

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ АСПЕКТІВ ПОСЛІДОВНОСТІ
ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE В ПОРІВНЯННІ З МЕРЕЖАМИ
НОВОГО ПІКОЛІННЯ»**

Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-62
спеціальності 172 Телекомунікації і
радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Ковальчук В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Трембовецький М.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Заїка В.Ф.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Перепилиця Н.Л.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2019

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Енергоефективних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації і радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
телекомунікаційних систем та мереж
Заїка В.Ф.

_____ 2019 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковальчуку Вадиму Анатолійовичу

1. Тема роботи: «МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ АСПЕКТІВ ПОСЛІДОВНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE В ПОРІВНЯННІ З МЕРЕЖАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ», керівник роботи Трємбовецький Максим Петрович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____.

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. LTE – актуальність та сприйняття.
2. Дослідження аспектів формування мережі четвертого покоління – LTE та порівняння з іншими.
3. Ефективність та вплив технологій 5G.
4. Тестування антени МІМО.
5. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Мережа бездротового зв'язку LTE.
2. Дослідження аспектів формування мережі четвертого покоління – LTE та поява мереж п'ятого покоління.

3. Вплив технології бездротового зв'язку на людину. Тестування антени МІМО.

5. Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):

1. Актуальність роботи.
2. Мета роботи.
3. Об'єкт та предмет дослідження.
4. Задачі дослідження.
5. Впровадження технології LTE станом на квітень 2018 року.
6. Мережа бездротового зв'язку LTE.
7. Дослідження аспектів формування мережі четвертого покоління – LTE та поява нових мереж п'ятого покоління.
8. Порівняння мережі LTE та WiMAX.
9. Вплив технології бездротового зв'язку на людину. Тестування технології МІМО.
10. Висновки тестування антени.
11. Висновки.
12. Публікації.

6. Дата видачі завдання 05.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів Магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	24.09.19	
2	Мережа бездротового зв'язку LTE	10.10.19	
3	Дослідження аспектів формування мережі четвертого покоління – LTE та поява мереж п'ятого покоління	20.10.19	
4	Вплив технологія бездротового зв'язку на людину. Тестування антени МІМО	26.10.19	
5	Висновки, вступ, реферат	08.11.19	
6	Розробка презентації	13.11.19	

Студент

Ковальчук В.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Трембовецький М.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи: 69 сторінок, 30 рисунків, 2 таблиці, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – процес визначення послідовності формування технології LTE в порівнянні з мережами нового покоління.

Предмет дослідження – принципи формування технології LTE.

Мета роботи – дослідження аспектів, які доводять перевагу LTE над іншими технологіями.

Методи дослідження – методи порівняння, методи аналогії, узагальнення.

В роботі описано актуальність та особливості технології четвертого покоління – LTE, описано чому серед багатьох нових технологій сьогодення, саме вона заслуговує важливе місце у мережах високошвидкісної передачі даних та у мережах зв'язку. Розглянуто принцип структури, завдяки якому відбувається процес передавання інформації. Наведено приклад тестування 4G LTE MIMO антен у реальних умовах. Досліджено вплив технологій безпроводового зв'язку на людину.

LTE, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ, ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ, 4G, ВАЖЛИВІСТЬ, ІНДИВІДУАЛЬНІСТЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 МЕРЕЖА БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE.....	10
1.1 Історія створення мережі та послідовний розвиток.....	10
1.2 Організація інформаційних каналів, планування та будова LTE.....	16
1.3 Ефективність використання мереж 4-ого покоління у теперішній час.....	28
1.4 Висновки з розділу 1.....	35
2 ДОСЛІДЖЕННЯ АСПЕКТІВ ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ – LTE ТА ПОЯВА НОВИХ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ...	36
1.1 МІМО антени - фундамент для передачі даних в LTE. З чого складається і як виглядає.....	36
1.2 Мережі п'ятого покоління, на якому етапі знаходяться та які нові можливості надаватимуть.....	43
1.3 Сприйняття та стабілізація мережі LTE та порівняння з WIMAX.....	53
1.4 Висновки з розділу 2.....	61
3 ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЛЮДИНУ. ТЕСТУВАННЯ АНТЕНИ МІМО.....	62
1.1 Негативні та позитивні сторони впливу мереж швидкого бездротового доступу.....	62
1.2 Тестування 4G LTE МІМО антен в реальних умовах.....	72
1.3 Висновки до розділу 3.....	78
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP	3rd Generation Partnership Project - об'єднання кількох організацій, що займаються стандартизацією в галузі телекомунікацій
LTE	Long Term Evolution – довготривалий розвиток, часто позначається як LTE
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses - Асоціація радіоіндустрії і бізнесу
ETSI	European Telecommunications Standards Institute - Незалежна, некомерційна організація по стандартизації в телекомунікаційній промисловості в Європі
TTA	Telecommunications Technology Association - Асоціація телекомунікаційних технологій
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access - технологія радіоінтерфейсу обрана більшістю операторів стільникового зв'язку для забезпечення широкосмугового радіодоступу
HSPA	High Speed Packet Access - технологія бездротового широкосмугового радіозв'язку
E-UTRAN	Радіоінтерфейс довгострокової еволюції (LTE)
UTRAN	Terrestrial Radio Access Network - це збірне поняття, що об'єднує в собі мережу базових станцій Node-B
UMTS	
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - метод забезпечення передачі інформації багатьом користувачам одного радіоспектра
SC-FDMA	Множинний доступ з частотним поділом каналів і однієї несучої
SGW	Serving Gateway - обслуговуючий шлюз мережі LTE
PDN	Public Data Network - шлюз до / від мереж інших операторів

ВСТУП

Ще в недалекому двохтисячному році розпочались перші розробки мережі, яку зараз називають мережею нового покоління, мережа яка розпочала своє впровадження в 2010 році і зараз у 2019 вважається однією з найбільш стабільних і сучасних мереж високошвидкісного доступу до глобальної світової павутини – Інтернет. Сучасну людини, починаючи від малого до великого важко уявити без атрибута сучасності – телефона чи планшета, комп'ютера чи ноутбука, чи іншого гаджета, який дозволяє нам з вами мати можливість зануритись у віртуальний високошвидкісний світ Інтернету.

Але для того, щоб все працювало злагоджено, потрібно задіяти основні аспекти ефективності мережі, розглянути на конкретному прикладі, порівняти з іншими. А також дослідити, що чекає в найближчому майбутньому на мережі п'ятого покоління. Пропоную всі ці процеси переглянути в магістерській роботі, а також дослідити, які процеси формування мереж майбутнього присутні. Все це є особливо актуальним на сьогоднішній день, особливо для розв'язання задач, пов'язаних з розвитком мереж в загальному.

Але не мало важливим є те, щоб дізнатись та дослідити, який вплив на нас мають хвилі, випромінені з обладнання базових станцій та всього іншого.

1. МЕРЕЖА БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE

1.1. Історія створення мережі та послідовний розвиток

У грудні 1998 року було створено об'єднання кількох організацій, що займаються стандартизацією в галузі телекомунікацій, яка одержала назву 3GPP (3rd Generation Partnership Project) підписанням «Угоди про партнерство за проектом в області технологій третього покоління (The 3rd Generation Partnership Project Agreement)». Це дозволило об'єднати зусилля зі створення нових технологій, а також забезпечити повну сумісність устаткування в світі. У число організацій по стандартизації, залучених в створення 3GPP, увійшли ARIB (Японія), ETSI (Європа), TTA (Корея), TTS (Японія) і TIPI (США). У числі розробок 3GPP стандарти: W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), HSPA (High Speed Packet Access), LTE (Long Term Evolution).

Робота 3GPP над LTE почалася в листопаді 2004 року у виді доцільно визначеного та доступного обговорення, до якого мали доступ будь-які зацікавлені організації (в тому ряді і не члени організації 3GPP). 3 грудня 2004 пройшло обізнання та розуміння певної відповідності LTE для базових вимог, які були сформульовані в 3GPP TR 25.913.

