими полосами частот, більш широким каналом полоси пропускання, яка виражається в одиницях частоти – герцах, а також більшою ємністю для більшості одночасної передачі даних.

Таким чином перші версії мобільного WiMAX та LTE підтримують швидкості значно менше 1 Гбіт/с, їх неможливо назвати технологіями, які відповідають IMT-Advanced, хоча вони часто згадуються постачальниками послуг, як технології 4G. В свою чергу, після запуску мобільними операторами мереж LTE-Advanced, в маркетингових цілях їх стали називати 4G+. 6 грудня 2010 року було визнано, що найбільш просунуті технології розглядають як «4G», хоча цей термін невизначений.

Системи зв'язку 4G засновані на пакетних протоколах передачі даних. Для передавання даних використовується протокол IPv4, в майбутньому планується підтримка протоколу IPv6. З технічної точки зору, головна різниця мереж четвертого покоління від третього полягає в тому, що технологія 4G повністю оснований на протоколах пакетної передачі даних, в той час як 3G з'єднує в собі як

пакетну комутацію, так і комутацію каналів. Для передачі голосу в 4G мережах передбачена технологія VoLTE (Voice over LTE).

Основні дослідження при створенні систем зв'язку четвертого покоління ведуться в напрямленні використання технології ортогонального частотного ущільнення OFDM. Крім того, для максимальної швидкості передачі використовується технологія передачі даних з допомогою N антен і їх прийому M антенами – MIMO. При даній технології передаючі та прийомні антени розміщені так, щоб досягнути слабкої кореляції між сусідніми антенами [26].

Передові міжнародні мобільні телекомунікаційні системи (IMT-Advanced), які визначаються сектором радіозв'язку МСЕ, повинні відповідати деяким вимогам, щоб рахуватися мережами четвертого покоління (4G).

Вимоги до мереж 4G:

- Ґрунтуються на комутації пакетів, використовуючи протоколи IP.
- Пікові швидкості передачі даних від 100 Мбіт/с для користувачів з високою мобільністю та від 1 Гбіт/с для користувачів з низькою мобільністю.
- Використовуються динамічно розподільчі мережеві ресурси для підтримки більшої кількості одночасних підключень до однієї соти.
- Їх масштабна смуга частот каналу 40 МГц.
- Мінімальні значення для пікової спектральної ефективності 15 біт/с/Гц в низхідному каналі і 6,75 біт/с/Гц в висхідному каналі.
- Спектральна ефективність на сектор в низхідному каналі від 1,1 до 3 біт/с/Гц/сектор та в висхідному каналі від 0,7 до 2,25 біт/с/Гц/сектор.
- Плавний хендовер через різні мережі.
- Висока якість мобільних послуг.

Виробниками обладнання на сьогоднішній день є такі ведучі компанії, як Nokia Siemens Networks, Huawei, Alcatel-Lucent та інші. В Росії випуск мережевого обладнання розпочала компанія Nokia Siemens Networks на базі сумісного з НПФ «Мікран» і корпорацією «Роснано» підприємства під Томськом. Мультистандартні базові станції, які вони випускають, можуть працювати як в різних стандартах (2G,

3G, 4G), так і в великій кількості частотних діапазонів 800/900/1900/2100/2500/2700 МГц [27].

Перші чіпи модемів, які будуть підтримувати мережі LTE, компанія Qualcomm планувала випустити в 2012 році. Це перші чіпсети, які підтримують технологію агрегацію несущих частот, які дозволяють комбінувати декілька радіоканалів в декількох полосах частот. Завдяки цій технології оператори можуть обійти обмеження стандарту LTE в частині вимоги наявності 20 МГц безперервного спектру і наявних в них LTE-мережах підвищити швидкість роботи користувачів до 150 Мбіт/с. Варто також відзначити, що чіпи сумісні з більш старими стандартами мобільних мереж – EV-DO Advanced, TD-SCDMA та GSM, в результаті чого модеми, в яких вони будуть встановлюватися, зможуть працювати в 7 різних режимах: CDMA2000, GSM/EDGE, UMTS та LTE [26].

2 П'ЯТЕ ПОКОЛІННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Загальні відомості про мережі п'ятого покоління (5G)

Комерційно п'яте покоління ще ніде не використовується. На сьогодні назву 5G використовують в деяких наукових працях і проектах для позначення наступних телекомунікаційних стандартів для мобільних мереж після стандартів 4G/LTE-Advanced. Станом на початок 2018 року дана технологія не була визначена у міжнародних стандартах, а лише перебувала у стані розробки. Першим стандартом цієї технології став ухвалений наприкінці 2017 року стандарт New Radio (NR). Передбачено, що розгортання нових технологій відбуватиметься в декілька етапів. Спочатку буде впроваджено 5G NR Non stand-alone, яка використовує мережу 4G LTE eNB [33].

Станом на 2013 рік вже проектуються мобільні мережі п'ятого покоління, що обіцяють пропускну здатність в десятки разів більшу ніж в мережах 4G. Для високошвидкісної передачі даних пропонується використовувати міліметровий діапазон радіохвиль із частотою від 30 до 300 ГГц. Теоретично мережі п'ятого

покоління дозволяють передавати інформацію зі швидкістю до 10 Гбіт/с та часом відповіді (затримки) менше 1 мілісекунди, що задовольнить будь-які сучасні потреби із завантаженням контенту [33].

Перші специфікації Non-Standalone 5G NR були затверджені наприкінці 2017 року на засіданні консорціуму 3GPP. Вони описують неавтономну архітектуру мереж 5G і служитимуть орієнтиром на початку для розгортання мереж 5G на основі вже наявних базових станцій LTE. Також триває робота над специфікаціями мереж Standalone 5G, які нарешті і замінять 4G LTE. Специфікації Non-Standalone 5G NR включають підтримку низькочастотного (600 МГц, 700 МГц), середньочастотного (3500 МГц) і високочастотного (50 ГГц) спектра [33].

Компанія Samsung, у середині 2013 року, в результаті проведення власних експериментів з прототипом електронної системи з обміну даних на частоті 28 ГГц між двома отримувачами, які рухалися зі швидкістю близько 8 км/год, досягнула швидкість передачі 1,056 Гбіт/с. Відстань при цьому становила приблизно 2 км прямої видимості.

У 2016-му році з'явилися відомості про те, що корпорація Google проводить випробування можливості підключення до 5G інтернету за допомогою безпілотних дронів. Проект в рамках якого проходить тестування, носить кодову назву Skybender. Також 22 лютого 2016 року американська компанія Verizon заявила про початок тестування мереж 5G. Компанія обіцяє, що технологія дозволить забезпечити «швидкість в кілька гігабайт на секунду і мілісекунди затримки». В кінці вересня 2017 року шведська компанія Ericsson і провідний японський оператор мобільного зв'язку KDDI уклали партнерську угоду про спільне тестування можливостей мереж п'ятого покоління на частоті 4,5 ГГц в декількох містах Японії. Під час пілотного проекту партнери перевірятимуть різні сценарії використання 5G в частотних діапазонах 4,5 ГГц і 28 ГГц, а також досліджуватимуть взаємодію між технологіями 5G і LTE. Пілотний проект мав завершитись до березня 2018 року, а комерційні 5G послуги для своїх абонентів KDDI планує запуснути вже до 2020 року [33].

Експерти оцінюють, що перші ознаки розгортання комерційних мобільних мереж на основі 5G можуть з'явитися у 2020 році, а більш широкомасштабне впровадження почнеться лише з 2025 року. Південна Корея планує розгорнути мережу 5G вже в 2020 році. Японія теж планує мати працюючу мережу 5G до Літніх Олімпійських Ігор 2020 року. В лютому 2017 року на Світовому Конгресі Мобільних технологій в Барселоні представники Samsung заявили, що перша комерційна мережа 5G буде запущена на початку 2018 року. Американський мобільний оператор AT&T офіційно оголосив, що запустить власну 5G-мережу в США до кінця 2018 року. Можливість скористатися новою технологією отримають жителі 12 міст США, при цьому особливо оператор підкреслив, що мова йде про останню версію специфікацій Non-Standalone 5G NR, а не про «псевдо 5G» (поліпшений 4G/LTE). Подібна технологія з назвою 5G Evolution вже працює в мережах AT&T в 23 містах США [33].

Таким чином, AT&T стане першим мобільним оператором в США, який почне надавати своїм абонентам зв'язок 5G. Оператор мобільного зв'язку Sprint та T-Mobile збирається почати розгортати свої мережі п'ятого покоління в 2020 році. При цьому Verizon вже активно тестує технологію 5G і також може виступити з аналогічною заявою про швидкий запуск її комерційної версії. Також слід зазначити, що може йтись про послуги доступу до інтернету стаціонарним абонентам. Використання радіозв'язку може мати економічний сенс через менший обсяг необхідних початкових інвестицій в порівнянні з прокладанням оптичних кабелів.

Завдяки бездротових технологій сучасний користувач цифрових і мобільних пристроїв не пов'язаний з проводами або з дротами. Нам не потрібно носити з собою купу кабелів, щоб отримати доступ до інтернету, зателефонувати знайомому, чи передати якийсь файл на інший пристрій. Безпроводові технології нас оточують і допомагають полегшити нам життя.

2.2 Впровадження мереж п'ятого покоління в світі та в Україні

Міністр інфраструктури України повідомив про початок тестування технологій зв'язку п'ятого покоління і заявив, що в 2020 році будуть виставлені на торги ліцензії на мережі 5G. П'ятим президентом України був підписаний указ на впровадження мереж п'ятого покоління в 2020 році. Указ мав визначати графік та план звільнення частот. Розвинуті країни багато років тому назад відключили аналогове телебачення і на звільнених радіочастотах запустили мережі четвертого покоління по всій території. На рис. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 представлена зона покриття мережами зв'язку (від 2G до 5G) в таких провідних країнах, як Німеччина, Франція, США та Україна станом на 2019 рік.