У грудні 2004 року працююча компанія 3GPP заснувала проектну програму LTE (Long-term Evolution). Спочатку цю розробку LTE призначали для визначення переваг у наступному десятилітті і як спосіб всестороннього оптимізованого шляху для продуктивності, функцій та затрат. Порівнюючи з архітектурою R6, яка була запропонована тією ж компанією зв'язку 3GPP, розглядалось, що ефективність спектру прямого каналу LTE буде збільшеною в 3-4 рази, а зворотного каналу - в 2-3 рази, пікова швидкість навантаження, коли відбувалось передавання даних у прямому каналі досягне 100 Мбіт/с, у зворотному ж передаванні - 50 Мбіт/с. Давайте порівняємо цю швидкість з іншими технологіями на Рис.1.1.

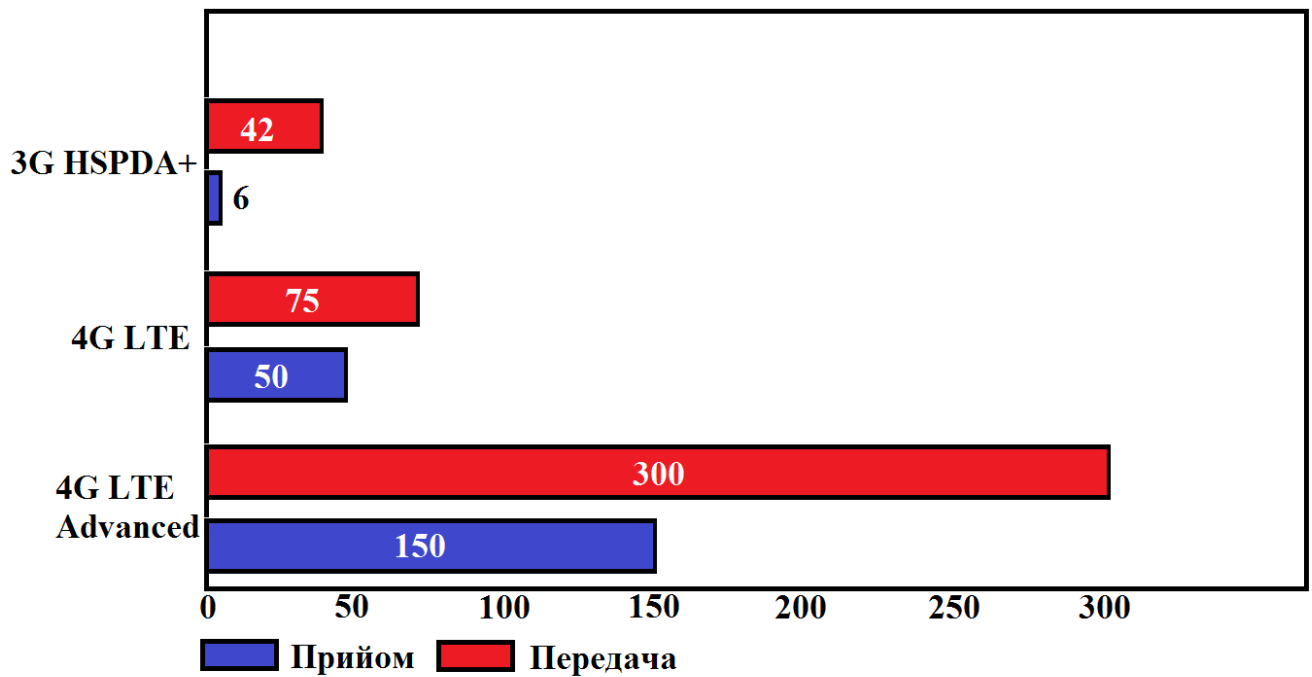


Рисунок 1.1. Теоретичні максимуми швидкості прийому/передачі в мережах
Мбіт/с

Крім того, планувалось, що архітектура мереж буде абсолютно спрощеною до двох рівнів - E-UTRAN (вдосконалений UTRAN) і AGW, ці протоколи також будуть явно спрощені.

У листопаді 2005 року були обрані основні технології радіодоступу для користування в стандарті LTE. Цими технологіями стали OFDMA на нисхідному і SC-FDMA на висхідному каналі.

У липні 2006 року був закінчений етап вивчення і почалися роботи зі започаткування стандарту. У вересні 2007 року була закінчена розробка специфікації LTE. Специфікації 8 серії були заморожені в грудні 2008 року, і це незрівняно стало підставою для першої хвилі обладнання LTE [Нікітіна А. В. Мережі радіодоступу четвертого покоління / А. В. Нікітіна, А. Є. Рижков // Стандарт LTE: технології та процедури, – 2012. – С. 74].

У вересні 2009 було представлено на огляд специфікації LTE 10 версії, з того року технологія отримала назву LTE-Advanced.

14 грудня 2009 почався запуск першої у світі мобільної мережі, яка була розглянута на базі технології Long Term Evolution. Мережа була запущена у експлуатаційну роботу оператором TeliaSonera в центрі Стокгольма.

У надані телекомунікаційного обладнання зарекомендувала себе шведська компанія Ericsson, яка налічувала в собі: базові станції, опорне устаткування, комутатори, систему експлуатації та управління.

Усі заплановані завдання були створені на базі окремих стандартів, прийнятих всесвітньою організаційною групою 3GPP. Пізніше, що на рис.1.2.:

- 28.07.10 в Узбекистані стартував запуск LTE-мережі;
- 09.08.10 оператором MTS, та UCell;
- 07.09.10 в Польщі Mobyland & CenterNet;
- в США MetroPCS - 21.09.10 та Verizon Wireless - 05.12.10;
- в Австрії A1 Telekom Austria - 05.11.10;
- в Швеції TeleNor Sweden та Tele2 Sweden - 15.11.10;
- у Гонконгу CSL Limited - 25.11.10;
- у Фінляндії TeliaSonera - 30.11.10, Elisa - 08.12.10;
- у Німеччині Vodafone - 01.12.10;
- в Данії TeliaSonera - 09.12.10;
- в Естонії EMT - 17.12.10;
- у Японії NTT DoCoMo - 24.12.10.

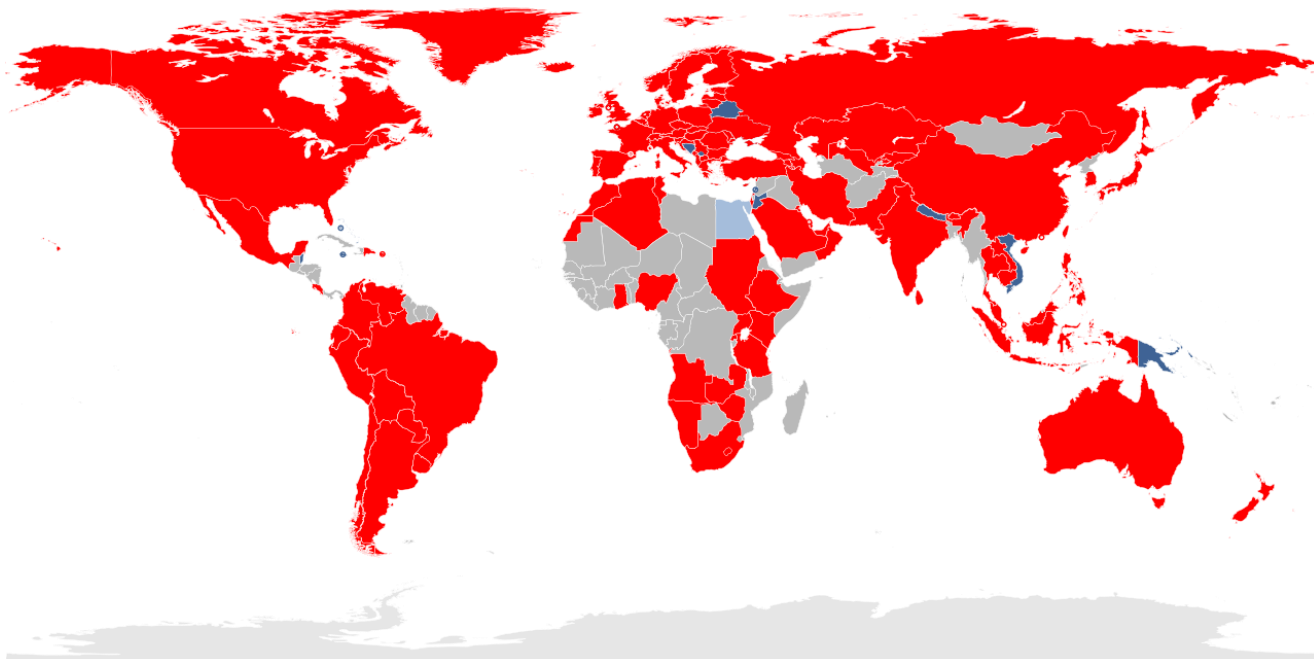


Рисунок 1.2. Впровадження технології LTE станом на квітень 2018 року.