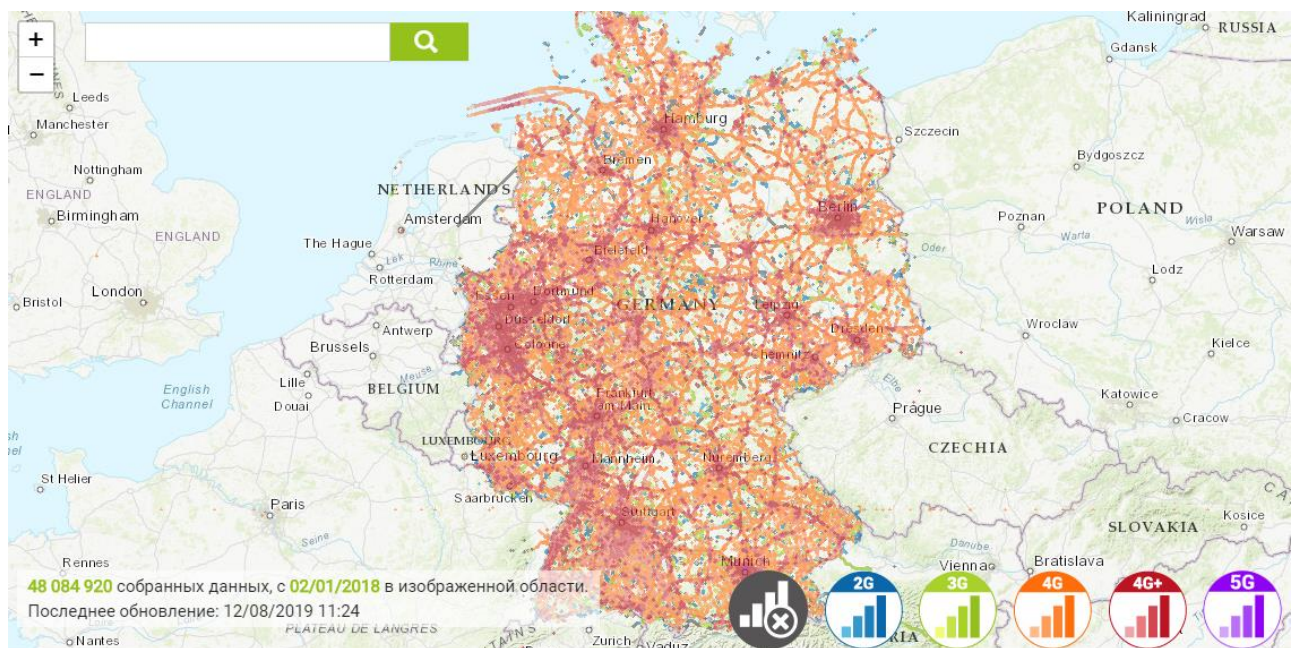


Рисунок 2.1. Зона покриття мобільного зв'язку на території Німеччини

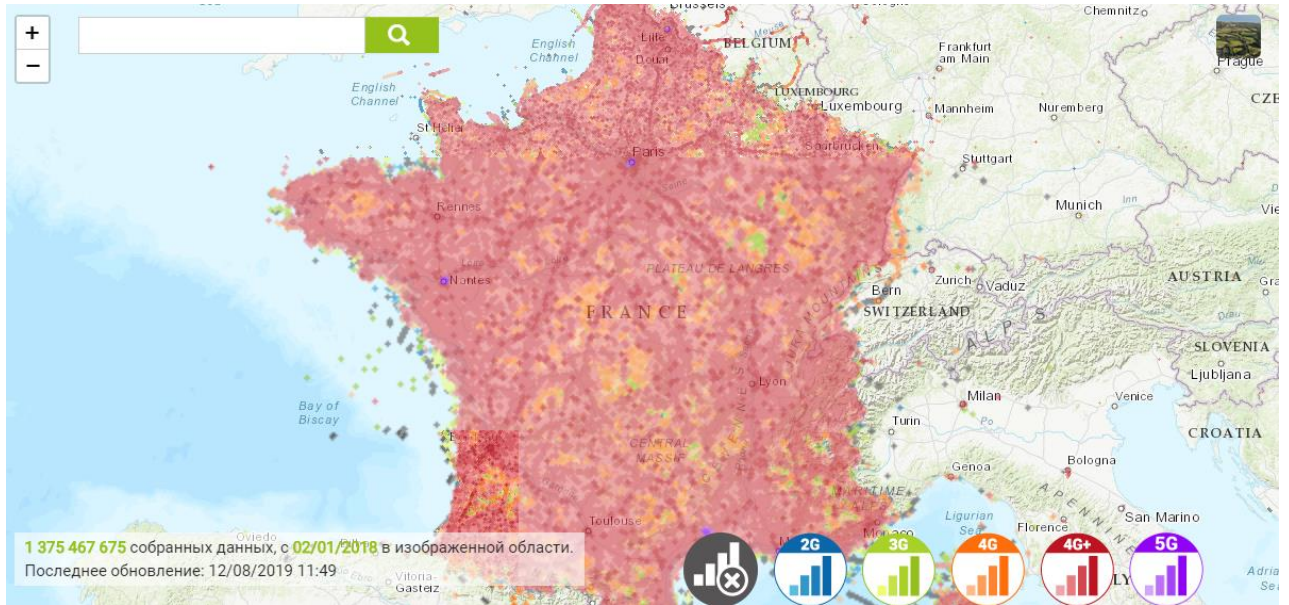


Рисунок 2.2. Зона покрытия мобильного зв'язку на території Франції

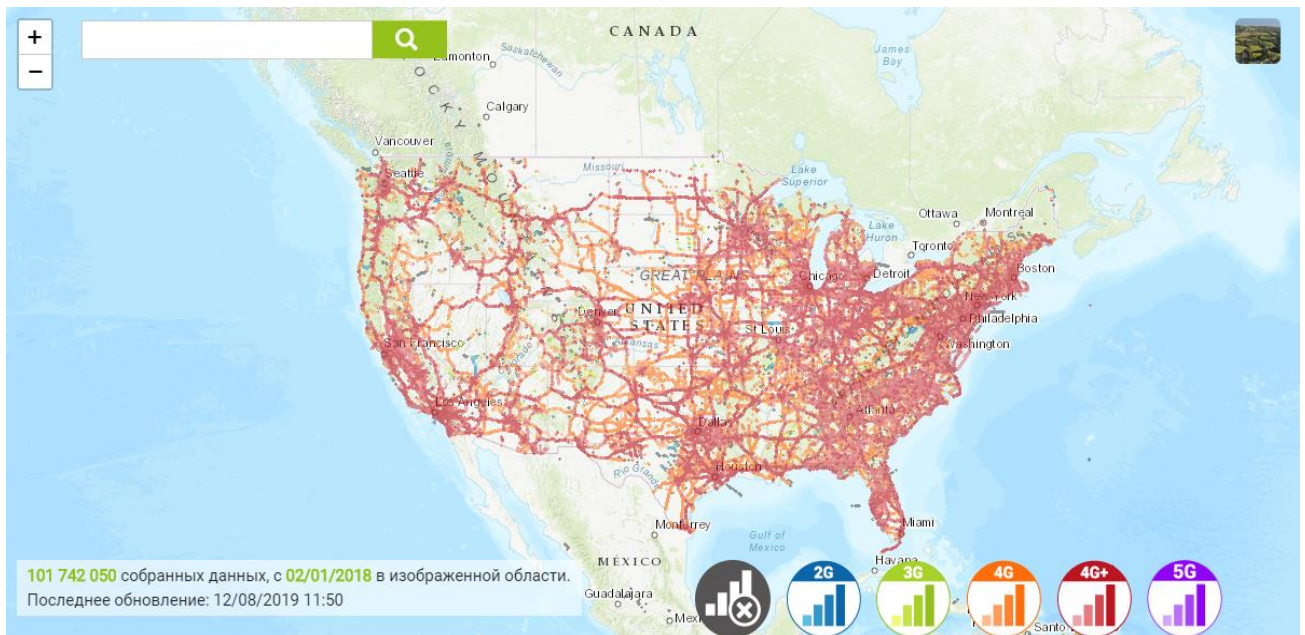


Рисунок 2.3. Зона покрытия мобильного зв'язку на території Сполучених Штатів Америки

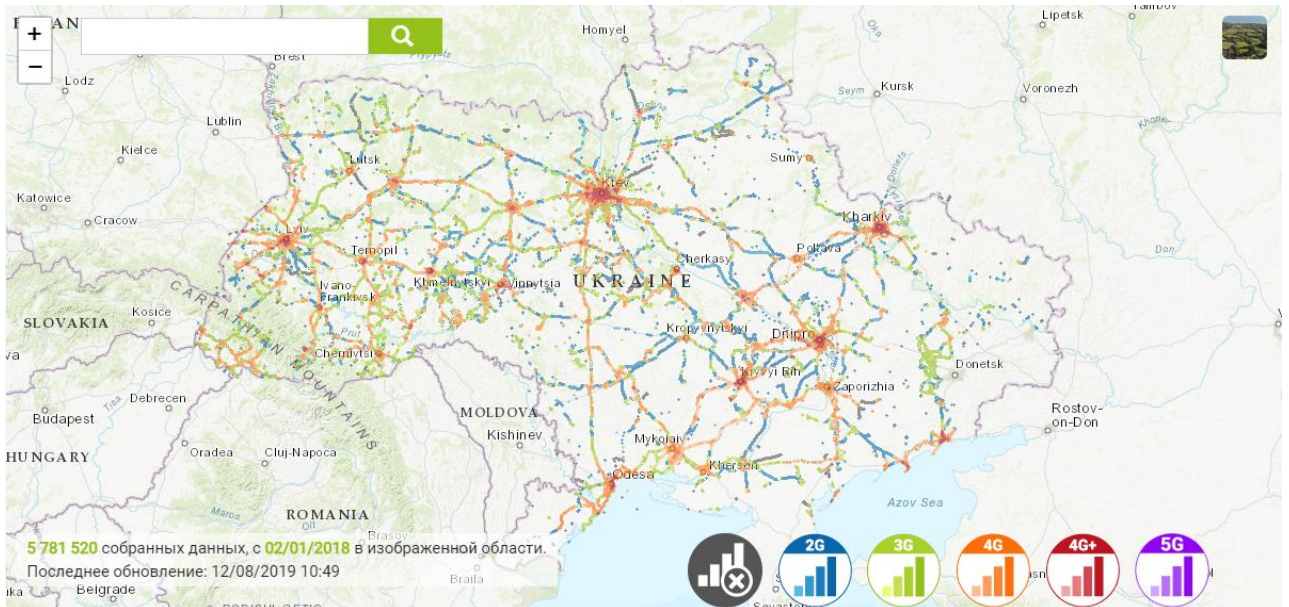


Рисунок 2.4. Зона покриття мобільного зв'язку на території України

За допомогою суцільного покриття зв'язком 4G була вирішена проблема цифрової нерівності між містами та селами. Ці країни можуть повністю погрузитися в питання та труднощі впровадження мереж п'ятого покоління. Щодо України, то не було відключено аналогове телебачення вчасно, на звільнених частотах не була покрита вся територія зв'язком 4G і за п'ять років не наведено порядку в частотному діапазоні 900 МГц. В результаті чого в Україні залишається проблема цифрової нерівності між містами та селами. Така ситуація відбувається з наступних причин:

- Національна комісія з питань державного урегулювання в сфері зв'язку і інформатизації (НКРЗІ) за п'ять років своєї роботи не вирішила проблему з перерозподілом радіочастотного ресурсу в діапазоні 900 МГц. Поки не пройде пере розподілення, доти дороги та вся територія України не будуть покриті зв'язком 3G та 4G.
- Національна рада з питань телебачення та радіомовлення не відключила аналогове телебачення в 2015 році, як того вимагав меморандум «Женева-2006», який Україна підписала в 2006 році. В результаті відключення повинні були звільнитися частоти другого цифрового дивіденду 698-790 МГц. Країни

Європи звільнили ці частоти ще в 2015 році, запустили на них 4G та покрили всю свою територію швидкісним мобільним інтернетом.

- За п'ять років своєї діяльності НКРЗІ не виставила на торги ліцензії на зв'язок четвертого покоління в діапазоні другого цифрового дивіденду 698-790 МГц. В результаті покриття зв'язком 3G та 4G має вигляд, як зображено на рис. 2.4. Таке покриття може залишатися ще довгий час, якщо Україна буде сфокусована на впровадженні мереж п'ятого покоління, замість вирішення реальних проблем телекомунікаційного напрямку [34].

Технологія мереж п'ятого покоління створена для передачі великих об'ємів інформації з мінімальною затримкою та з великою швидкістю великому числу користувачів одночасно. З цією ціллю 5G використовує так названі високі і дуже високі радіочастоти. В Європі – це частоти в діапазоні від 3,4-3,8 ГГц та 24,5-27,5 ГГц (представлено на Рис. 2.5).

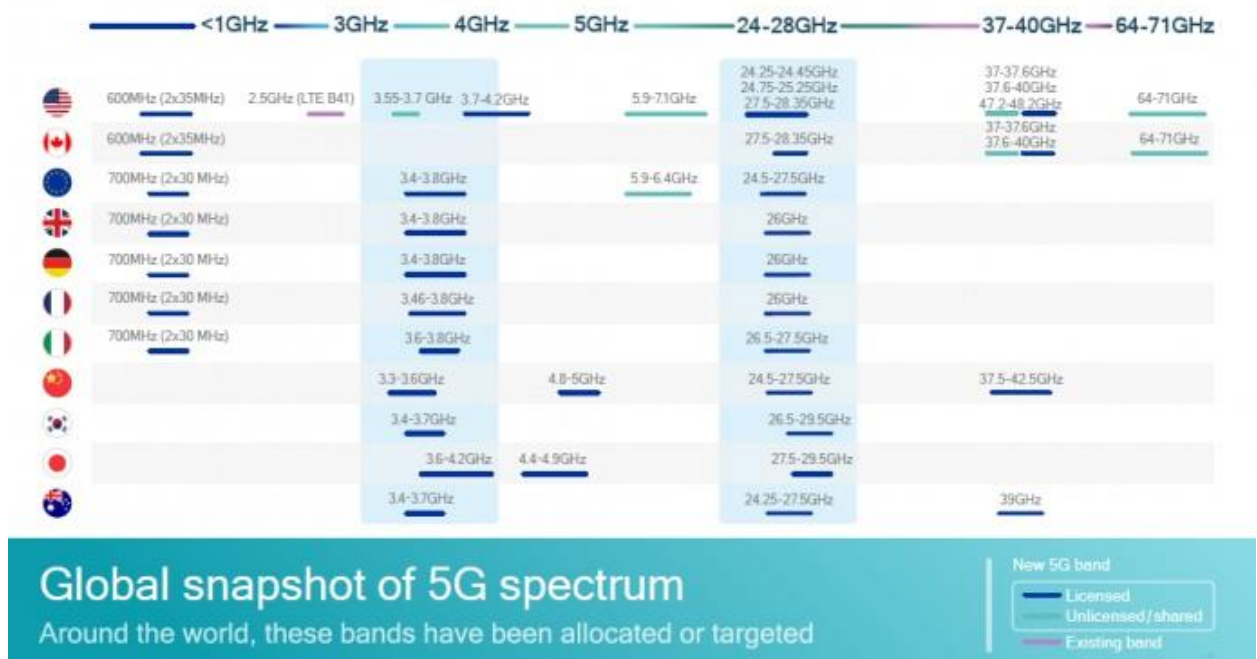


Рис. 2.5. Які радіо частоти використовують країни світу для запуску 5G

Недолік високих радіочастот в тому, що в них менша площа покриття, ніж у низьких радіочастотах. Декілька років назад НКРЗІ порахувала, що для покриття всієї території України зв'язком 4G на радіочастоті 700 МГц буде необхідно 4100 базових станцій, коли як на частоті 2600 МГц буде необхідно 97600 базових

станцій. Тому для покриття України зв'язком 5G на частоті 3,4-3,8 ГГц може знадобитися до 500 тисяч базових станцій, що немає жодного сенсу. А 5G на частотах 24,5-27,5 ГГц буде мати ще більші специфічні моделі застосування (табл. 2.1) [34].

Таблиця 2.1

Модель застосування мереж 5G

5G в діапазоні більше 24 ГГц	Середа розгортання	Макс. кіл-сть користувачів	Макс. дальність від БС
Фемто сота	Дом, бізнес	Дом: 4-8 Бізнес: 16-32	Десятки метрів
Пікто сота	ТЦ, аеропорти, вокзали	64-128	Десятки метрів
Мікро сота	Місцеві райони	128-256	Декалька сотень метрів
Метро сота	Місцеві райони, для забезпечення додаткової ємності	Більше 250	Сотні метрів
Wi-Fi	Дом, бізнес	Менше 50	Десятки метрів

Галузь розглядає в перспективі запуск 5G і на низьких частотах 600 МГц, 700 МГц, 800 МГц, 900 МГц, однак на стандартизацію і опрацювання цих діапазонів може зайняти дуже багато часу.

Український мобільний оператор «Київстар» в будівництво мереж 3G та 4G вклав близько 22,5 мільярдів гривень. Коли як на початку 2019 року президент США повідомив, що по деяким оцінкам галузь мереж мобільного зв'язку планує вкласти в розгортання та розвиток мереж п'ятого покоління на території США близько 275 мільярдів доларів. В США – це виправдано, так як ARPU (середній дохід на одного користувача), наприклад, на мобільного американського оператора

AT&T складає 48 доларів, коли на мобільного українського оператора «Київстар» цей показник складає близько 2 доларів [34].

Масштаби інвестицій в розгортанні мереж п'ятого покоління описані в дослідженні доктором Кембриджського університету Едвардом Отоном та доцентом Політехнічного університету Мадриду Зорайдом Фріасом. Автори прийшли до того, що за десять років вартість впровадження мереж п'ятого покоління буде складати 15-25 мільярдів фунтів, це близько 1,5-2,5 мільярди фунтів в рік (Рис. 2.6).

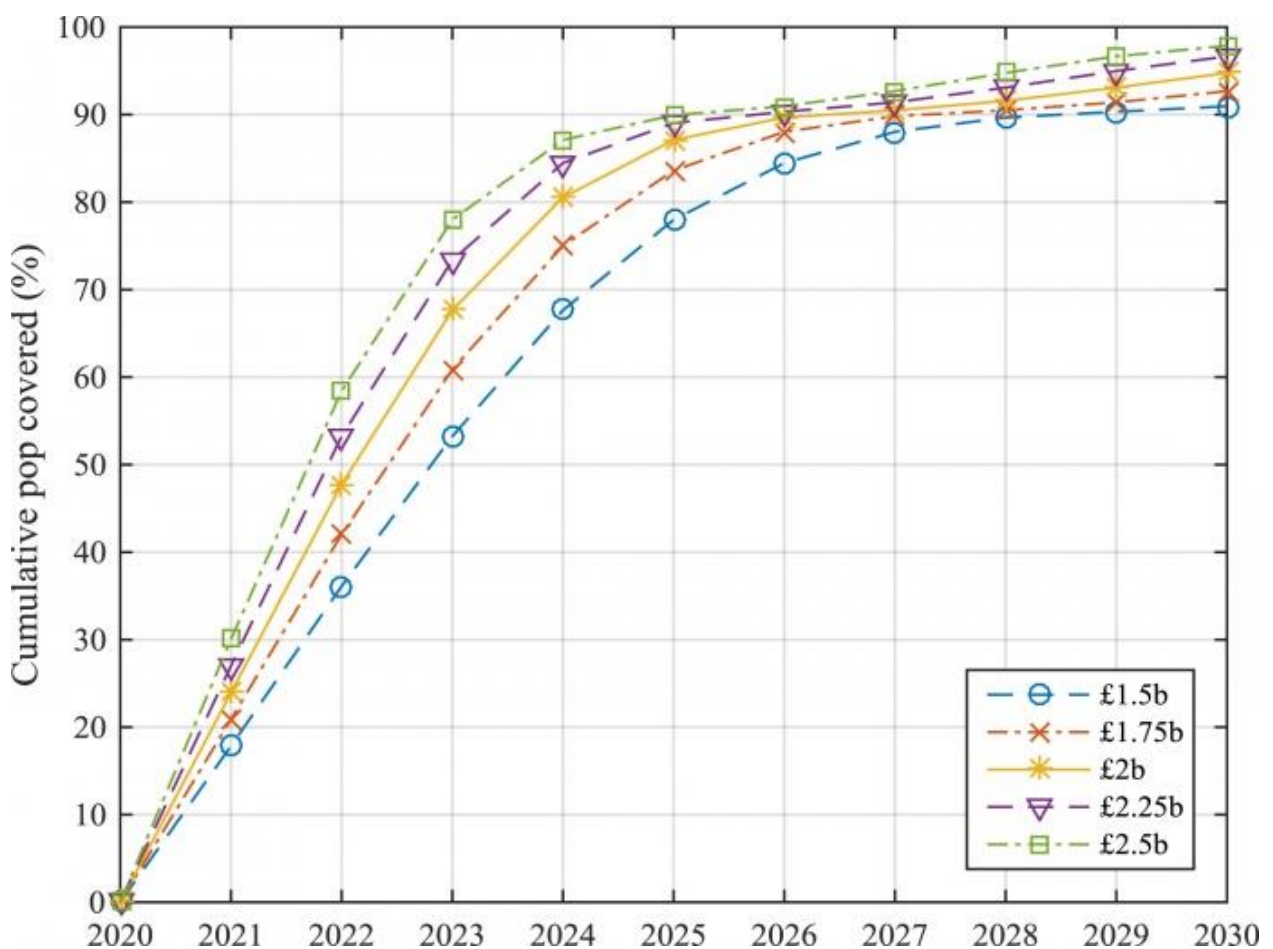


Рисунок 2.6. Динаміка покриття населення технологією 5G в залежності від об'єму капітальних інвестицій

При цьому показник середнього доходу на одного користувача в вісім разів вищий, ніж в Україні. В 2017 році цей показник складав близько 16,8 євро. Вартість впровадження мереж п'ятого покоління в Україні буде на порядок вище, ніж

впровадження мереж 3G та 4G разом взяті. Вартість за 5G буде покладена на абонентів в вигляді підвищення вартості на тарифи та послуги [34].