- Країни з комерційною експлуатацією LTE
- Країни з запланованим введенням LTE в комерційну експлуатацію
- Країни, де відбулося випробування LTE у 2018 році

[Посилання на джерело: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LTE>]

Наприкінці листопада 2010 року Міжнародний союз електрозв'язку офіційно визначив та зарекомендував LTE-Advanced стандартом бездротового зв'язку четвертого покоління 4G. Формальністю стали LTE версії 7, 8, 9 (які поки і використовуюється у всьому світі) не вважаються технологією 4G, через те, що вони не були визнані Міжнародним союзом електрозв'язку, що на рис.1.3.

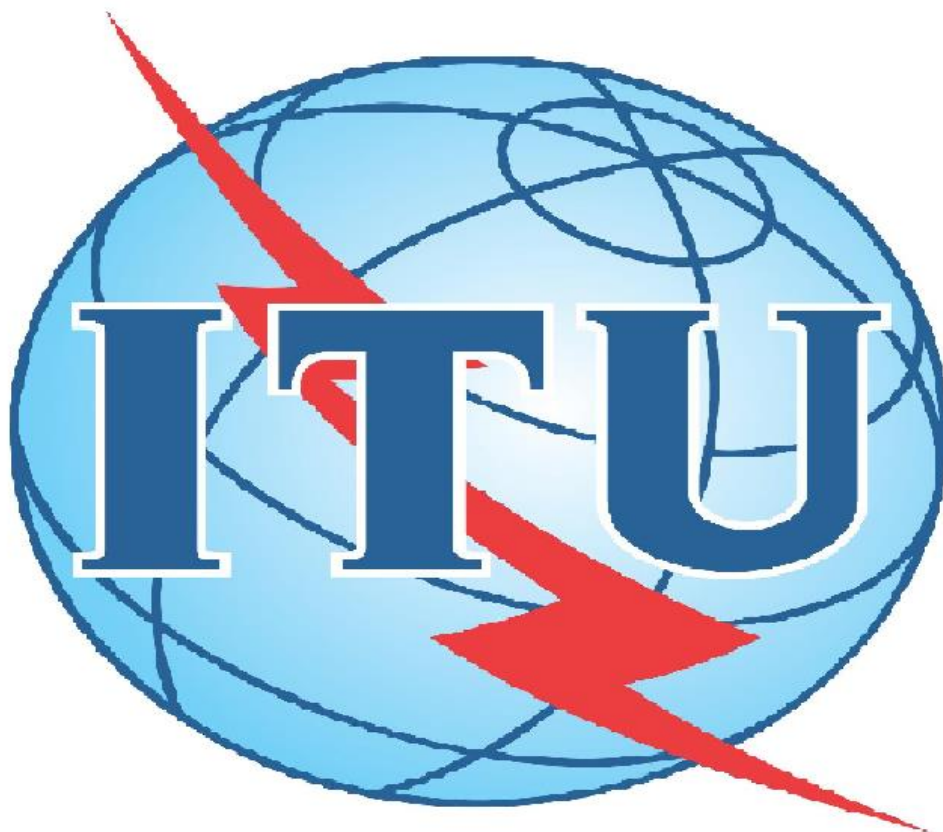


Рисунок 1.3. Емблема Міжнародного союзу електрозв'язку

Заперечити всі ці так звані формальності вдалося в наступній версії стандарту. Саме ця, десята, версія і наступні отримали суфікс «Advanced» і визнання. Нова назва технології походить від терміна "IMT-Advanced", який ввів Міжнародний союз електрозв'язку для того, щоб відрізнити нове покоління мобільних систем, технічні можливості яких виходять за рамки IMT-2000. Вимоги до IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) ставляться такі:

- глобальна функціональність і роумінг;
- висока енергоефективність;
- взаємодія з іншими радіосистемами доступу (зворотна сумісність);
- покращені пікові швидкості передачі даних, для того щоб була підтримка вдосконалених служб та додатків;
- високий рівень безпеки системи.

У 2012 році американські оператори та оператори Південної Кореї і Японії - лідери у LTE-змаганнях. На початку червня 2012 року, у цих двох країнах з'явилося 90% користувачів LTE, порівнюючи зі світом, таку оцінку надає Wireless Intelligence, яка є основним джерелом даних, аналізу та прогнозів операторів мобільного зв'язку, надаючи найбільш точний і повний набір доступних галузевих показників.

Опираючись на клієнтську базу з більш ніж 800 провідних світових операторів мобільного зв'язку, виробників пристроїв, виробників обладнання та фінансових і консалтингових компаній, цей набір даних щодо інформації загальних знань мережі LTE є найбільш вивченим в галузі [Xirouchakis I. A. Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) Simulations / I. A. Xirouchakis // Physics Department University of Athens. – 2008. – User's Guide v. 1.0. – P. 40-41].

Кількість активних підключень до мереж LTE у світі на кінець 2012 року становила до 30 млн користувачів, з яких на ринок США припало близько 47% загальної кількості підключень. Стандарт 3GPP Release 8 було зафіксовано у грудні 2008 року й це стало основою для розробки LTE обладнання та пристроїв. На сьогодні LTE є добре стандартизованим і поміщає в собі деякі галузі додаткового покращення, що описані у 9-му релізі. Реліз 9 був функціонально зареєстрованим у грудні 2009 року.

Технологія LTE-Advanced разом з WiMAX 2 була офіційно прийнятою технологією бездротового стандарту зв'язку четвертого покоління 4G.

Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) на конференції в Женеві у 2012 році. LTE-Advanced - це назва специфікації 3GPP 10 версії, для якої ITU присвоїв сертифікат «IMT-Advanced» - офіційний статус мереж четвертого покоління. Попередні версії LTE не є технологією 4G.

У березні 2015 року, один із найбільших лідерів ринку мобільного зв'язку у Росії, оператор МегаФон заключив семирічний контракт з компанією Nokia Networks на розпочаток будівництва мережі LTE у великих масштабах. Нова мережа була розбудована в першу чергу у Москві, Центральному та Кавказькому регіонах.

Праці над проектом LTE розділяються на дві стадії:

- SI (стадія вивчення);
- WI (стадія розробки).

Основна ціль стадії SI, що її можна повністю затвердити з тенденцією розвитку мобільного зв'язку і вона є повністю реалістичною, полягає в тому, аби після початку роботи вона була повністю підтримана учасниками стандарту, які будуть розпочинати початок роботи її як найважливіше завдання.