Мережі п'ятого покоління не замінять дротовий інтернет, тому що технологія заснована на фундаменті високих частот, які в силу законам фізики погано проникають через перешкоди. Сигнал на радіочастоті від 24 ГГц до 90 ГГц мереж 5G блокується будівлями, деревами і може блокуватися навіть рукою. Цей сигнал називається mmWave, як міліметрові хвилі. Сигнал mmWave погано працює під час дощу, або туману, а на рівні 60 ГГц сигнал поглинається киснем. Щоб уникнути подібної ситуації компанія Qualcomm (найбільший в світі постачальник чипів для смартфонів) пропонує додати в смартфон декілька антен 5G (Рис. 2.7 та Рис. 2.8).

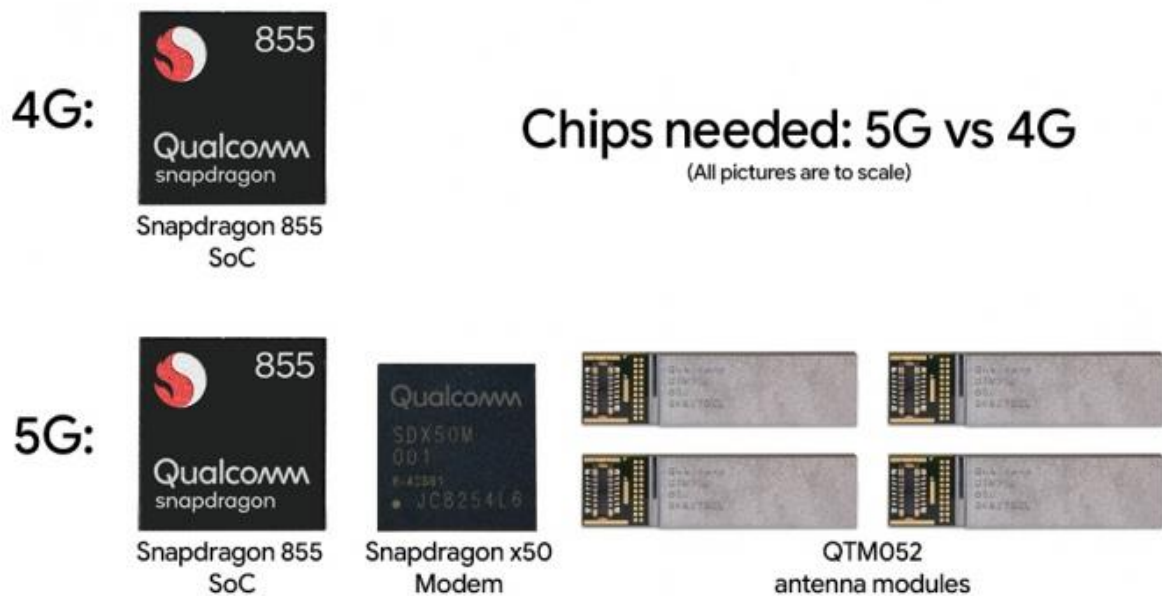


Рисунок 2.7. Складність створення смартфона з підтримкою мереж 5G

Американський мобільний оператор Verizon показує, наскільки знижується пропускна спроможність сигналу по мірі підвищення частоти радіосигналу (Рис. 2.9).

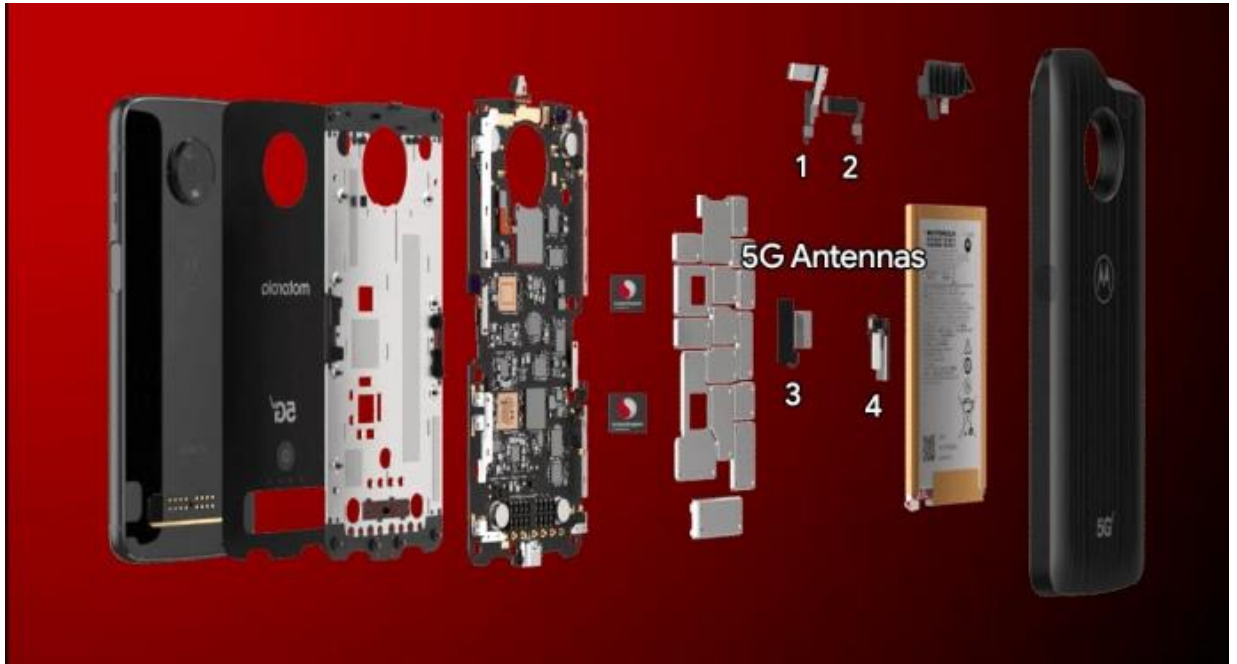


Рисунок 2.8. Концепт 5G смартфона, якому для прийому 5G сигналу необхідно чотири антени

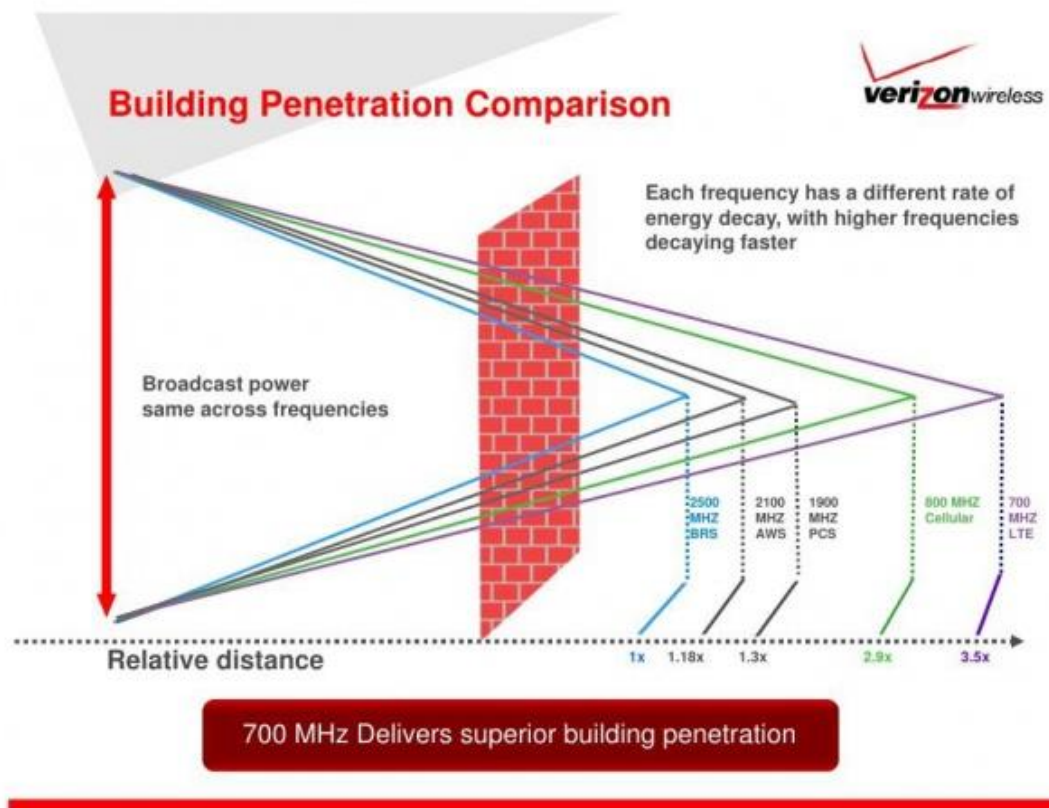


Рисунок 2.9. Пропускна спроможність мереж 5G на різних радіочастотах

Українські мобільні оператори не розділяють думки, щодо швидкого розгортання в Україні мереж п'ятого покоління. Хоча мобільні оператори повідомляють, що готові приймати участь в торгах за частоти для 5G, але це пояснюється тим, якщо не придбати частоти, то потім можливості їх придбати не буде. Для запуску мереж 5G, які потребують більш інвестицій ніж 4G, потрібна сильна економіка. Саме вона створить умови та попит на послуги нового покоління – недешевий супер швидкий мобільний інтернет, розумні дороги з безпілотними автомобілями, роботизовані підприємства тощо. В Україні з запуском 3G та 4G з запізненням на десяток років склалися більш сприятливі умови. Тому що обладнання було дешевим, а насиченість смартфонами з підтримками цих мереж – висока. Але з мережами 5G зовсім по другому, впровадження цього зв'язку буде дорого коштувати [34].

Технології 5G не дадуть переваг в найближчому майбутньому. Компанія Ericsson в своєму досліді показала, що користувачі не готові платити за послуги 5G більше 20% від того, що платять зараз.

2.3 Технології та принципи побудови мереж п'ятого покоління.

В теперішній час основною проблемою мереж четвертого покоління є необхідність підвищення швидкості передачі даних. Крім підвищення швидкості передачі даних та пропускної можливості, завдяки надвисокої надійності, малому часу затримки і роботи в режимах багатьох підключень, мережі п'ятого покоління підтримують нові мережеві вимоги.

Створення надшвидкісних каналів зв'язку з великою пропускною можливістю, надвисокою надійністю, низькою затримкою та передачею даних по декільком з'єднанням одночасно в одній і тій самій інфраструктурі мережі зв'язку вимагає не тільки наявності безпроводних інтерфейсів 5G, але також і значних змін на стороні провідної мережі, інтеграції архітектури Mobile Fronthaul (MFH) та Mobile Backhaul (MBH):

- Зміна інтерфейсу MFH: перехід з CPRI на eCPRI, або RoE.

- Час затримки MFH та MBH в односторонньому режимі: скорочено до 100 мкс.
- Часова синхронізація: досягнення ще більшої точності вимірювань.

Anritsu Network Master Pro MT1000A – це ідеальне рішення для оцінки якості при переході з мереж четвертого покоління до мереж п'ятого покоління.

Одним з ключових моментів при переході з мереж 4G до мереж 5G – застосування технологій eCPRI/RoE, замість CPRI для підключення виносного радіо блоку (RRH) до блоку обробки сигналів (BBU). В теперішній час для підключення виносного радіо блоку (RRH) та блоку обробки базового сигналу (BBU) застосовується технологія радіо інтерфейсу загального користування (CPRI). Але ефективність передачі даних з застосуванням технології CPRI складає всього 6%, що обмежує можливості підвищення швидкості мереж і є суттєвою проблемою, яка вимагає вирішення. Вирішення цієї проблеми було знайдено в розподіленні функції між RRH та BBU, а також пере розгляд структури протоколів зв'язку. Очікується, що розподілення функцій шляхом збереження однієї частини функцій модуляції на стороні RRH буде виконувати ключову роль в придушенні смуги зв'язку. Крім того, вивчається потенціал протоколів eCPRI та RoE на основі Ethernet. Технології eCPRI/RoE дозволяють не тільки підвищити швидкість передачі даних за рахунок використання мереж Ethernet, але також можуть бути засобом суттєвого зниження вартості інфраструктури для базової станції за рахунок використання високошвидкісних інтерфейсів передачі даних 25 GbE та 100 GbE, які широко розповсюджені на багатьох світових ринках.

Наступний ключовий момент – це мінімізація часу запізнення мережі за рахунок реалізації високоточних вимірювань з малим значенням затримки. Загальний час запізнення в мережах п'ятого покоління має не перевищувати 1 мс, включаючи провідну частину мережі. Одностороннє запізнення провідної ділянки мережі, особливо в мобільних мережах 5G, повинно складати близько 100 мкс. Отже, при оцінці пристроїв в складі мереж, постачальники комунікаційного обладнання повинні вимірювати затримку з високою точністю.

Останній ключовий момент – особлива важливість часової синхронізації. В справжній час для часової синхронізації використовуються дані від GPS, але такий підхід обмежується областю розповсюдження радіосигналу GPS та неможливістю його прийому базовими станціями в деяких місцях, наприклад, всередині споруд, підземних торгових центрів тощо. Для вирішення даної проблеми в деяких місцях розгортається часова синхронізація на основі протоколу точного часу (PTP). Так як PTP може застосовуватися незалежно від місця встановлення, пропонується використовувати цей протокол при розгортанні мереж 5G, що ще більш збільшує його затребуваність.

Як влаштовані мережі четвертого покоління 4G та мережі п'ятого покоління 5G представлено на рис. 2.10 та рис. 2.11.

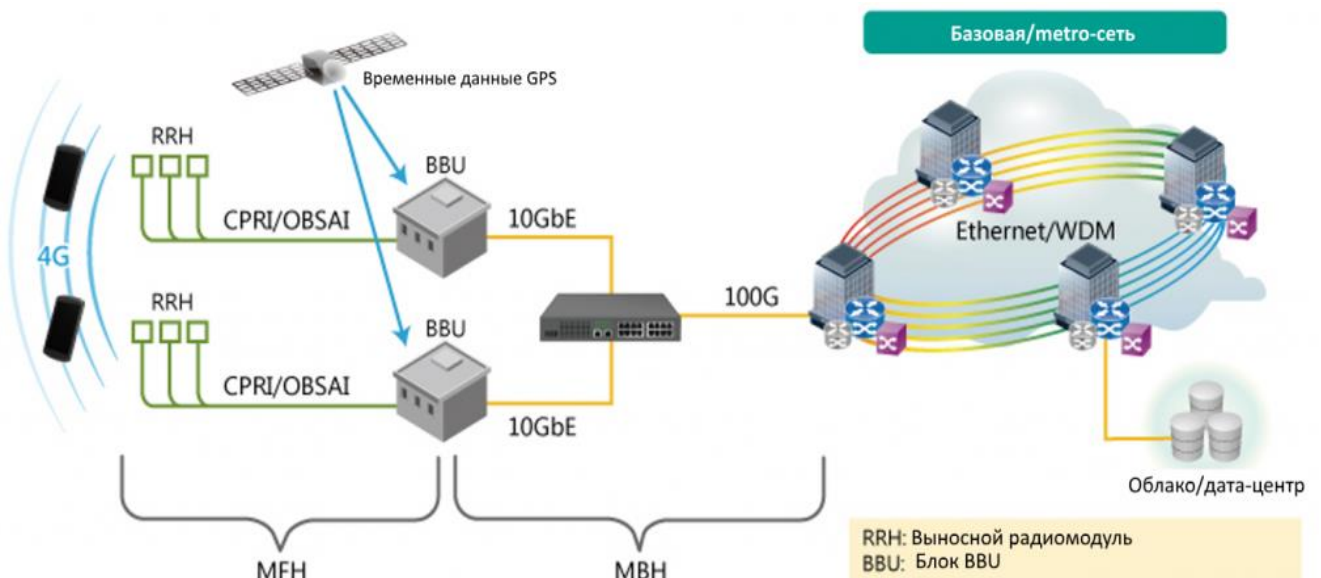


Рисунок 2.10. Приклад мережі четвертого покоління

Розвиток мобільних мереж п'ятого покоління на існуючих мережах четвертого покоління та нових технологіях. Але, перехід на мережі п'ятого покоління не виникне одночасно, тому при проектуванні та будівництві нових мереж особливу увагу будуть уділяти можливостям і модернізації 5G.

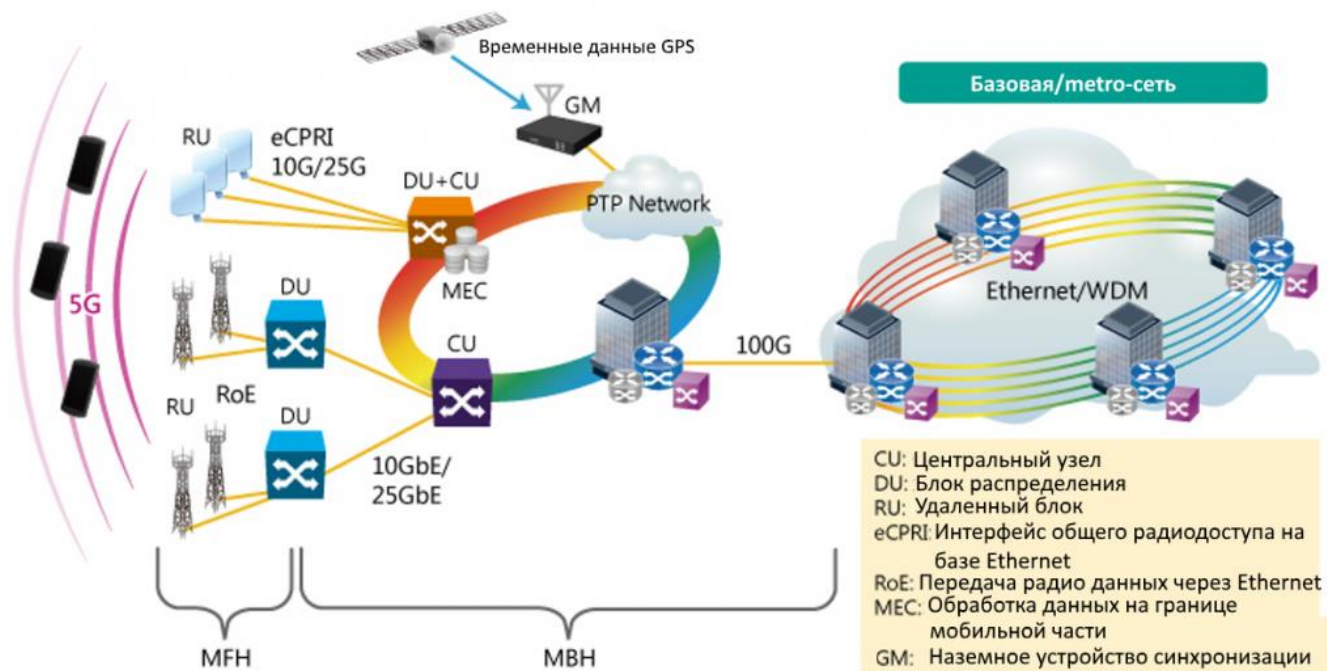


Рисунок 2.11. Приклад мережі п'ятого покоління

В доповнення до звичайних вимірювань пропускної можливості та BER, оцінка характеристик мобільної мережі 5G також буде включати високочастотні вимірювання параметрів інтерфейсів eCPRI/RoE, часу запізнення та часової синхронізації. MT1000A має всі необхідні вимірювальні функції, які необхідні для розгортання мобільної мережі 5G.

Очікується, що замість використання традиційної технології CPRI, в основі мобільних мереж 5G будуть лежати технології eCPRI та RoE. MT1000A підтримує вимірювання BER, а також час запізнення з використанням кадрів eCPRI та RoE (Рис. 2.12). Як BER, так і час запізнення може бути виміряний через лінію WDM.



Рисунок 2.12. Вимірювання eCPRI/RoE

Передбачене максимальне односторонній час затримки для мобільних мереж 5G складає 100 мкс (Рис. 2.13). Але мінімізація затримки мережевих приладів є ключовим моментом, так як реальні оптоволоконні мережі повинні забезпечувати швидкодiю в районі 5 мкс на кілометр.

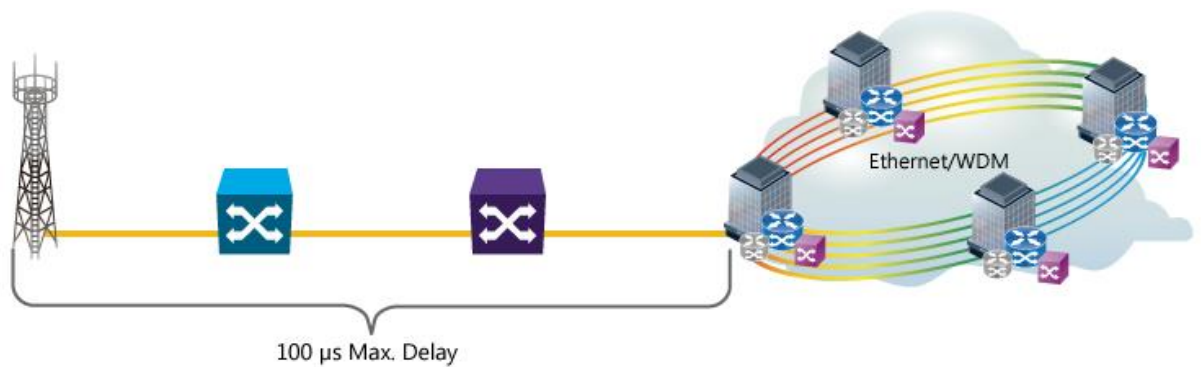


Рисунок 2.13. Максимальна затримка – 100 мкс

Одностороння затримка між двома окремими точками може бути виміряне з використанням двох блоків MT1000A (Рис. 2.14).



Рисунок 2.14. Вимірювання часу запізнення сигналу

Крім того, опції MT1000A дозволяють виконувати вимірювання часу запізнення з високою швидкістю та роздільною здатністю в відповідності з вимогами мобільних стандартів 5G.

Тимчасова синхронізація в мобільних мережах п'ятого покоління з застосуванням протоколу точного часу (PTP), а частотна синхронізація за допомогою технології SyncE. При оцінці параметрів часової синхронізації контролюють часову помилку розподіленого приладу синхронізації, яка повинна

знаходиться в межах допустимого діапазону, контроль даного параметру грає ключову роль в загальній оцінці параметрів мережі.

Оснащення MT1000A додатковим модулем приймача MU100090A з синхронізацією від GPS з влаштованим високочастотним рубідієвим генератором тактових імпульсів забезпечує можливість вимірювання точності часової синхронізації (вимірювання помилки по часу, Рис. 2.15). Одностороннє запізнення може бути виміряне на основі часової мітки в пакеті IEEE1588 з використанням даних часової синхронізації від GPS. Таким чином, забезпечується підтримка виміру помилки передачі часу в відповідності з ITU-T G.8273 (Рис. 2.16).



Рисунок 2.15. Вимірювання фазової помилки між вимірюваним та опорним сигналом 1 pps



Рисунок 2.16. Вимірювання помилки передачі часу в відповідності з ITU-T G.8273

До потенціальних технологій в стандарті мереж п'ятого покоління можливо віднести: масивні MIMO, перехід в сантиметровий та міліметровий діапазони, мультитехнологічність, D2D (Device-to-device), новий радіо інтерфейс в мережах 5G.

Технологія MIMO означає використання декількох антен на приймачах. Технологія, успішно застосовувана в мережах четвертого покоління, знайде застосування і в мережах 5G. При цьому якщо в нинішній час використовується MIMO 2x2 та 4x4, то в майбутньому число антен збільшиться. Ця технологія має одразу два вагомих аргументу для застосування: швидкість передачі даних має виростає майже пропорційно кількості антен; якість сигналу покращується при прийомі сигналу одразу декількома антенами за рахунок рознесеного прийому (Receive Diversity).

На даний момент мережі LTE працюють в частотних діапазонах менше 3,5 ГГц. Для повноцінного функціонування мереж мобільного зв'язку стандарту 5G потрібно розгортати мережі в більш вільних високочастотних діапазонах. При підвищенні частоти, на якій передається інформація, зменшується дальність зв'язку. Однак рахується, що базові станції мереж п'ятого покоління будуть розташовуватися щільніше, ніж зараз, що визвано необхідністю створення набагато більшу ємність мережі. Перевагою діапазонів десятків ГГц є наявність більшої кількості вільного спектру.

Для забезпечення високоякісного обслуговування в мережах п'ятого покоління необхідна підтримка, як вже існуючих стандартів, таких як UMTS, GSM, LTE, так і інших, наприклад, Wi-Fi. Базові станції, які працюють по технології Wi-Fi можуть використовуватися для розвантаження трафіку в особливо завантажених місцях.

Технологія D2D дозволяє пристроям, які знаходяться неподалік один від одного, обмінюватися даними напряму, без використання мереж 5G, через ядро якої буде проходити тільки сигнальний трафік, як зображено на Рис. 2.17.

Перевагою такої технології є можливість переносу передачі даних в неліцензовану частину спектру, що дозволить додатково розвантажувати мережу.

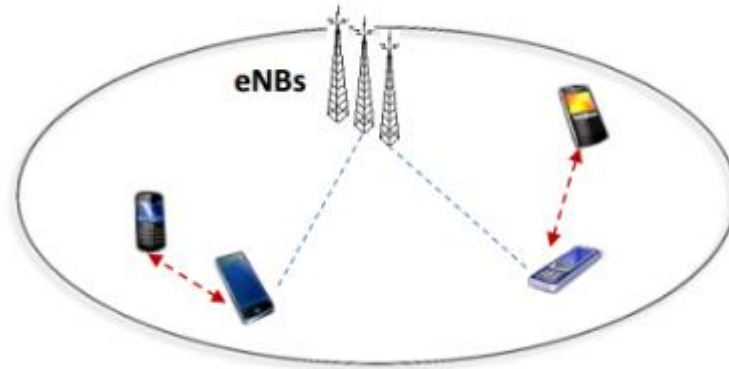


Рисунок 2.17. Принцип роботи технології Device-to-Device

Ефективною технологією, яка дозволяє скоротити об'єм операторського обладнання та спростити обслуговування інфраструктури, може стати програмно-конфігурованою мережею SDN (Software-Defined Networks). SDN сприяє цифровій трансформації компаній та переводу сервісів на хмарові технології. Фундаментальний принцип роботи SDN – це дистанційне управління мережею та приладами передачі даних, точніше програмно.

В свою чергу передбачається, що віртуалізація мережевих функцій NVF (Network Functions Virtualization) дозволяє віртуалізувати різні функції багатьох мережевих елементів операторів мобільного зв'язку, а також реалізовувати мережу по запиті. Оброблятися і зберігатися дані будуть в віртуальній середі, в хмаровому сховищі. За класичним обладнанням залишається функція передачі користувацького трафіку. Такий підхід до організації мереж п'ятого покоління відповідає тенденціям, які простежуються бездротовим зв'язком, а саме конвергентності. Конвергентність передбачає інтеграцію відокремлених об'єктів мережі в єдиний обчислювальний комплекс. Це в тому числі важливо і для розумних пристроїв в цілях обміну інформації в режимі онлайн.

Для організації певної ділянки мережі оператори застосовують уже пророблені рішення з набором необхідних параметрів і конкретним обладнанням. Віртуалізація 5G та мережі по запиті дозволяє завчасно організувати сервери та

DATA-центри для операторів, точніше надає для них рішення, за допомогою якого значно скоротивши тимчасові та фінансові витрати на впровадження нових послуг.

В таблиці 2.2 представлена інформація щодо архітектури мереж п'ятого покоління на основі хмарових рішень.

Таблиця 2.2

Архітектура 5G на основі хмарових рішень

Access (Хмара доступу)	Control (Хмара управління)	Forward (Транспортна хмара).
<ul style="list-style-type: none"> - організація роботи розподілених та централізованих технологій; - організація роботи систем доступу; - сумісність 5G з 3G та 4G; 	<ul style="list-style-type: none"> - управління сесіями; - управління мобільністю; - управління якістю послуг; 	<ul style="list-style-type: none"> - фізична передача даних; - забезпечення надійності та швидкості мережі; - балансування навантаження;

Одним з перешкод для запуску мереж 5G є недолік частотного спектру. Пропонується, що в майбутніх мережах ресурс розшириться, в тому числі за рахунок міліметрового діапазону. Проблему покриття та доступності мережі пропонується вирішити шляхом орієнтування на абонентів, це означає, що радіо покриття мережі буде підлаштовуватися під потреби абонентів на відміну від попередніх стандартів.

Ефективність радіо інтерфейсу мереж п'ятого покоління буде збільшена в три рази – стане пропускати до 3-х разів більше даних при одній тій самій ширині полоси. Очікуваний показник: 6 біт/с на 1 Гц.

Наприклад, в якості претендентів на звання радіо інтерфейсу мереж 5G компанія Huawei пропонує наступні технічні рішення: SCMA (Sparse Code Multiple Access) – заснований на виряджених кодах метод розподілення абонентів, який не вимагає підтвердження про доставку. Перед трансляцією через радіо інтерфейс

бітові потоки різних абонентів з одного частотного ресурсу перетворюється в кодове слово при допомозі так названої кодової книги. Відновлення сигналу на стороні прийому також виготовляється по кодовій книзі.

F-OFDM представляє під кожну задачу свій набір параметрів за рахунок гнучкого розбиття на піднесучі, застосування різної довжини символів та змінюється величина циклічного префіксу. F-OFDM є удосконаленою версією OFDM.

Polar Code – технологія з субквадратичною тяжкістю кодування. Представляє собою лінійний корегувальний код, який заснований на явищі поляризації каналу. Полярні коди дозволяють підвищити частотний спектр в 3 рази, дозволяє проводити декодування лінійної тяжкості та істотно збільшити швидкість передачі даних.

Створити більш досконалу та якісну інфраструктуру мереж 5G призваний ряд різних технологій. Серед них Massive MIMO, який дозволяє передавати одному абоненту до 8 потоків даних. Massive MIMO – це комплекс з декількох антен, який буде формувати дуже гострі діаграми направленості. Технологія декількох променів покращить рівень прийнятого сигналу та усуне інтерференцію від інших абонентів, що позитивно посприє на пропускну спроможність мережі та ефективність використання частотного спектру.