1.2. Організація інформаційних каналів, планування та будова мережі LTE

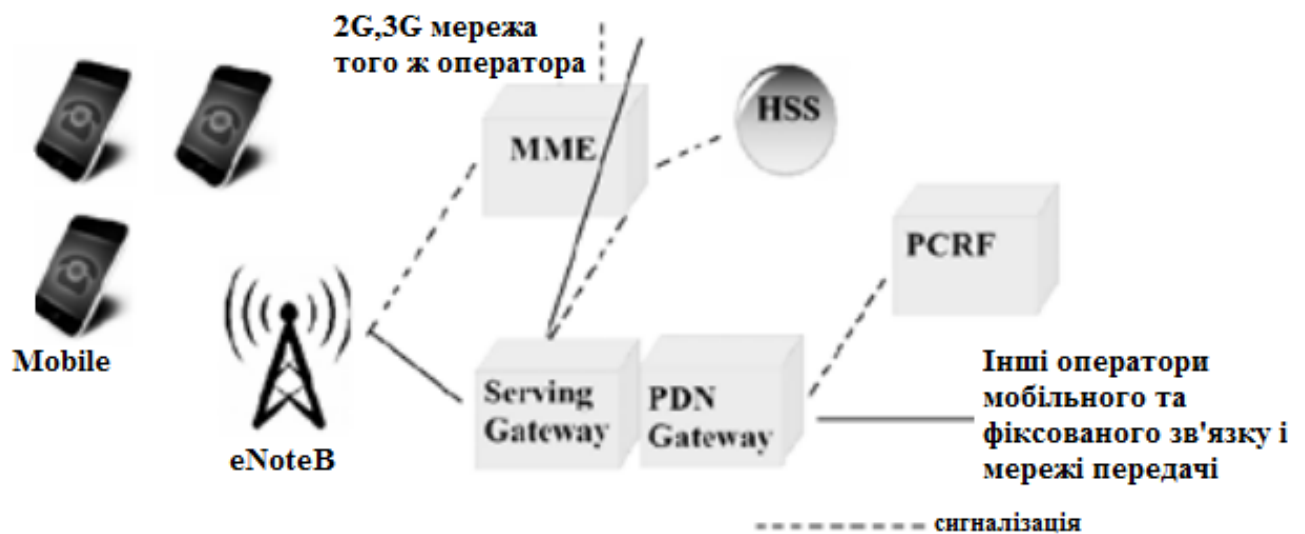


Рисунок 1.4. Структура 4G LTE мережі

Зі схеми мережі LTE, яка показана на Рис.1.4. вище, вже видно, що структура мережі категорично сильно відрізняється від мереж другого та третього покоління. Великих та доволі помітних змін зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Було змінено технологію передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також вплинули на зміну і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Всі дані та інформація (тобто голос, дані) передається у вигляді пакетів. Говорячи прямо, вже немає поділу на обробку даних по частинах або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані [Олійник В. М. Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних технологій / В. М. Олійник, В.В. Речембей // Мукачівський державний університет. – 2018. – УДК 330,№14. – С. 1017-1019].

Можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

Serving SAE Gateway або просто Serving Gateway (SGW) - обслуговуючий шлюз мережі LTE. Його використовують для обробки і маршрутизації пакетних даних, які приходять або з підсистеми базових станцій, або навпаки - в підсистему базових станцій. Коротко кажучи, цей елемент замінює MSC, MGW і SGSN мережі UMTS. SGW використовується для сполучення з мережами другого і третього покоління того ж оператора, що просить передачу з'єднання в / з них, з причин погіршеної зони покриття, перевантажень або чогось іншого. Розглянемо головні функції обслуговуючого шлюзу S-GW, які необхідні для злагодженої роботи мережі:

- маршрутизація переданих пакетів даних;
- буферизація пакетів даних;
- установка та показ найбільш якісних показників (Quality of Service, QoS) послуг, що надаються для користування;
- подача та надання облікових даних для тарифікування та оплати виконуваних послуг.

Public Data Network (PDN) SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз до / від мереж інших операторів. Коли інформація (голос, дані) передаються з / в мережі певного оператора, то вони проходять маршрут саме через PGW.

Mobility Management Entity (MME) - вузол управління мобільністю. Призначений для управління мобільністю абонентів мережі LTE.

Home Subscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних. HSS є сполученням VLR, HLR, AUC зроблених в одному пристрої.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) - вузол представлення рахунків абонентам за використувані ними послуги зв'язку.

Всі перераховані вище елементи відносяться до системи комутації мережі LTE. В системі базових станцій залишився тільки один помітний нам елемент - базова станція, яка отримала назву eNodeB. Цей елемент виконує функції і базової станції, і контролера базових станцій мережі LTE. За рахунок цього спрощується

розширення мережі, тому що не потрібно розширювати об'єм контролерів або додавання нових.

Розглянемо детальніше приведену нижче структуру мережі LTE та спробуємо детальніше розібратись в кожному з елементів та процесів формування та будови мережі.

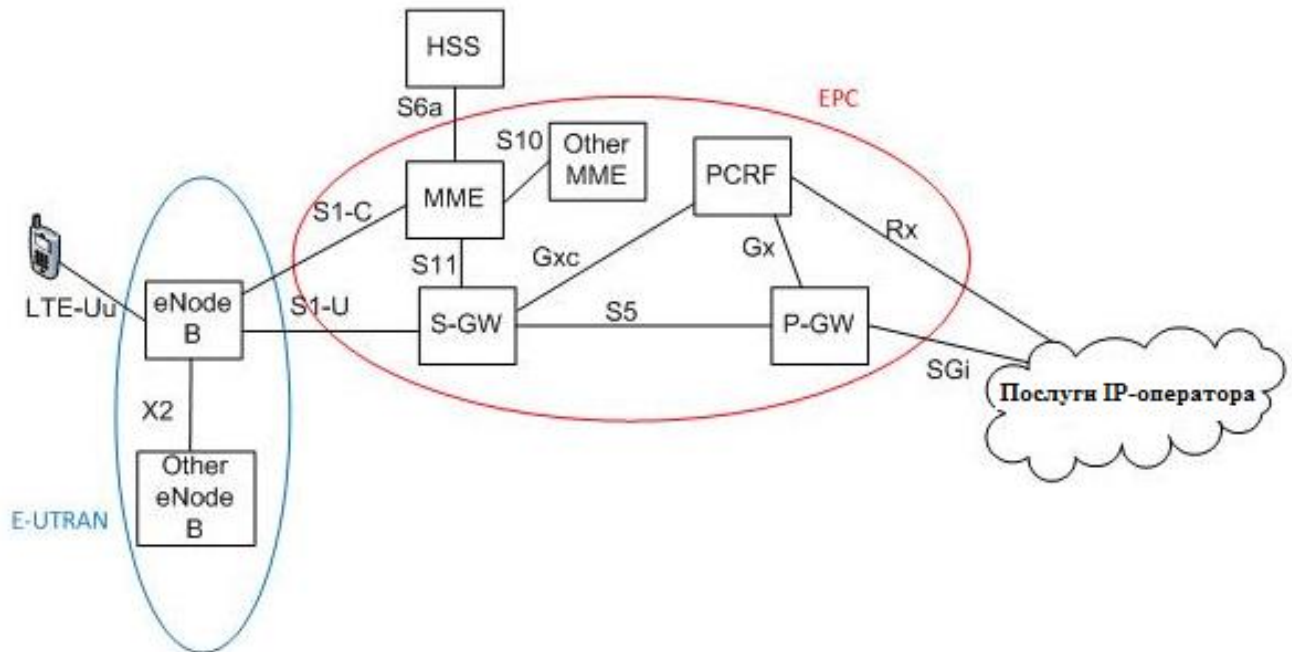


Рисунок 1.5. Детальна структура мережі LTE

Структура мережі LTE приведена на рис.1.5. Звідси ми бачимо, що ядро мережі EPC (Evolved Packet Core) складається з обслуговуючого шлюзу S-GW (Serving Gateway), шлюзу для виходу на пакетні мережі P-GW (Packet Data Network Gateway), структури управління по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), пов'язаної з S-GW і eNodeB сигнальними інтерфейсами.

eNodeB об'єднує в собі функції базових станцій і контролерів мереж 3-го покоління та включає в себе обробку та використання таких функцій:

- забезпечує передачу трафіку і сигналізації по радіоканалу;
- управляє розподілом радіоресурсів;
- забезпечує наскрізний канал трафіку до S-GW;
- підтримує синхронізацію передачі і контролює рівень перешкод в так званій соті;

- забезпечує цілісність передачі даних по радіоканалу;
- вибирає MME і організовує сигнальний обмін з ним;
- виробляє стиснення заголовків IP-пакетів;
- підтримує послуги мультимедійного мовлення;
- при використанні структури з підсилювачами потужності - організовує управління антенами за спеціальним інтерфейсом.