Яскравими напрямками концепції Інтернету речей є взаємодія M2M та D2D. Технологія M2M необхідна для взаємодії приладів між собою без безпосередньої участі людини. Сфера застосування M2M достатньо широка. Наприклад, в платіжних терміналах, системах безпеки, в системах координації транспортних приладів. Технологія здешевлює, а також мінімізує їх залежність від людського фактору, дозволяє оперативно реагувати на збої в роботі систем. На таблиці 2.3 представлені ефективні технології для мереж п'ятого покоління.

Таблиця 2.3

Ефективні технології для мереж 5G

Технологія	Функції
Novel Multiple Access	Технологія доступу;
Filter Bank Multicarrier/Universal Filter Multi-Carrier	Покращення спектральної ефективності; Оптимізація каналної селективності; Застосування 5G в когнітивному радіо;
Advanced Coding and Modulation	Застосування сукупності покращених технологій модуляцій та кодування;
Low latency & high reliability	Зменшення затримки мережі; Підвищення надійності мережі;
Flexibel Duplex	Гнучка передача трафіку по лініям вверх та вниз;
Ultra-dense networking	Організація надщільних мереж за рахунок технології віртуалізації; Обслуговування великої кількості абонентів; Організація одночасної взаємодії сот між собою;
New Full Duplex (представлено на Рис. 2.18)	Використання однієї частоти для різних задач;
Spectrum sharing	Організація сумісного використання частотного спектру на різних рівнях різними технологіями доступу;

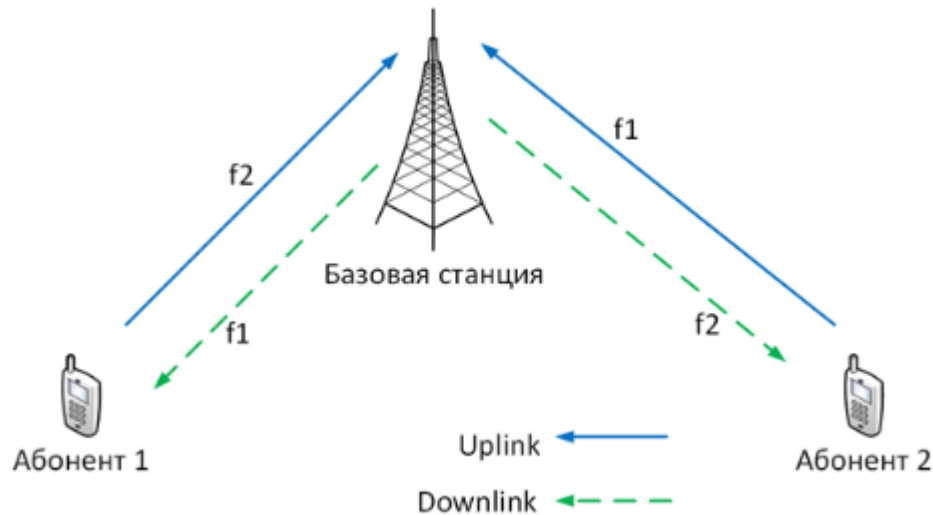


Рис. 2.18. Представлення технології New Full Duplex

2.4 Багатоканальна передача даних в мережах зв'язку 5G.

В мережах п'ятого покоління відсутня технологія багатоканальної передачі даних. Таким чином проектом 5G-Xcast було запропоновано удосконалення архітектури ядра мереж п'ятого покоління з ціллю появи підтримки багатоканальної передачі даних.

Необхідне включення функції багатифункціональної можливості в кілька мережевих функцій для кожної архітектури, яка була запропонована проектом 5G-Xcast. Було включено три різних види додаткових функцій для цього типу передачі даних, а саме: ML-CP – це додаткова функція в контрольній площі. ML-MW – це функціональність в площині даних. ML-MW – це функціональність, яка необхідна для проміжного забезпечення багатоканальної передачі даних. На рис. 2.19 зображений потік даних, який дає характеристику цьому процесу.

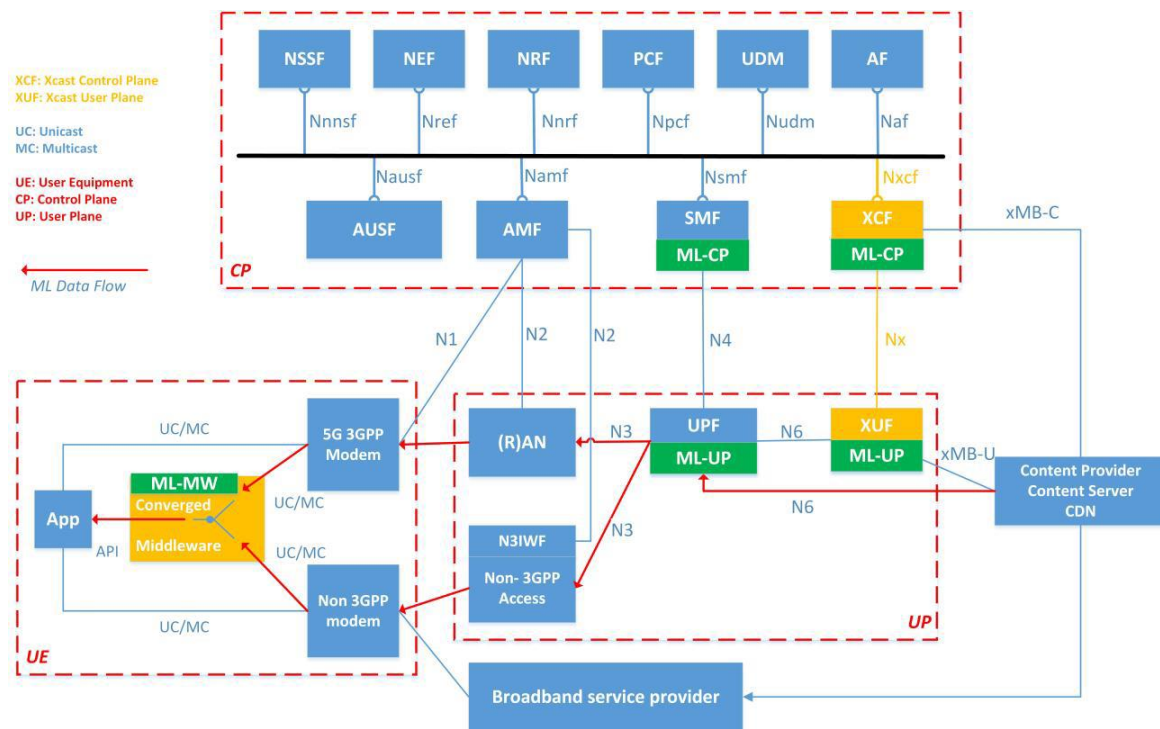


Рисунок 2.19 Зображення багатоканальної передачі даних в удосконаленій мережевій архітектурі зв'язку п'ятого покоління

До мережевого функціоналу зв'язку п'ятого покоління необхідно внести додаткові функції, як показано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Додаткові функції до мережевого функціоналу 5G

XCF	Налаштування та відтворення сеансу Multilink.
	Оцінка параметрів QoS для передачі даних через кожну наявну мережу.
UPF	Розділення даних.
	Створення IP-тунелів.
SMF	Налаштування та роз'єднання сесії Multilink.
Converged middleware	Об'єднання даних.
	Запит налаштування сесії ML (параметри QoS).
	Сигналізація (передача даних про якість каналу).
	Кешування.

В такому випадку процес передачі даних буде наступний. Існує певний загальник потік даних, який передається на UPF через інтерфейс N6. UPF розбиває потоки даних між (R)AN та доступом до не-3GPP мереж. Після отримання в проміжному програмному забезпеченні на стороні клієнта розбиті дані об'єднуються в один загальник потік. Протокольна взаємодія під час такої багатоканальної передачі даних в мереж 3GPP та не-3GPP буде зображена на Рис. 2.20.

В даній архітектурі перед встановлено встановлення декількох IP-тунелів з використанням протоколу MLPPP, MPTCP, або MPQUIC для багатоканальної передачі даних.

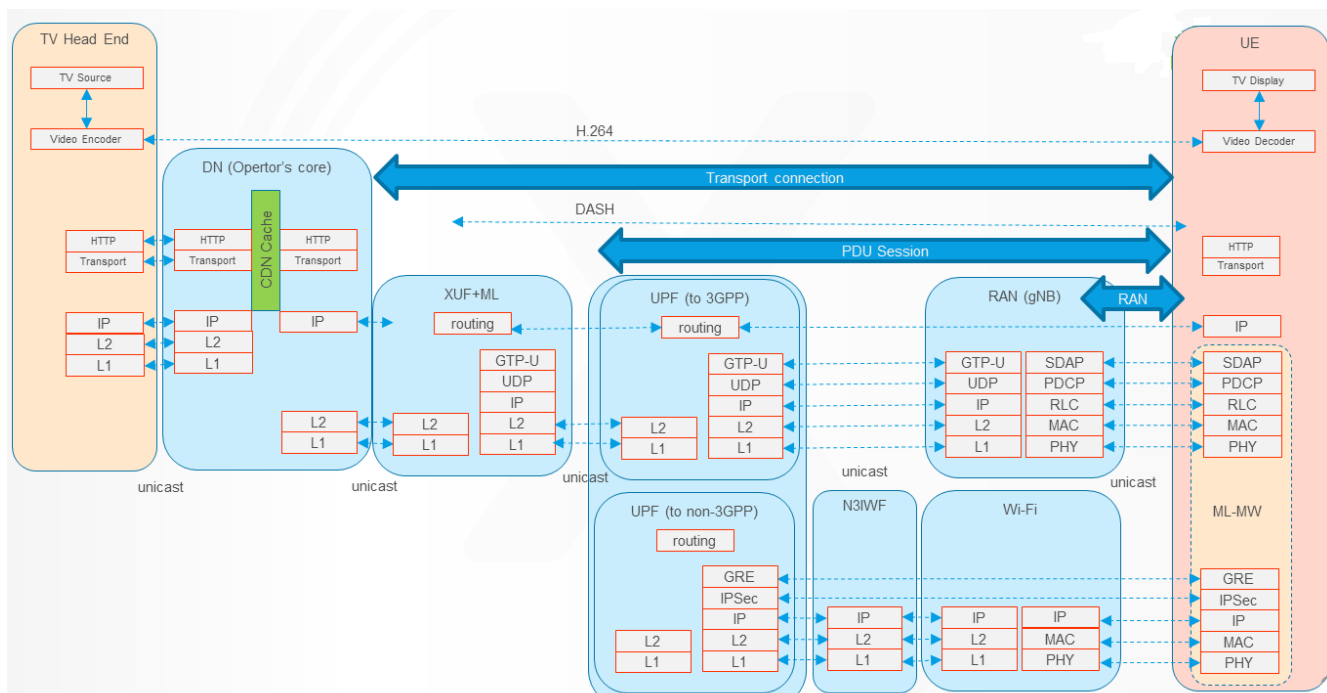


Рис. 2.20. Протокольна взаємодія під час багатоканальної передачі даних в мережах 3GPP та не-3GPP

2.5 Труднощі побудови мереж п'ятого покоління.

Основною різницею та перевагою мереж п'ятого покоління є швидкість передачі даних, яка виростає в 10-100 разів в порівнянні з швидкостями мереж

четвертого покоління, а також час відгуку скорочується приблизно в 5 разів в порівнянні з 10-100 мс в мережах четвертого покоління.

Ці характеристики повинні задати направлення роботи над стандартами 5G, яка вже почалася. Перше засідання 3GPP по даному питанню відбулося в кінці 2015 року. Воно визначило двох етапну стратегію розвитку стандарту. Перший етап продовжувався до 2018 року, але первинні положення врахують не всі вимоги. Масове комерційне розгортання високошвидкісного покриття мереж п'ятого покоління очікуємо не раніше 2020 року.

Паралельно профільні структури різних країн вирішують проблему та труднощі з нехваткою частотного ресурсу. Один з очевидних інструментів – це вивільнення частот від минулих поколінь зв'язку.

В табл. 2.5 показано розподілення абонентів (млрд) по поколінням мобільного зв'язку в світі, станом на 2016 рік.

Таблиця 2.5

Показник розподілення абонентів по мережам станом на 2016 рік

Покоління мереж зв'язку	2G	3G	4G (LTE)
Кількість абонентів	>1	1,4	0,75

Ще один спосіб розширення радіочастот – це освоєння неліцензійного спектру. З цією ціллю пропонуються технології LAA (Licensed-Assisted-Access) та LWA (LTE & WLAN Aggregation). Перша агрегує частотний спектр Wi-Fi в діапазоні 5 ГГц, об'єднуючи його з LTE. Друга – інтегрує радіо доступ LTE та Wi-Fi. Аналогічна даним рішенням технологія MuLTEfire, яка призначена для оптимізації LTE в рамках неліцензійного спектру. Однак, на відміну від LAA та LWA вона не прив'язує абонентське обладнання до ліцензованих частот, що дуже розширяє зону покриття.

Другою серйозною проблемою швидкого розгортання мереж п'ятого покоління є зовсім нова інфраструктура високошвидкісних мереж. Від п'ятого покоління очікують глобального мережевого покриття та високонадійної безперервної роботи. Це тягне за собою необхідність збільшення кількості

операторського обладнання, складність його обслуговування та високі затрати. Революційним рішенням в мережах мобільного зв'язку може стати віртуалізація архітектури мереж п'ятого покоління, що дозволить оптимізувати використання ресурсів та підвищить продуктивність мереж [7].

2.6 Послуги та швидкість мереж п'ятого покоління.

Основні послуги, для яких потрібне створення мереж нового покоління мобільного зв'язку, наступні:

- Над широкопasmовий мобільний зв'язок (enhanced Mobile Broadband, eMBB).
- Надійний між машинний зв'язок з низькими затримками (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC).
- Масовий між машинний зв'язок (Massive Machine-Type Communications, mMTC).

Ступінь важливості кожної із ключових можливостей 5G для сценаріїв оцінюється трьома приблизними показниками «висока», «середня», «низька»:

- Практична користувацька швидкість передачі даних.
- Трафік на одиницю площі.
- Пікова швидкість передачі даних.
- Мобільність.
- Енергоефективність.
- Ефективність використання спектру.

В деяких сценаріях URLLC високе значення має низька затримка для того, щоб забезпечити роботу критично важливих служб безпеки, а також високий рівень мобільності в сфері послуг безпеки перевезень.

Сценаріями mMTC властива висока щільність з'єднань і необхідність підтримки коректного функціонування більшої кількості пристроїв в мережі. Для реалізації даного сценарію важлива низька вартість пристрою і його

енергоефективність. Вимоги до затримок та пропускної можливості мереж 5G в залежності від типу послуг зображені на Рис. 2.21.

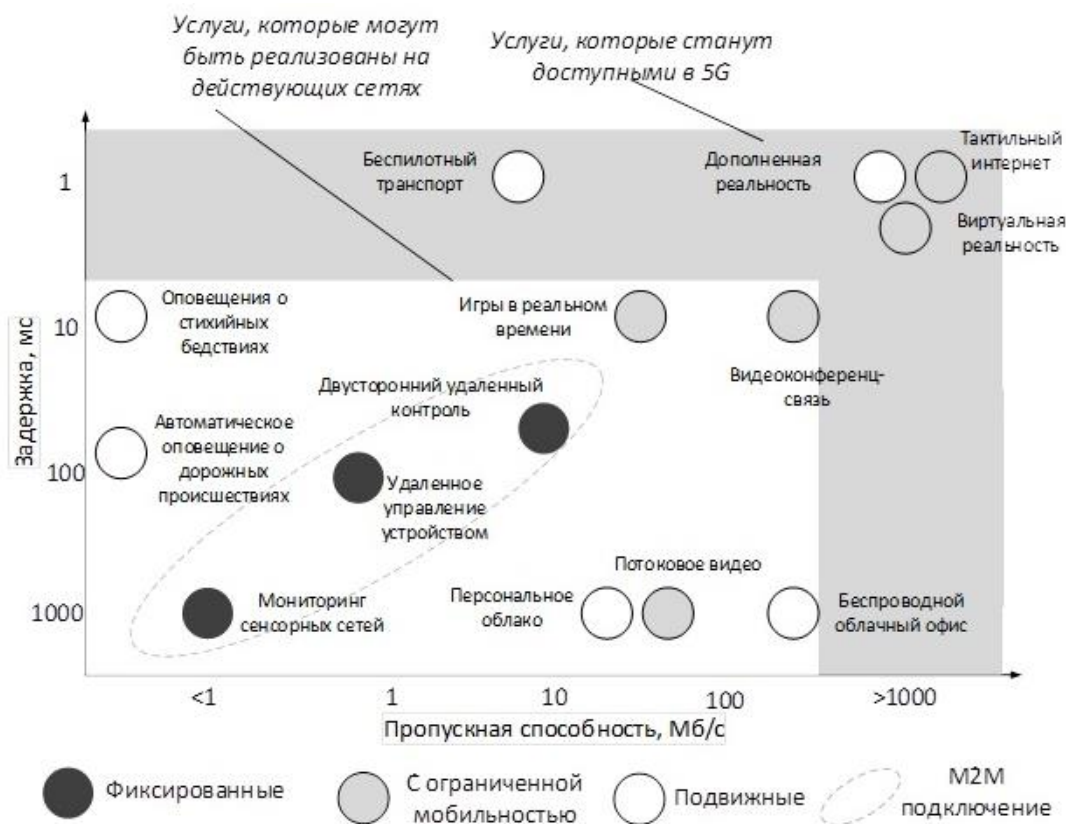


Рисунок 2.21. Вимоги до затримок та пропускної можливості мереж п'ятого покоління в залежності від типу послуги

Послуги в мережах 5G можливо також класифікувати по наданому контенту для абонентів:

- Мультимедійні послуги: відео в розширенні 4K, 8K, 3D-відео, Online ігри, послуги на основні голограм та мультимедіа з повним ефектом присутності.
- Хмарові послуги: файлові сховища, державні послуги, бізнес-додатки.
- Послуги віртуальної реальності (Virtual Reality, VR).
- Послуги доповненої реальності (Augmented Reality, AR): охорона здоров'я, військова промисловість, розваги.

- Інтелектуальні послуги на основі Big Data з ціллю підвищення ефективності бізнесу (business intelligence, BI), а також експлуатації та управління мережею (network intelligence, NI).
- Послуги Інтернету речей (IoT) на основі масового підключення приладів: енергетика, транспорт, охорона здоров'я, торгівля, громадська безпека, промисловість, ЖКХ.
- Послуги з дуже низькою затримкою: управління роботизованими механізмами, телемедицина, беспілотний автотранспорт, 3D-ігри.

Значне збільшення пропускнуої можливості та практичної швидкості передачі даних вимагають значного розширення та підвищення ефективності використання спектру, а також вкрай високої щільності підключень, що недостатньо для стандартів LTE/LTE-A навіть при їх удосконаленні.

Реалізація мереж п'ятого покоління, особливо підвищення швидкостей передачі даних, вимагають суттєвого збільшення частотного ресурсу. Одним з рішень цієї проблеми є рефармінг частот – процедура заміни використовуємої радіо технології на виділених оператору зв'язку радіочастотах. За згодою з регулятором, запуск eNodeB LTE на частотах, виділених оператору під 2G та 3G радіо мережі.

Для надшвидкісних послуг мереж 5G необхідний спектр в діапазонах більше 6 ГГц. Мережам мобільного зв'язку п'ятого покоління будуть властиві високі швидкості. Також очікується ріст реальної швидкості на одного абоненту до 100 Мбіт/с і більше. Збільшення швидкості буде досягатися за рахунок підвищення спектральної ефективності мереж 5G в 2-5 разів в порівнянні з мережами четвертого покоління. Це в свою чергу стане доступним за рахунок застосування наступних технічних рішень:

- Massive MIMO.
- Використання нової версії радіо інтерфейсу New Radio.
- Більш широка смуга частот [7].

3 МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

3.1 Побудова мобільних мереж 5G на базі багатовимірних сигналів

Основною вимогою, які висувають користувачі до мереж мобільного зв'язку, стосуються продуктивності мереж. Мобільний зв'язок розвивається таким чином, щоб користувачі здійснювали доступ до даних миттєво, надання послуг здійснювалось без затримок та без втрати зв'язку. Якісний, високо продуктивний та ефективний метод побудування мереж 5G можуть бути реалізовані на базі надщільних мереж стандарту п'ятого покоління. Але, при втілення такого методу також виникають труднощі, які тільки збільшуються.

Протягом останнього часу мобільний трафік показує стійке зростання і такий темп збережеться в майбутньому часі. На підставі різних висновків після 2020 року ємність систем має забезпечувати обробку трафіку обсяг якого має перевищувати нинішній більше ніж у 1000 разів. На даний момент по всьому світі працюють більше 5 мільярдів пристроїв в мобільних мережах. В майбутньому кількість таких пристроїв має збільшитися в десятки разів, це саме смартфони, термінали, прилади «розумний будинок» та будь-яка інша розумна техніка з штучним інтелектом.

Для створення мереж п'ятого покоління на базі ультра щільних мереж необхідне забезпечення реалізації нових сигнально-кодових конструкцій. Канали з адитивною відстанню сигналів використовуються конструкції багатовимірних сигналів, в яких присутня деяка сукупність кодів. Дана технологія застосовується, в основному, для неперервного каналу з білим шумом, для якого побудована низка певних систем сигналів. Багатовимірні сигнали дозволяють сильно підвищити передачу повідомлень по каналах зв'язку. Основні характеристики системи сигналів – множини сигналів і її взаємно-однозначного відображення на джерело повідомлень визначається, як розмірність, потужність множини сигналів та відстань між найближчими сигналами. Для деяких важливих типів каналів підходять характеристики, такі як потужність при заданих розмірностях та мінімальній відстані.

Кодування дискретного каналу, який утворений модулятором елементарних сигналів, неперервним каналом і демодулятором елементарних сигналів, рахується заданим. Наближення до потенціальних характеристик неперервного каналу не вдається, як унаслідок звуження класу сигналів. Останній недолік закінчується об'єднанням демодуляції та декодуванням в одну процедуру прийому в цілому, яка називається м'яким аналоговим декодуванням, вирішуванням та прийому у наполовину неперервному каналі.

Для вирішення вказаного раніше недоліку модуляції, а саме перетворення повідомлення в сигнал на вході неперервного каналу, має розглядатися, як єдина процедура, яка з'єднує кодування і модуляцію сигналів. Дискретний код пов'язаний з деякою конструкцією багатовимірних сигналів.

Позначимо M -ий код довжини N з \mathcal{M} словами і мінімальною хеммінговою відстанню d через $(N, \mathcal{M}, d)M$, або, при $\mathcal{M} = MK$, через $[N, K, d]M = (N, MK, d)M$. Оператор f модуляції елементарних сигналів зіставить символ $q_n \in \{0, \dots, M-1\}$ слова $q = (q_1, \dots, q_N) \in (N, \mathcal{M}, d)M$ елементарний сигнал $x_n = f(q_n)$ із множини X елементарних сигналів потужності $|X| = M$, що міститься в повній множині можливих на вході неперервного каналу елементарних сигналів, а оператор ϕ кодування ставить у відповідність слову u словника джерела \mathcal{U} слово q коду. Пара відображень f і ϕ задає відображення словника \mathcal{U} на множину сигналів $\mathcal{A} \subseteq X$, визначаючи конструкцію системи сигналів, яку далі називатимемо кодовою конструкцією. Де X — конструктивна множина сигналів, яка представлена у виді декартового ступеня \mathcal{X} .

$$\mathcal{X} = X^N = \{\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N) : x_n \in X\}.$$

Для певної кожної пари сигналів $x', x'' \in \mathcal{X}$ визначаємо міру розрізнення $D(x', x'')$, яку далі буде називатися сигнальною відстанню, або просто відстанню, якщо це не призведе до непорозуміння. Сигнальна відстань не обов'язково метрика, але в певних випадках, що становлять значний інтерес, є монотонною функцією метрики. Для багатьох, не для всіх, типів каналів сигнальна відстань адитивна, тобто її можна подати у вигляді

$$D(\mathbf{x}', \mathbf{x}'') = \sum_{n=1}^N D_0(x'_n, x''_n).$$

Прикладом може бути квадрат евклідової відстані, не метрика, або добре відомі відстані Хеммінга і Лі – це метрики. При використанні кодової конструкції зв'язок між мінімальними сигнальною відстанню на множині сигналів \mathcal{A} і відстанню d Хеммінга подається згідно з першою формулою очевидним співвідношенням

$$D = \min_{\mathbf{x}', \mathbf{x}'' \in \mathcal{A}, \mathbf{x}' \neq \mathbf{x}''} D(\mathbf{x}', \mathbf{x}'') \geq \delta d,$$

де $\delta = \min D_0(x'_n, x''_n), x'_n, x''_n \in X, x'_n \neq x''_n$.

У більшості певних відомих кодових конструкцій множина X — це дійсна одновимірна множина, якщо канал низькочастотний, або одновимірна комплексна множина, тобто дійсна двовимірна, а при амплітудній і фазовій модуляції елементарних сигналів у смугових каналах. Певна кодова конструкція спроможна при будь-якій розмірності у множині X елементарних сигналів. Однак, вдала вона тільки, коли всі ненульові відстані в X однакові. Коли X — це правильний симплекс, який складається, здебільшого, з двох сигналів, або з набору ортогональних сигналів із однаковими нормами. Тоді сигнальна відстань між двома сигналами з \mathcal{A} пропорційна до відстані Хеммінга, між образами цих сигналів, і в разі вдалого коду кодова схема також буде вдала. Проте за великої потужності M множини X , збільшення її необхідне для отримання високої швидкості, відстані на X істотно різні. Кодова конструкція, яка заміняє всі ненульові відстані найменшою з них, а це можливо називати як двійкове квантування відстаней, не враховуючи цих відмінностей, але має дві важливі переваги — це простоту та універсальність. Універсальністю - це принципова можливість отримання систем сигналів довільної розмірності і з довільними сигнальними відстанями.

Простота забезпечується регулярністю кодів (алгебраїчними властивостями), які об'єднують однотипні елементарні сигнали в багатовимірні. Запропоновані далі конструкції тією чи іншою мірою зберігають ці характеристики, дозволяючи

отримувати потужніші системи сигналів за рахунок більш тонкого врахування розподілу відстаней на X .

Конструкцій, які ґрунтуються на розбитті множини елементарних сигналів на неперетинні підмножини, по кожній при вдалому розбитті сигнальна відстань між найближчими сигналами буде більша, ніж у всій множині X , найзручніша ієрархічна конструкція (ІК), в ній присутні ідеї узагальненого каскадного коду, які придатні для системи сигналів із довільною адитивною сигнальною відстанню. Під схемою ієрархії розуміється сукупність L розбиття множини X на класи, таких, що всі класи одного рівня, одного розбиття, потужні по рівну і можуть включати в себе типи попереднього рівня тільки цілком, тобто класи попереднього рівня включено в класи наступного рівня подібні порівняно до систем внутрішніх вкладених кодів узагальненого каскадного коду. Таким чином множина класів першого рівня, включених у клас першого рівня, які відображаються взаємно та однозначно на множину символів M_1 коду (N, M_1, d_1) M_1 першого рівня – це схоже на зовнішній код узагальненого каскадного коду, де $M_1 M_2 \dots M_L = M$. Таким чином сигнальні відстані між елементарними сигналами класу першого рівня зростають зі зменшенням l , перехід від кодових конструкцій з одним M -ковим кодом до багатокової ієрархічної конструкції дає змогу підвищити потужність множини сигналів без зниження мінімальної сигнальної відстані, так само як перехід від каскадного коду до узагальненого коду, який дозволяє підвищити потужність коду без зниження мінімальної хеммінгової відстані. Скупчення L -згорткових кодів дозволяє на базі тієї самої ієрархії отримати згортковий аналог ієрархічної конструкції сигналів для неперервного або дискретного каналу з адитивною сигнальною відстанню. У більшості представлених прикладів множина елементарних сигналів належить сфері з нормою p у v -вимірному просторі. Конструкція сигналів з адитивною сигнальною відстанню придатна в разі розбиття множини елементарних сигналів на нерівно потужні підмножини. Така конструкція потенційно потужніша за ієрархічну конструкцію. Найбільш привабливі з них — це конструкції з переставленнями елементарних сигналів.

Таким чином на множині X елементарних сигналів потужності $M = M_1 M_2 \dots M_L$ визначаємо ієрархію, а саме сукупність L розбиття на неперетинні класів, таких, які кожний клас першого рівня ієрархії, першого розбиття, включає в себе M_1 класів першого рівня, тобто складається з $\mu_1 = M_1 M_2 \dots M_1$ сигналів. Нумерація класів L -першого рівня, які входять в клас першого рівня, задають взаємно-однозначні відображення множини класів першого рівня на множину цифр $\{0, \dots, M_1 - 1\}$. Тому такий набір (q_{1n}, \dots, q_{ln}) , де $q_{ln} \in \{0, \dots, M_1 - 1\}$, $1 \leq l \leq L$, визначає єдине значення n -го елементарного сигналу $x_n = f(q_{1n}, \dots, q_{Ln})$, де f — це оператор модуляції елементарних сигналів. Порівняємо L -рівень та мінімальну першу сигнальну відстань у класі:

$$\delta_l = \max_{q_{l+1,n}, \dots, q_{Ln} (q'_{1n}, \dots, q'_{ln}) \neq (q''_{1n}, \dots, q''_{ln})} \min D_0(x'_n, x''_n),$$

де $x'_n = f(q'_{1n}, \dots, q'_{ln}, q_{l+1,n}, \dots, q_{Ln})$, $x''_n = f(q''_{1n}, \dots, q''_{ln}, q_{l+1,n}, \dots, q_{Ln})$.

Клас L -го рівня збігається з X , таким чином виходить, що $\delta_L = \delta$. В ієрархію можливо включити нульовий рівень із M класами, по одному сигналу в кожному, і з $\delta_0 = \infty$. Таким чином клас наступного рівня може враховувати в себе клас попереднього рівня тільки повністю, то $\delta_{l-1} \geq \delta_l$; при $\delta_{l-1} = \delta_l$ можливо з'єднати два рівня, опустивши L -перше розбиття, так що можна вважати, що $\delta_1 > \delta_2 > \dots > \delta_L = \delta$

Нехай $q_l = q_{l1}, \dots, q_{lN}$ — це слово коду $(N, M_l, d_l)M_l$ l -го рівня. При цьому словник \mathcal{U} джерела надається декартовим добутком $\mathcal{U}_1 \times \dots \times \mathcal{U}_L = \mathcal{U}$ підсловника $\mathcal{U}_l \mid \mathcal{U}_l \mid = M_l$ і ϕ_l — взаємно-однозначне відображення \mathcal{U}_l на код l -го рівня. Під ІК будемо розглядати сукупність, яка містить такі компоненти, як ієрархія на множині елементарних сигналів X та відображення f множини наборів (q_{1n}, \dots, q_{Ln}) на множину X .