Інтерфейс S1, як показано на рис.1.5., підтримує передачу даних з S-GW і сигналізацію через MME. Потрібно відзначити, що eNB може мати з'єднання з декількома S-GW.

Інтерфейси X2 використовують для організації хендовера між сусідніми базовими станціями, в тому числі і при балансуванні навантаження між ними. При цьому інтерфейси X2 можуть бути логічними, тобто для їх організації не обов'язково реальне фізичне з'єднання між eNB.

Функції обслуговуючого шлюзу S-GW:

- маршрутизація переданих пакетів даних;
- установка якісних показників (Quality of Service, QoS) послуг, що надаються;
- буферизація пакетів для UE, які перебувають в стані Idle Mode;
- надання облікових даних для тарифікації та оплати виконаних послуг.

S-GW є якірною структурою, що забезпечує мобільність абонентів. Кожну працюючу UE обслуговує певний S-GW. Теоретично UE може бути пов'язана з декількома пакетними мережами - тоді її будуть обслуговувати кілька серверів S-GW.

Шлюз для виходу на пакетні мережі P-GW організовує точку доступу до зовнішніх IP-мереж. Відповідно P-GW є якірним шлюзом для забезпечення трафіку. Якщо абонент має статичну IP-адресу, то P-GW його активізує. У разі, якщо абонент повинен отримати на час сеансу зв'язку динамічну IP-адресу, P-GW запитує його з сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) або він сам виконує необхідні функції DHCP, після чого забезпечує доставку IP-адреси абонента [Farooq Khan LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and

Performance / Khan Farooq. – 1-st Ed. – Cambridge University Press, 2009. – 495-496 p].

До складу P-GW входить PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), який забезпечує якісні характеристики послуг на зовнішньому з'єднанні через інтерфейс Sgi і фільтрацію пакетів даних. При обслуговуванні абонента в домашній мережі функції P-GW і S-GW можуть виконувати як два різних, так і один пристрій. Інтерфейс S5 являє собою тунельне з'єднання GPRS або Proxy Mobile Ipv6.

Якщо P-GW і S-GW знаходяться в різних мережах (наприклад, при обслуговуванні абонента в роумінгу), то інтерфейс S5 замінюють інтерфейсом S8.

Керуючий блок MME насамперед підтримує виконання процедур протоколу Mobility Management: забезпечення безпеки роботи в мережі при підключенні UE і вибір S-GW, P-GW. MME пов'язаний з HSS своєї мережі за допомогою інтерфейсу S6a.

Інтерфейс S10, що з'єднує різні MME, дозволяє обслуговувати UE при переміщеннях абонента, а також при його знаходженні в роумінгу.

Policy and Charging Resource Function (PCRF) по суті являє собою керуючий сервер, що забезпечує централізоване управління ресурсами мережі, облік і тарифікацію послуг, що надаються [Довгий С. О. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, безпека, економіка, регулювання / С. О. Довгий, П. П. Воробієнко, К. Д. Гуляєв; під ред. С. О. Довгого. – 2-е(доповнене) вид. – Київ: Азимут Україна, 2013. – 308-311 с.].

Як тільки з'являється запит на нове активне з'єднання, ця інформація надходить на PCRF. Він оцінює наявні в його розпорядженні ресурси мережі й направляє в PCRF шлюзу P-GW команди, які встановлюють вимоги до якості послуг і до їх тарифікації.

Дуже важливим чинником для будь-якої мережі є те - яким чином інформація передається із точки А в точку Б і що для цього використовує.

Щоб дані можна було транспортувати через радіо інтерфейс LTE, використовують різні «канали». Саме для того, щоб більш ефективно використовувати мережу доступу і мати можливість виділяти різні типи даних.

Використання декількох каналів веде за собою утворення інтерфейсу вищого рівня в рамках протоколу LTE і включає в себе більш визначену і чітку сегрегацію даних. Під сегрегацією розуміється розділення даних по частоті і визначені певного каналу.

Розрізняють три категорії, в яких групуються різні канали передачі даних:

Логічні канали – канали, в яких надаються послуги середнього рівня управління доступом MAC (Medium Access Control) в рамках будови структури протоколу LTE. Логічні канали наприклад переданої інформації поділяються на логічні канали управління і логічні канали визначення трафіку. Логічні канали управління використовують для передачі різноманітних сигнальних та інформаційних повідомлень. Визначені для користувача дані передають саме по логічному каналу передачі даних.

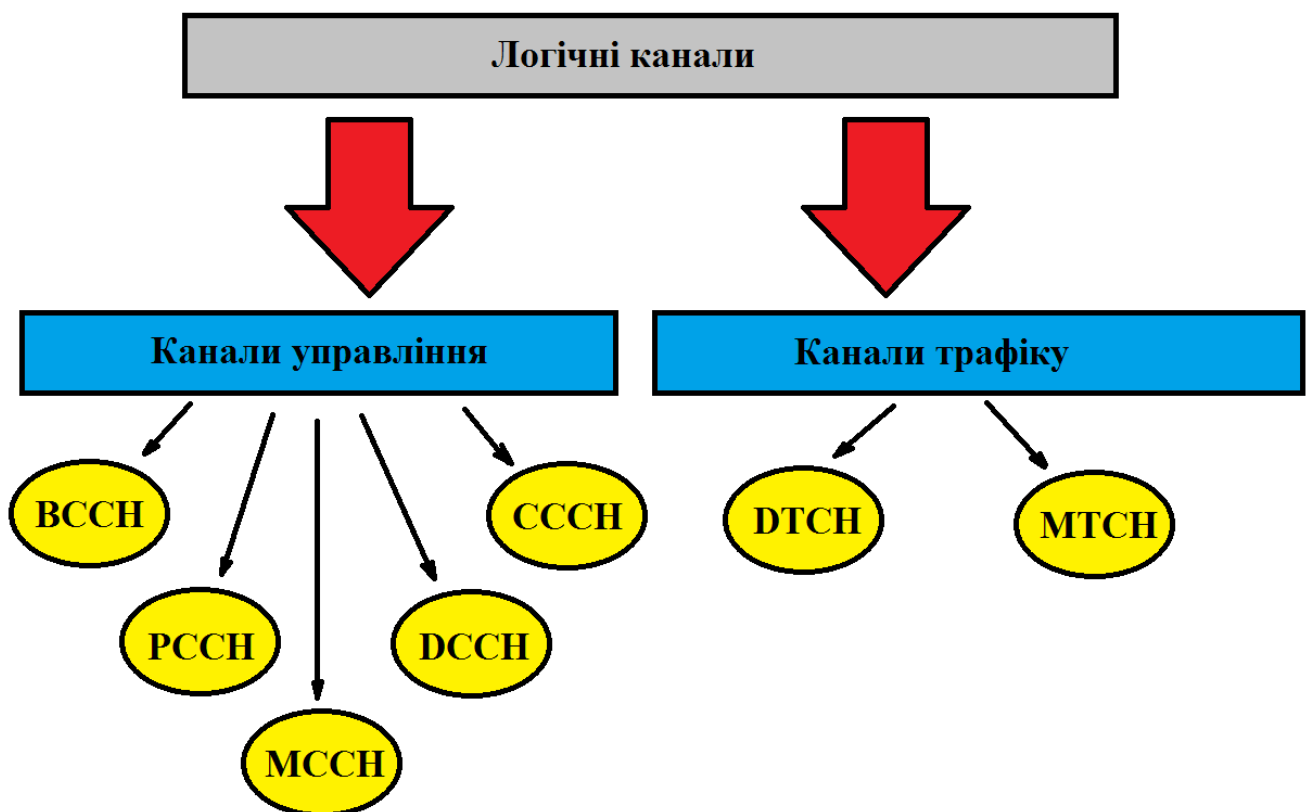


Рисунок 1.6. Принципова схема побудови логічних каналів

Логічні канали рис. 1.6. підрозділяються за типами переданої інформації на канали управління і на трафіковані.