L -кодів рівнів і L -відображень ϕ_l , схема відповідної послідовності модуляції має мати такий вигляд:

$$u \rightarrow (u_1, \dots, u_L) \xrightarrow{\phi_l} q_l = (q_{l1}, \dots, q_{lN}) \xrightarrow{f} x_n.$$

Показана стрілка позначає розбиття слова $u \in \mathcal{U}$ на під слова $u_l \in \mathcal{U}_l$. Слово u може бути блоком у послідовності символів джерела інформації, якщо потужність

множини блоків менша за $\mathcal{M} = |\mathcal{U}|$, таким чином деякі слова словника і сигнали не використовуються. Далі кожне під слово ul ($1 \leq l \leq L$) кодується у слово $q_l = \phi_l(ul)$ коду (N, \mathcal{M}_l, d_l) M_l . Таким результатом є L кодових слів однакової довжини N . Модулятор елементарних сигналів перетворює набір (q_{1n}, \dots, q_{Ln}) з n -х символів усіх слів в n -й елементарний сигнал, що надходить на вхід каналу. ПК задає систему сигналів потужності $\mathcal{M} = \mathcal{M}_1 \dots \mathcal{M}_L$ на множині сигналів \mathcal{A} із мінімальною сигнальною відстанню:

$$D \geq \min_{1 \leq l \leq L} (\delta_l, d_l).$$

Ієрархічна конструкція задає систему сигналів, а саме взаємно-однозначне відображення словника \mathcal{U} на множину \mathcal{A} сигналів. Для доведення нерівності (4) розглянемо відстань між двома сигналами $\mathbf{x}' = (x'_1, \dots, x'_N)$ і $\mathbf{x}'' = (x''_1, \dots, x''_N)$, де $x'_n = f(q'_{1n}, \dots, q'_{Ln})$, $x''_n = f(q''_{1n}, \dots, q''_{Ln})$.

Виходить наступне

$$D(\mathbf{x}', \mathbf{x}'') \geq \delta_\lambda \sum_{n=1}^N \delta(q'_{\lambda n}, q''_{\lambda n}) \geq \delta_\lambda d_\lambda,$$

бо сигналам з \mathcal{A} при $q'_{\lambda n} \neq q''_{\lambda n}$ відповідають різним словам коду λ -го рівня. Таким чином таке λ знайдеться для будь-якої пари неоднакових сигналів з \mathcal{A} , то з п'ятої формули випливає буде впливати четверта формула.

При заданій мінімальній сигнальній відстані D мінімальні хеммінгові відстані кодів доцільно вибрати такі:

$$d_l = \lceil D/\delta_l \rceil,$$

де $\lceil y \rceil$ — це найменше ціле число, яке не менше за y . Оскільки $\delta_\lambda > \delta = \delta_L$ при $1 < L$, таким чином необхідна для кодів усіх рівнів, крім останнього рівня, хеммінгова відстань d_l може бути істотно менша від $d = d_L$, особливо для перших рівнів. Це й дозволяє збільшити потужність множини сигналів при ієрархічній конструкції порівняно з кодовою конструкцією.

Ієрархію задають будь-які L відношень еквівалентності на X , якщо кожне розбиває X на рівно потужні класи та клас наступного відношення еквівалентності включає в себе всі, або жодного елементу класу попереднього відношення. Таким

чином якщо X взаємно-однозначно відображається на групу G і $G_1 \subset G_2 \subset \dots \subset G_L = G$ — її підгрупи порядку μ_1, \dots, μ_L , де $\mu_l = M_1 \dots M_L$, то суміжний клас групи G за підгрупою G_l відображається на клас l -го рівня ієрархії. До ієрархічної конструкції такого типу з хеммінговою відстанню, як сигнально належать узагальнені каскадні коди. Якщо X задано, зазначено областю значень, функцією $x_n = \psi(r_{1n}, \dots, r_{Ln})$ цілочислових аргументів $r_{ln} \in \{0, \dots, m_l - 1\}$, то відношення еквівалентності можливо визначити, зафіксувавши деякі аргументи. Нехай $(\lambda_1, \dots, \lambda_L)$ буде, як переставлення індексів і $q_{ln} = r_{\lambda_l n}$, $M_l = m_{\lambda_l}$. Кожному такому впорядкуванню індексів відповідає L -рівнева ієрархія з мінімальними відстанями δ_l , заданими третьою формулою. Замість переставлення можливо скористатися іншою довільною взаємно-однозначною відповідністю наборів (r_{1n}, \dots, r_{Ln}) і (p_{1n}, \dots, p_{Ln}) L функціями, які задаються $q_{ln} = \theta_l(r_{1n}, \dots, r_{Ln})$. Загальний метод перекодування змінних, такого, як було описано, приводить до вдалої ієрархії — невідомий.

Система сигналів, яку задано ієрархічною конструкцією, можливо поставити у відповідність і інші ієрархії конструкцій, оскільки будь-яке з $L!$ переставлень рівнів визначає деяку ієрархію конструкцій. Нехай при i -му переставленні q_{ln} став символом l рівня, на якому з урахуванням відповідних змін у третій формулі щодо порядку фіксування символів мінімальна відстань дорівнює $\delta_l^{(i)}$. Зі сформульованого твердження випливає наступна оцінка $D \geq \min(\delta_l^{(i)}, d_l)$. Така оцінка підтверджується при всіх переставленнях, таким чином виходить $D \geq \min(\delta_l^{(i)}, d_l)$.

3.2 Розрахунок покриття базових станцій стільникового зв'язку

Для того, щоб визначити, як сильно покращиться покриття базовою станцією при використанні методу оптимізації БС необхідно провести моделювання для трьох підходів до підключення антен до радіо модулів: feederline, feederless та використання активних антен.

Будемо розглядати задачу розрахунку покриття БС стільникового зв'язку. Маємо набір точок, які помічають місце розташування базових станцій. При цьому з кожною станцією зв'язані наступні атрибути:

- Ідентифікатори станцій (mcc, mnc, lac, cid).
- Частота, на якій працює БС.
- Висота підвісу.
- Тип мережі (2G, 3G, 4G).
- Азимут променю стації.
- Ширина спектру станції в градусах.

Необхідно визначити приблизне місце розташування абоненту мережі по ідентифікаторам базової станції, до якої підключається абонент на даний момент. Для цього необхідно розрахувати покриття базових станцій – полігони, в яких очікується, що сигнал даної станції буде вище, ніж сигнал інших станцій. В такому випадку передбачуване місце розташування абоненту буде зв'язано з розрахунком полігону.

Буде використовуватися найлегший варіант підрахунку покриття БС, коли точка буде рахуватися належній до зони обслуговування тієї базової станції, до якої вона розташована найближче. Це дуже проста модель, яка не враховує однорідності середи, в якій розповсюджується радіосигнал, потужність даного сигналу, але при цьому достатньо більшій густини мережі вона дозволяє знайти приблизне рішення задачі пошуку місце розташування абоненту.

Для вирішення задачі достатньо побудувати полігони біля точок, які відповідають за місце розташування базових станцій, однак, при більш уважному розгляді, стає зрозуміло, що задача не вирішується таким підходом. Основна проблема в тому, що при розрахунку полігонів не враховуються напрямлення – конфігурація полігонів залежить тільки від сусідства, в той самий час напрямлення сигналу, який надходить від базової станції – одна з основних характеристик, яка описує конфігурацію станції.

Перший етап відбувається на будівництві сектору огляду станцій. Вибирається група станцій, яка сформована на етапі ініціалізації. Далі станції

групуються по адресі та азимуту. Для кожної групи будується сектор огляду. Даний сектор є загальним для всієї групи. Зона покриття станції також будується одна на всю групу та з самого початку ініціалізується сектором огляду. Уточнення зон покриття відбувається на другому етапі.

Другий етап полягає в будівництві зон покриття станцій. Для кожного покриття, ініціалізованого на минулому етапі, відбуваються наступні дії:

- Вибирається чергове покриття, яке називається COVERAGE.
- Знаходяться ті сектори огляду, які перетинаються з COVERAGE, і для кожного такого сектору огляду відбувається: знаходження перетин покриття COVERAGE і поточного сектору currentSECT; обрахунок тієї ділянки, які лежить ближче до сектору currentSECT, ніж до покриття; відрізок від COVERAGE цієї ділянки перетину.
- Повернення результатів всіх обрізання – COVERAGE містить шукане покриття станції.

3.3 Параметри, які впливають на якість з'єднання

Встановлення з'єднання та якість передачі даних напряму залежить від прийнятого рівня сигналу. Чим буде більший рівень цього сигналу, тим буде кращий сервіс буде надано для абоненту, кінцевого користувача, а саме буде краща швидкість передачі даних та менша затримка з'єднання.

Швидкість передачі даних буде залежати від обраної структури кодування та модуляції, яка в свою чергу обирається від вимірних параметрів каналу зв'язку, точніше від рівня прийнятого сигналу і від відношення сигналу та шуму. Абонент, який знаходиться в ідеальних радіо умовах завжди буде отримувати максимальну швидкість передачі даних, обмежену тільки можливостями стандарту, що його обслуговує – це GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+, LTE та інші.

Підвищення рівня сигналу, який був прийнятий є важливою задачею для оператора стільникового зв'язку. На рівень прийнятого сигналу буде впливати:

- Потужність передавача.

- Втрати в антенно-фідерному тракті.
- Коефіцієнт підсилення передавальної антени.
- Втрати у вільному просторі.
- Коефіцієнт підсилення приймальної антени.

Єдиний параметр з вказаного списку, який не знаходиться під повним контролем мобільного оператора – це втрати у вільному просторі. Дані втрати призводять до послаблення сигналу, при його проходженні від передавача до приймача.

Методи моделювання відрізняються, однак, всі методи використовують відстань між передавачем та приймачем, як основний параметр – критичний. Інші ефекти мають можливість також враховуватися на додаток до вказаного основного параметру.

Параметри, які враховуються моделями розповсюдження:

- Висоти передавача та приймача.
- Частота сигналу.
- Тип місцевості.

Для визначення еквівалентної випромінюваної потужності передача необхідно від потужності передавача відняти втрати у антенно-фідерному тракті. Для оптимізації цього підходу втрати будуть рівнятися нулю, тому що радіо модуль є безпосередньо частиною антени. Таким чином, еквівалентна випромінювана потужність для оптимізованої базової станції буде дорівнювати потужності передавача. В усіх інших випадках буде враховані втрати в фідері та втрати у конекторах з обох кінців цих фідерів.

Для підключення feederline буде застосовуватися фідер 7/8”, затухання якого буде зображено в таблиці 3.1. В даному випадку довжина буде більша за висоту підвісу базової станції, тому що RRU розташоване в приміщенні поряд.

Таблиця 3.1

Затухання при підключення feederline

Частота, МГц	Затухання, дБ/100м
174	1,48
450	2,44
800	3,32
900	3,54
1800	5,17
2000	5,48
2400	6,07
5000	9,26

При підключенні feederless буде використовуватися фідер 1/2", затухання якого зображена в таблиці 3.2. При цьому його довжина буде складати 5-7 метрів. Таким чином при розрахунках довжину фідера візьмемо рівною 6 метрів.

Таблиця 3.2

Затухання при підключенні feederless

Частота, МГц	Затухання, дБ/100м
174	2,86
450	4,72
800	6,43
900	6,85
1800	10,00
2000	10,70
2400	11,80
6000	20,20

Затухання в конекторах складає 0,15 дБ. Потужність передавача візьмемо рівною 20 Вт. З урахуванням представленого апарату для оцінювання еквівалентної випромінюваної потужності отримуємо:

$$P_{BS_7_8}(h_{BS}) = P_{BS} - \frac{3.32}{100} \cdot (h_{BS} + 10) - 0.15 \cdot 2$$

$$P_{BS_1_2}(h_{BS}) = P_{BS} - \frac{6.43}{100} \cdot 6 - 0.15 \cdot 2$$

Будуємо графік залежності напруженості електромагнітного поля від відстані. В такому випадку, за підходи feederline та feederless, антени необхідно вішати під існуючими антенами. При використанні оптимізованого методу побудови БС антени 5G розміщуються на рівні найвищих з цих антен, так як антени всіх стандартів комбінуються в одному корпусі. Для розрахунку висоти підвісу антен при використанні підключень feederline та feederless будемо приймати 31 метр, а при оптимізованому підході 40 метрів. Графіки залежностей представлені на Рис. 3.1. Червона лінія – це оптимізована базова станція; синя лінія – підключення feederless; зелена лінія – підключення feederline.

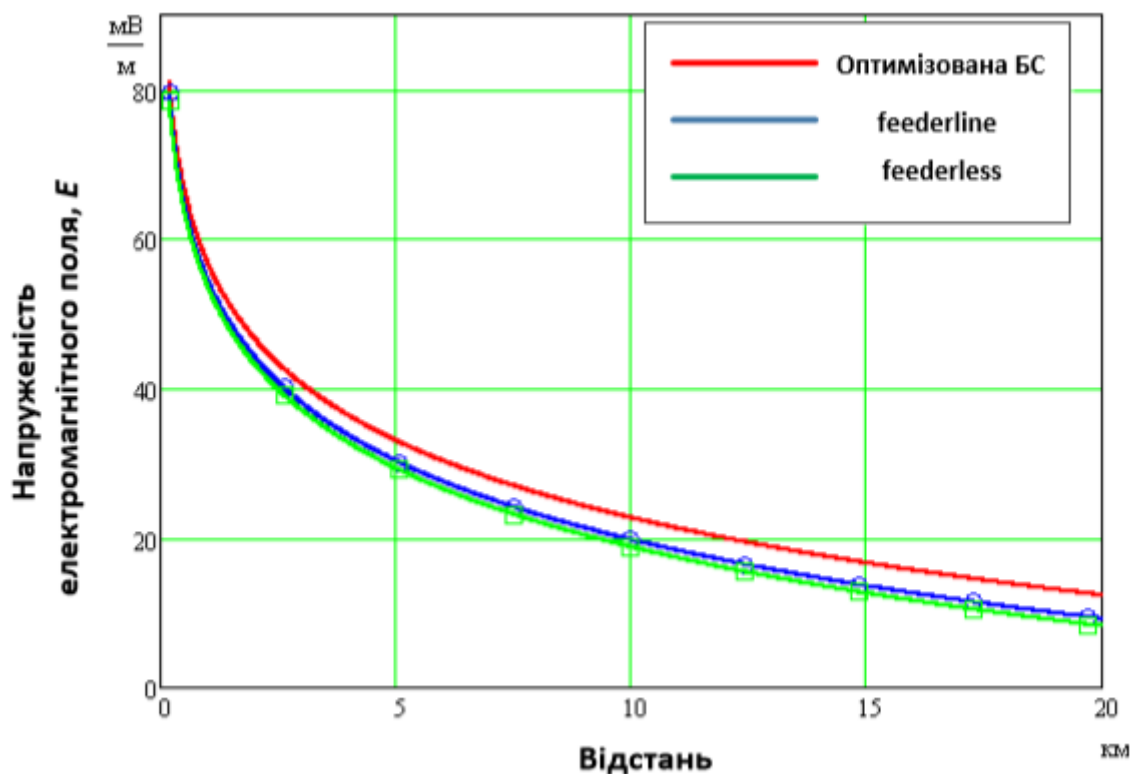


Рисунок 3.1. Напруженість електромагнітного поля прийнятого сигналу

На Рис. 3.2 зображено, що втрати при використанні мульти стандартних антен трохи нижчі, ніж при використанні одно стандартних антен.