До каналів управління відносяться:

- BCCH (Broadcast Control Channel) - мовний канал управління - служить для передачі системної службової інформації в downlink;
- PCCH (Paging Control Channel) - пейджинговий канал управління - призначений для передачі пейджингових повідомлень до eUE від eNodeB;
- MCCH (Multicast Control Channel) - розрахований на багато користувачів канал управління - необхідний для передачі службової інформації одночасно до кількох абонентських пристроїв;
- DCCH (Dedicated Control Channel) - виділений канал управління - служить для передачі службової інформації між конкретним абонентським пристроєм і мережею;
- CCCH (Common Control Channel) - загальний канал управління - призначений для обміну службовою інформацією між eUE і мережею в процедурах початкового доступу eUE в мережу до організації виділеного каналу
До трафікових каналів відносяться:
- DTCH (Dedicated Traffic Channel) - виділений трафіковий канал - основний канал для передачі призначених для користувача даних між одним конкретним eUE і мережею;
- MTCH (Multicast Traffic Channel) - розрахований на багато користувачів трафіковий канал - служить для передачі широкомовної трафікової інформації. Гарним прикладом використання цього каналу може служити трансляція радіо або ТВ-програм.

Транспортні канали - транспортні канали фізичного рівня надають можливість передачі інформації в MAC і рівнем вище. Коли інформація логічних каналів оброблюється на RLC / MAC рівнях, то її розміщують в транспортних каналах для подальшої передачі по радіоінтерфейсу в фізичних каналах. Транспортний канал рис. 1.7. може визначати як і з якими характеристиками відбувається передача інформації радіопослуги. Інформаційні повідомлення на транспортному рівні розбиваються на транспортні блоки. В кожному часовому інтервалі передачі (Transmission Time Interval, TTI) радіопослуги передають хоча б

один транспортний блок. При використанні технології МІМО можлива передача до чотирьох блоків в одному ТТІ.

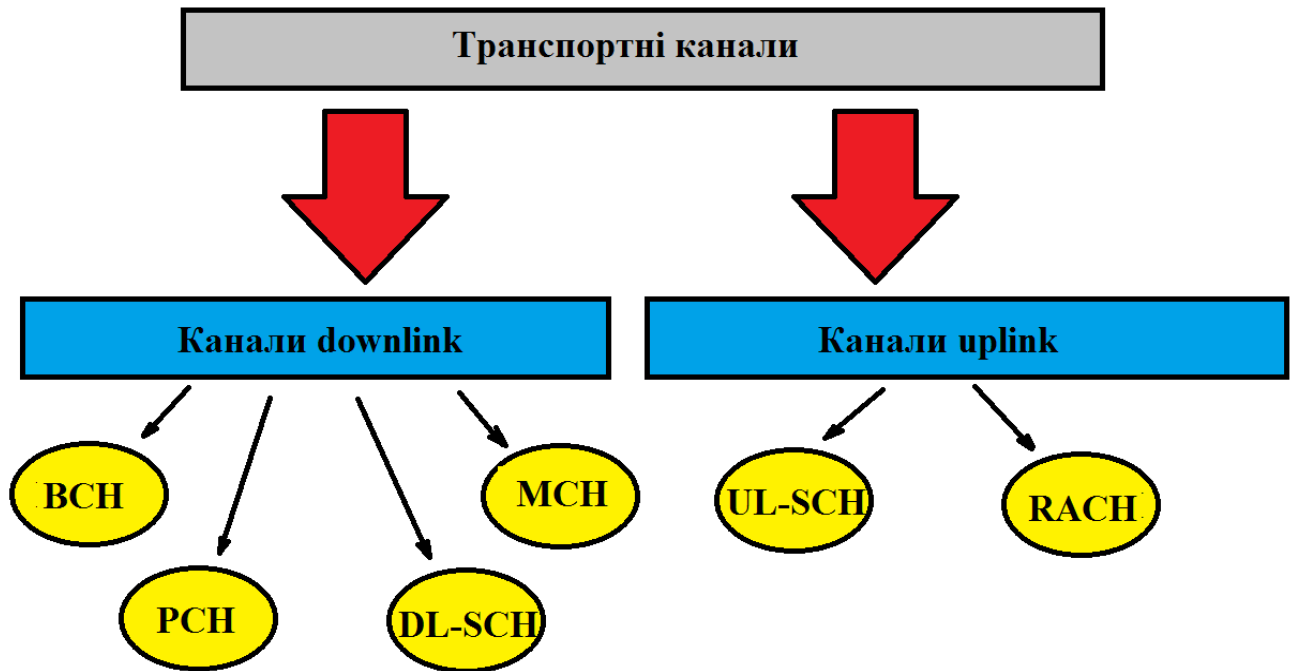


Рисунок 1.7. Принципова схема побудови транспортних каналів

До транспортних каналах в downlink відносяться:

- BCH (Broadcast Channel) - ширококомовний канал;
- PCH (Paging Channel) - канал для пейджинга;
- DL-SCH (Downlink Shared Channel) - загальний канал для передачі даних вниз;
- MCH (Multicast Channel) - розрахований на багатьох користувачів канал.

До транспортних каналах в uplink відносяться:

- RACH (Random Access Channel) - канал випадкового доступу;
- UL-SCH (Downlink Shared Channel) - загальний канал для передачі даних вгору.

Фізичні канали рис. 1.8. - це канали передачі, які переносять призначені для користувача дані і керуючі повідомлення. Вони змінюються між висхідним і нисхідним потоками, оскільки кожен з них має різні вимоги і діє по-своєму.

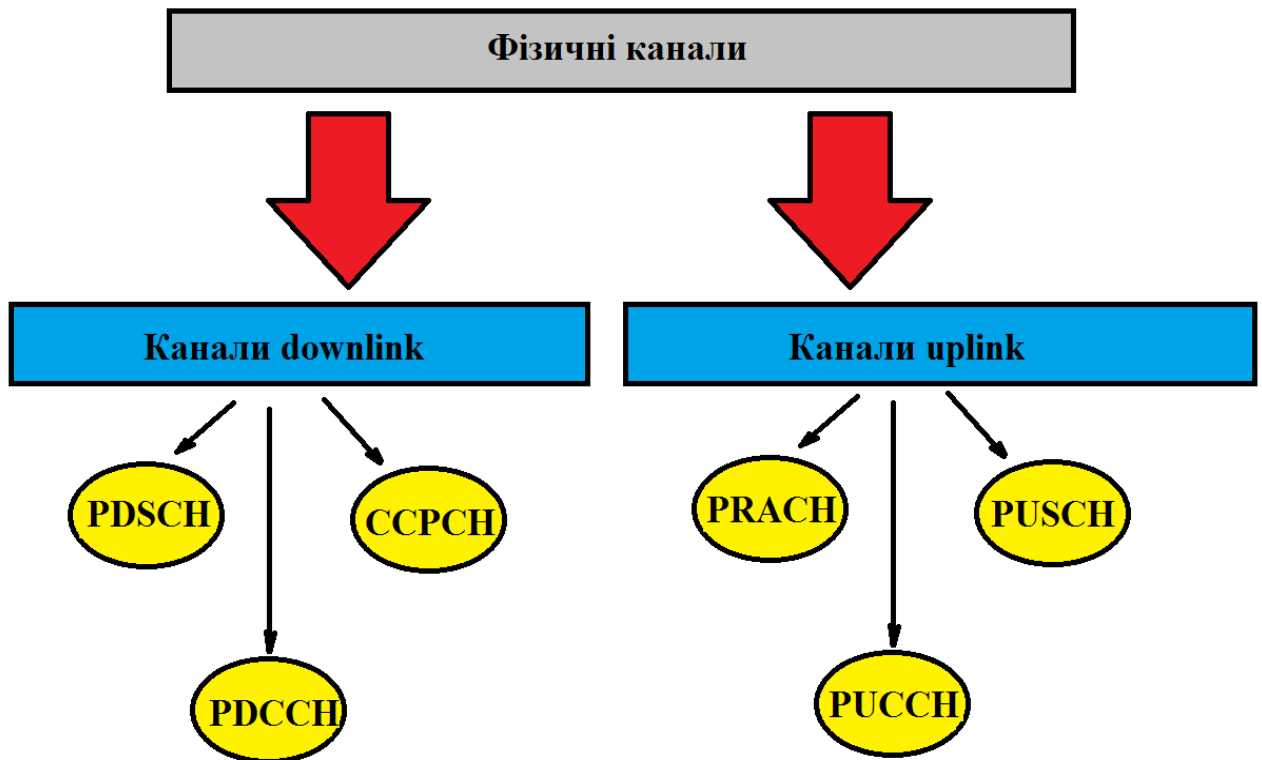


Рисунок 1.8. Принципова схема побудови фізичних каналів

До фізичних каналів в downlink відносяться:

- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) - фізичний розподілений канал в напрямку «вниз» - служить для високошвидкісної передачі мультимедійної інформації;
- PDCCH (Physical Downlink Control Channel) - фізичний канал керування в напрямку «вниз» - призначений для передачі інформації для управління конкретним eUE;
- CCPCH (Common Control Physical Channel) - загальний фізичний канал управління - необхідний для передачі загальної для всіх інформації.

До фізичних каналах в uplink відносяться:

- PRACH (Physical Random Access Channel) - фізичний каналу довільного доступу - служить для первинного доступу в мережу;
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel) - фізичний канал керування в напрямку «вгору» - необхідний для передачі службової інформації від конкретної eUE до eNodeB;

- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) - фізичний розподілений канал в напрямку «вгору» - призначений для високошвидкісної передачі даних в uplink.

Виходячи з моделі LTE, існує кілька можливих підходів до побудови мережі LTE:

1. При плануванні мережі «з нуля». Мережа розгортається в новому районі без будь-якої опори на діючі мережі (2G, 3G). Такі мережі іноді називають stand alone (окремо розташовані). В Україні в силу її великій території такий підхід не доцільний.

Мережа LTE будується поступово, з максимальним використанням вже наявних мереж 2G / 3G (шляхом модернізації).

У цьому випадку доцільно перші базові станції LTE ставити там, де мережа 3G / 2G не справляється з обслуговуванням трафіку і вирішувати проблеми не покриття, а, перш за все, нарощування ємності (пропускної спроможності) мережі.

Поступово таких хот-спотів стає більше, поки вони не замінять в великих містах і в ряді інших місць покриття мереж другого та третього покоління. Для клієнта повинно виглядати так, що якщо він виходить із зони покриття LTE, його пристрій все ще має можливість залишатися онлайн за рахунок мереж другого та третього покоління. Такий підхід в світі демонструє, наприклад, TeliaSonera (Норвегія).

2. Мережа LTE будується з використанням інфраструктури наявної мережі 3G за рахунок заміни базових станцій 3G / HSPA (або програмного забезпечення в них) на LTE і відповідним посиленням транспортної інфраструктури (шляхом модернізації). Це дороге рішення, яке потребує чималих одномоментних інвестицій [4G Americas Mobile Broadband Evolution Towards 5G: Rel-12 & Rel 13 and Beyond / Americas 4G. – 1-st Ed. – American Press, 2015. – 4-5 p.].

3. Створюється єдиний на всю країну оператор LTE. Він може створюватися по 1 або 3 підходу, якщо є така можливість і фінансування. Всім іншим існуючим

операторам забезпечується можливість продажу послуг цього "транспортного оператора». Тут є ряд мінусів:

- не готове законодавство;
- не задіяний механізм конкуренції, а значить, собівартість проекту і ціни на його послуги можуть виявитися занадто високими;
- немає стимулів до розвитку.

4. Спільне будівництво мереж LTE декількома операторами. Цей пункт зрозумілий, тобто різні оператори утворюють певну групу, команду, яка працюватиме над досягненням мети, планування та впровадження технології.

Держава видає ліцензії і частоти з умовою, що кожна така ліцензія або деякі з них, призначені для спільного використання двома або більшою кількістю операторів. Такі приклади є за кордоном. Наприклад, видані «здвоєні» ліцензії в Польщі (спільне підприємство операторів РТК (Orange) і Р4 (Play), в Швеції (спільне підприємство операторів Tele2 Sweden і Telenor) та ін.[Ковальчук В. А. Importance of development of controlled technologies of the wireless communications / В. А. Ковальчук // Збірник матеріалів 6-ої Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді. – 2018. – С. 117].

Найбільш кращими для України є підходи 2 або 3. Для початку можна нарощувати ємність мережі, до того часу поки базові станції LTE не замінити в великих містах і в ряді інших місць покриття 3G / 2G. Цей підхід зажадає менші грошові витрати, але він є більш тривалим за часом. Якщо ж дозволяє фінансування, то доцільніше буде підхід 3, тобто, заміна базових станцій 3G / HSPA на LTE або програмного забезпечення в них [Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності / Є. П. Желібо, Н. М. Заверуха, В. В. Зацарний; під ред. Є. П. Желібо. – 6-е вид. – Київ: Каравела. 2008. – 134-137 с.].

Кожен рік зростає загальна кількість користувачів різноманітних пристроїв. Навіть у 2015 році 516 млн. людей користувалося інтернетом.

У 2020 році кількість пристроїв має перевищити 20 млрд. Однозначно зросте кількість смартфонів і у 2020 році перевищить 5 млрд пристроїв.

За прогнозами, у 2020 році майже 1 млрд людей почне використовувати свої мобільні телефони для доступу до Інтернету. З загальної кількості більше ніж на половину зростання складатиме Азіатсько-Тихоокеанський регіон, зокрема Китай та Індія.

Крім того, в Африці спостерігатиметься стрімкіше зростання.

Технологія 4G за технічними характеристиками є потужнішою за 3G. Проте, технологія 3G розвивається і, на сьогоднішній день, майже не поступається по швидкості 4G технології. Враховуючи, що створення 4G мереж вимагає значного фінансування, а 3G технологія вже набула широкого розповсюдження і компаніям необхідно лише модифікувати вже створенні мережі, а не проектувати нові. Ще доволі довгий час 3G технологія зможе конкурувати з LTE мережами. Розподілення технологій світової мобільної бази користувачів можна переглянути на рис. 1.9. Тут зображено послідовність зростання технологій другого, третього, четвертого покоління та аналіз приблизного руху вперед технології п'ятого покоління.