Будуємо графіки, які показують різницю в втратах сигналу при висоті в 40 метрах та при інших висотах. Часто антени необхідно розміщати ще нижче, щоб уникнути впливу відтяжок від щогл, щоб задовольнити вимог до опори по навантаженню, через обладнання інших операторів, що вже розміщено на опорі. Розглянемо наскільки менші втрати на висоті підвісу 40 метрів в порівнянні з 34, 30 та 20 метрами. Відповідні графіки за результатами проведеного моделювання зображено на Рис. 3.3.

По даним графікам видно, що вираш в рівні сигналу при збільшенні висоти підвісу не дуже значний – до 0,7 дБ. Таким чином, в поодиноких випадках таке збільшення рівня сигналу може призвести до покращення сервісу. Інша картина буде при зміні висоти підвісу від 40 метрів до 20 метрів, таким чином маємо збільшення рівня сигналу в приймачі до 3,2 дБ. Таке збільшення рівня сигналу є досить значним для покращення швидкості.

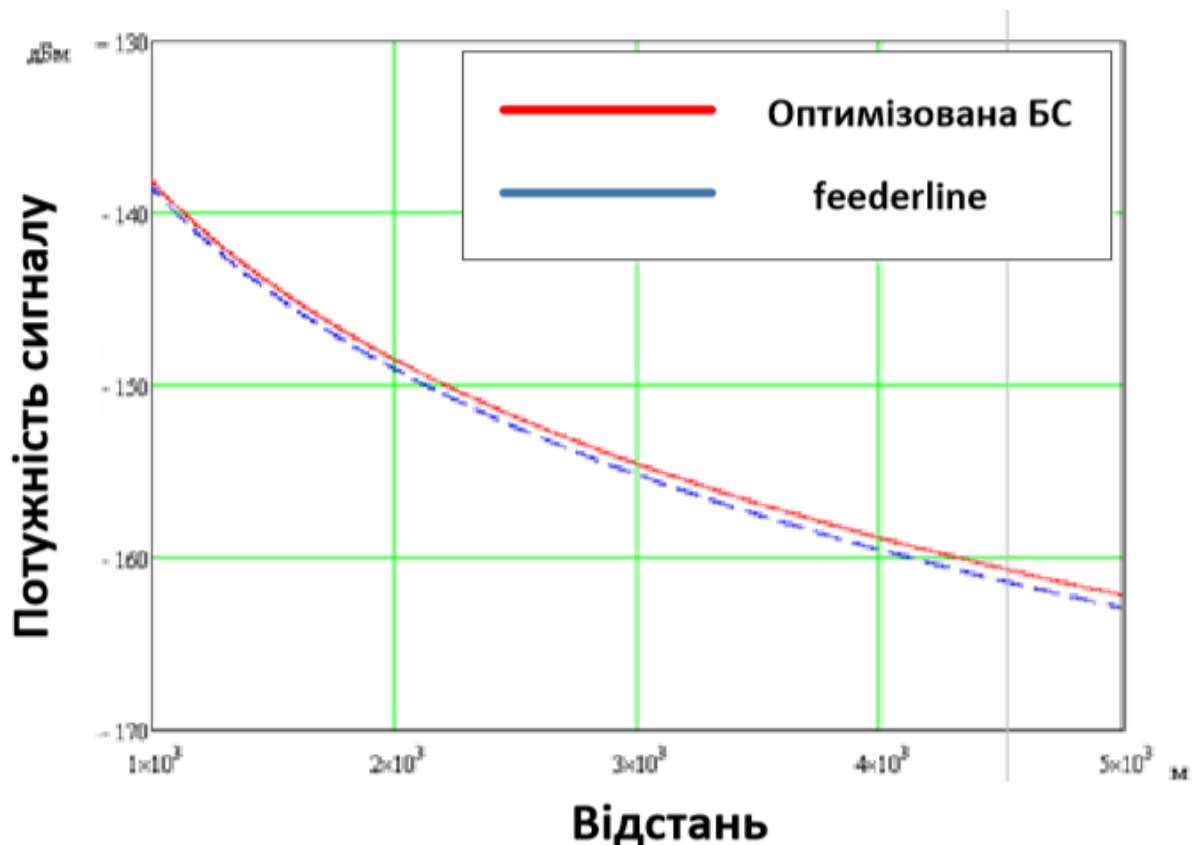


Рисунок 3.2. Затування сигналу в вільному просторі

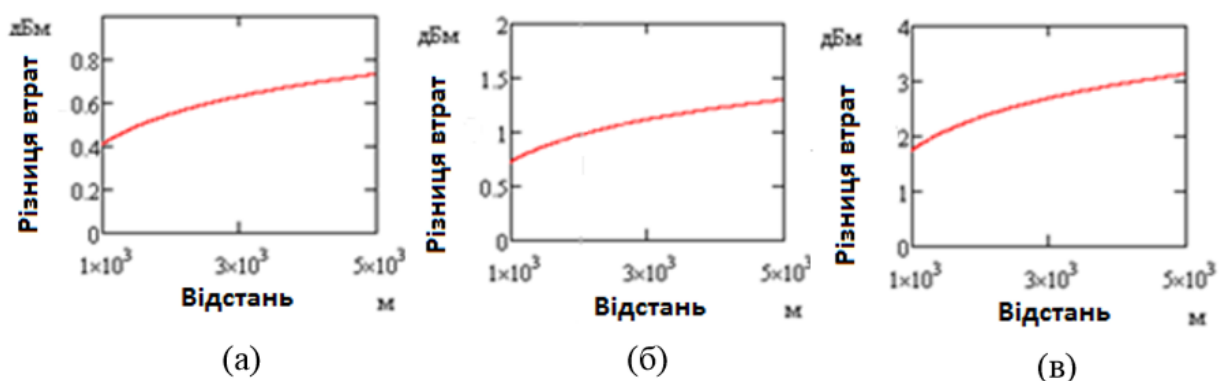


Рисунок 3.3. Різниця в втратах сигналу між висотою підвісу антени в 40 метрів та висотами в 34 метра (а), 30 метра (б) та 20 метрів (в)

Часто антени необхідно розміщати ще нижче для того, щоб уникнути впливу відтяжок від щогл, щоб задовольнити вимоги до опори по навантаженню, через обладнання інших операторів, що вже було розміщено на опорі.

3.4 Розрахунок площі покриття

Перевіряємо на скільки відсотків збільшується площа покриття оптимізованої БС в порівнянні з традиційними БС, як зображено на Рис. 3.4.

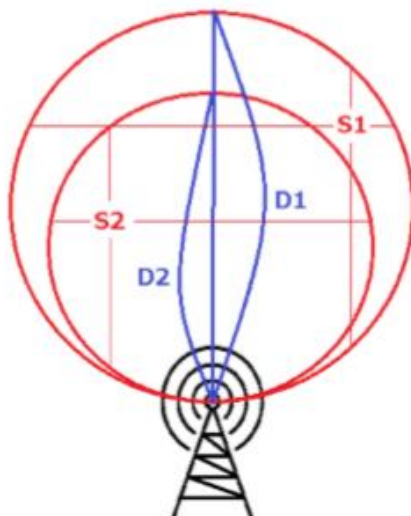


Рисунок 3.4. Схематичне зображення збільшення зони обслуговування БС

Для цього необхідно від площі покриття оптимізованої базової станції відняти площу покриття БС, з якою порівнюється оптимізована. Розрахуємо площу покриття БС, побудованих по трьом досліджуваним схемам.

Площа покриття оптимізованої БС становить 25 квадратних кілометрів:

$$S_1 = \pi \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 = 2.5 \times 10^7 \text{ м}^2.$$

Площа покриття БС з підключенням feederless – 18 кв. кілометрів:

$$S_2 = \pi \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = 1.81 \times 10^7 \text{ м}^2.$$

Площа покриття БС з підключенням feederline – 14 кв. кілометрів:

$$S_3 = \pi \cdot \left(\frac{D_3}{2}\right)^2 = 1.39 \times 10^7 \text{ м}^2.$$

Таким чином площа покриття оптимізованої БС буде більше за площу покриття базової станції з підключенням feederless на:

$$\frac{S_1 - S_2}{S_2} = 38.52\%.$$

Площа покриття оптимізованої базової станції більшої за площу покриття БС з підключенням feederless на:

$$\frac{S_1 - S_3}{S_3} = 79.51\%.$$

Отримані результати показують, що запропонований метод оптимізації базової станції є надзвичайно ефективним. Вагомою перевагою такого методу є суттєве збільшення зони обслуговування базової станції мобільного оператора, як в порівнянні з більш застарілими, так і з сучасними підходами до побудови базової станції.

ВИСНОВОК

В результаті цієї роботи були досліджений та проаналізований список бездротових способів передачі даних, а саме їх історія, характеристика, можливості, переваги та недоліки. А також окремо більш детально проаналізований бездротовий спосіб передачі даних – 5G (п'яте покоління зв'язку), а також його стандарти.

Таким чином ми маємо велику швидкість передачі даних в мережах з мінімальною затримкою, необхідну для більш комфортного користування сучасних сервісів (стримінг музики, перегляд відео та фільмів, онлайн ігри тощо). Більш того, стандарти 5G засновані на пакетній передачі даних, а ще такі мережі відрізняються більшою ємністю і пропонують кращу стабільність з'єднання.

Користуючись 5G-зв'язком ми можемо отримати від 1 Гбіт/с швидкість передачі даних (в залежності від пристрою, підтримуваних технологій оператором стільникового зв'язку, а також від використовуваного стандарту мереж 5G) з мінімальною затримкою в 1 мс. На сьогоднішній день цей вид передачі даних є одним з швидкісних видів.

Це новий етап розвитку технологій радіо доступу, який зможе забезпечити доступ до мережі індивідуальних користувачів і пристроїв. При розробці було враховано вдосконалення можливості LTE та HSPA, а також інших технологій радіо доступу, орієнтованих на розв'язанні конкретних завдань.

Була виконана схематична побудова мереж 5G на базі багатовимірних сигналів, розраховане покриття базовими станціями стільникового зв'язку, визначені етапи розвитку мереж, завдяки яким збільшується продуктивність. Якісний, високо продуктивний та ефективний метод побудування мереж п'ятого покоління може бути реалізований на базі надщільних мереж стандарту 5G. Для реалізації такого методу необхідне забезпечення використання нових сигнально-кодових конструкцій.

Також був розглянутий метод розвитку та вдосконалення мереж 5G з використанням оптимізованої базової станції. Отримані результати показують, що

запропонований метод оптимізації базової станції є дуже ефективним. Вагомою перевагою такого методу є суттєве збільшення зони обслуговування (покриття) базової станції мобільного оператора, як в порівнянні з більш застарілими, так і з сучасними підходами до побудови базової станції.

Крім цього, також проаналізували шляхи та проблеми, які вплинули на гальмування розвитку мереж четвертого покоління на території України і визначили, як саме в подальшому вони будуть розвиватися, на яких умовах, що позитивного та негативно 5G зможе принести. Тим самим актуальність вибраної теми підтверджена шляхом розкриття мети роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гельгор А.Л. Технологія LTE мобільної передачі даних / Попов Е.А. – СПб: Политехн., 2011 – 204 с.
2. Прокис Дж. Цифровий зв'язок / Дж. Прокис – М.: Радіо та зв'язок, 2000 – 800с.
3. Рижков А.Е. Системи і мережі радіодоступу 4G: LTE, WiMAX / Сиверс М.А, Гусаров А.С. – СПб: Лінк, 2012 – 226с.
4. Карташевський В.Г. Мережі пересувного зв'язку / Слишков А.С. – СПб: Лінк, 2012 – 208с.
5. Гинзбург В.В. Конструкції сигналів для безперервного каналу / Гинзбург В.В. – СПб: 1981 – 43-48с.
6. Ким А.В. Новий мобільний горизонт / Ким А.В., Тихвинський В.О. – електрозв'язок, 2013
7. Тихвинський В.О. LTE World Summit-2013: на шляху до 5G / Тихвинський В.О., Архипкін В.Я. – електрозв'язок, 2013
8. Одарченко Р.С. Розробка структури системи моніторингу та оптимізації мережі стільникового оператора / Одарченко Р.С. – наукоємні технології, 2017
9. Одарченко Р.С. Удосконалена архітектура системи безпеки стільникових мереж нового покоління / Одарченко Р.С., Гнатюк В.О., Самойлик Є.О., Котелянець В.В. – монографія, 2018 – 293-302с.
10. Харлай Л.О. Програмне забезпечення для оцінки ключових показників якості обслуговування зі сторони абонента стільникової мережі / Одарченко Р.С., Харлай Л.О., Абакумова А.О., Чмих П.А. – проблема інформатизації та управління, 2017 – 56-61с.
11. Бреславський В.О. Створення комплексної системи моніторингу з використанням аналізаторів сигналізацій телекомунікаційних систем – інститут зв'язку, 2014 – 69-75с.
12. Тихвинський В.О., Терент'єв С.В., Юрчук А.Б. Мережі мобільного зв'язку LTE: технології і архітектура. – М.: Еко-Трендз, 2010 – 284с.
13. Столінгс В. Бездротові лінії зв'язку та мережі / Вільям Столінгс – М.: Вільямс, 2003 – 639с.
14. Зозуля О.Ю. Безпека в мережах зв'язку 4G / Конференція «Актуальні проблеми кібербезпеки», 2019 – 3с.
15. Зозуля О.Ю. Методи будівництва мобільних мереж нового покоління / Конференція «Сучасні інфокомунікаційні технології», 2019 – 3с.
16. Wikipedia [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гульєльмо_Марконі (11.09.19)
17. Wikipedia [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бездротові_технології (11.09.19)
18. WikiInfo [Електронний ресурс] // - Режим доступу:

- http://wikiinfo.mdpu.org.ua/index.php?title=Інфрачервоне_випромінювання
(12.09.19)
19. StudME [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://studme.com.ua/19291001/ekologiya/lazernoe_izluchenie.htm
(14.09.19)
 20. BMSTU [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://ru.bmstu.wiki/IEEE_802.11 (14.09.19)
 21. Wikipedia [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Бездротові_технології (17.09.19)
 22. Bluetooth-Wiki [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (18.09.19)
 23. Dir-VSAT [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://dir.md/wiki/VSAT?host=uk.wikipedia.org> (19.09.19)
 24. Zviazok-Wiki [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Стільниковий_зв'язок (20.09.19)
 25. Cuspu [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/Мережі_3G (22.09.19)
 26. Wireless&Mobile [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
http://wimax.livebusiness.ru/tags/LTE_v_ukraine/ (29.09.19)
 27. ITC.ua [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://itc.ua/articles/chem-horoshi-seti-lte-i-chto-tormozit-zapusk-4g-v-ukraine/> (01.11.19)
 28. TAdviser [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
[http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:5G_\(пятое_поколение_мобильной_связи\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:5G_(пятое_поколение_мобильной_связи)) (05.11.19)
 29. Kaspersky [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://www.kaspersky.ru/blog/why-we-need-5g-mobile-networks/7816/>
(06.11.19)
 30. IOT [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <https://iot.ru/wiki/5g>
(12.11.19)
 31. RCRWirelessNews [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
https://www.rcrwireless.com/qualcomm_5G (18.12.19)
 32. 1234g [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<http://1234g.ru/5g/diapazonu-chastot-5g> (18.11.19)
 33. Wikipedia-5G [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/5G> (22.11.19)
 34. EPravda [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://www.epravda.com.ua/publications/2019/06/6/648497/> (22.11.19)
 35. ZNAJ.ua [Електронний ресурс] // - Режим доступу:
<https://znaj.ua/ru/society/4g-v-ukrayne-pervye-problemy-y-otzyvy-polzovatelej> (01.12.19)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