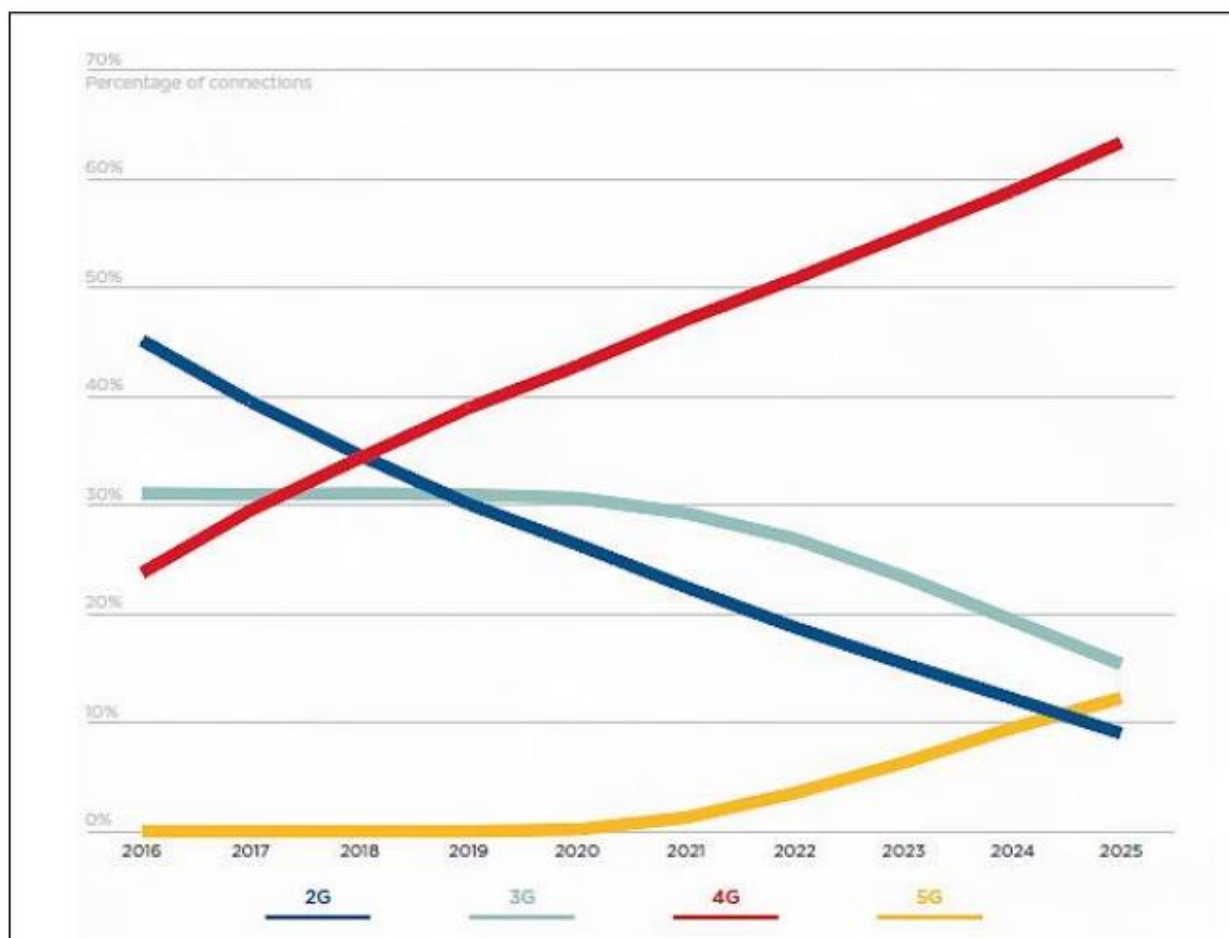


Рисунок 1.9. Розподілення технологій світової мобільної бази користувачів

1.3. Ефективність використання мереж 4-ого покоління у теперішній час

На сьогоднішній день переважна кількість мереж LTE працює в парному спектрі в режимі FDD (Frequency Division Duplex) - частотний розподіл вхідного і вихідного каналу, при якому прийом і передача сигналу відбуваються на різних частотах), але попит до мереж LTE TDD продовжує зростати, так як, все більше країн, які починають використовувати технологію LTE, яка підтримує режим TDD (Time Division Duplex) - тобто прийом і передачі сигналу відбуваються на одній частоті, але з поділом сигналу по часу. Технологія найкраще підходить для додатків, що мають різноманітний трафік [Данилов В. И. Сети и стандарты мобильной связи / В. И. Данилов. – Санкт-Петербург: СПб ГУТ, 2015. – 80 с.].

Всього під технологію LTE виділено понад 40 діапазонів частот (bands), крім того використання спектра для LTE має регіональні особливості. Подивимось на частоти, які виділили для самих розвинутих країн світу – США та Японія:

- в США найбільш популярними є діапазони 700 МГц (в основному, band 13 і band 17) і AWS (AWS band (Advanced Wireless Services band), парні частоти в діапазонах 1710-1755 МГц (передача) і 2110-2155 МГц (прийом)) (1,7 / 2,1 ГГц);
- в Європі - діапазони 1800 МГц (band 3) і 2600 МГц (band 7), в перспективі - 800 МГц (band 20);
- в Японії перші запуски LTE відбулися в діапазоні 800/850 МГц; 1,5 ГГц; 1,7 ГГц і 2,1 ГГц (в залежності від оператора). Також було виділено діапазон 700 МГц (ART700) для запуску майбутніх мереж LTE. На рис. 1.10. можна ознайомитись.

Великий інтерес в світі пов'язаний з поєднанням частот GSM для їх використання в мережах LTE. Особливо це відноситься до діапазону 1800 МГц, а в деяких випадках - 900 МГц. При цьому більшість регулювальних органів схвалює підхід, при якому дотримується нейтральна позиція, тобто оператори можуть використовувати наявні у них частоти незалежно від вказаної технології.

В загальному, найпоширенішим у світі діапазоном залишається 1800 МГц (band 3) - його використовують 43% комерційних мереж LTE FDD. Наступні за популярністю діапазони - це 2,6 ГГц (band 7) і 800 МГц (band 20), в них працюють 30% і 12% LTE-мереж, відповідно.

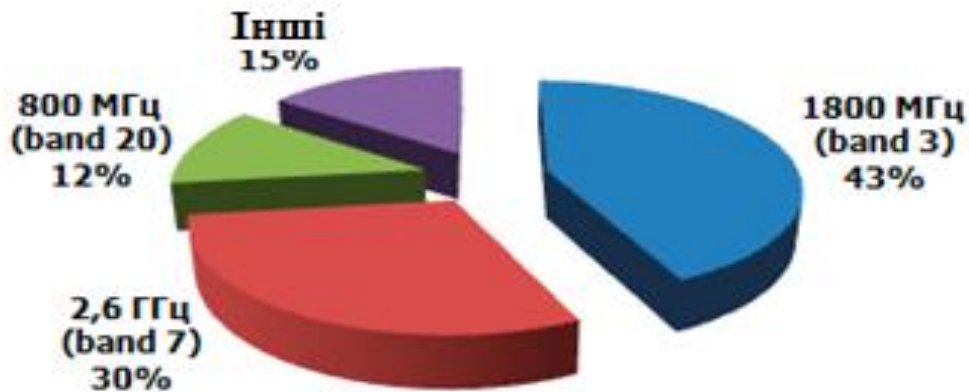


Рисунок 1.10. Найбільш популярні використовувані частоти в мережах LTE

В умовах реальної, скажімо нестачі частот для LTE, в галузі постає питання про використання додаткових діапазонів частот. У липні 2013 року об'єднання 3GPP завершило стандартизацію технології LTE для діапазону 450 МГц, що дає можливість операторам, що мають такі частоти, розгорнути свої мережі LTE в цьому діапазоні.

Використання низьких частот при будівництві мереж мобільного зв'язку дозволяє значно зменшити витрати на будівництво мереж, адже для повного покриття однієї і тієї ж площі потрібна значно менша кількість базових станцій, чим у разі використання високих частот (наприклад, 2,6 ГГц). Крім того, використання низькочастотних діапазонів (450, 700 і 800 МГц) актуально для покриття площ з набагато нижчою щільністю населення, де не потрібна висока ємність мереж, що досягається при використанні високих частот [Вишне夫斯基 В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. М. Вишне夫斯基, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва: Техносфера. 2009. – 472-475 с.].

Розвиток LTE на частоті 1800 МГц в середньому на 60% є більш економічним, ніж будівництво мереж у високочастотних діапазонах. Використання

цього діапазону дасть можливість скоротити час виходу технології LTE на ринок і в разі збільшити швидкість його розвитку.

Розгортання мереж в низькочастотній області спектра більш доцільно з точки зору витрат і цей підхід оптимальніше підходить для покриття площ з низькою щільністю населення (передмістя і сільські райони). Низькі частоти, в порівнянні з високими, забезпечують значно досконаліше проникнення всередині будівель і велику площу покриттів, що, з однієї сторони, дозволить забезпечити зв'язком значно великі площі, а з іншої - значно обмежить щільність базових станцій і постане проблема загострення внутрішньосистемної інтерференції [Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – Москва: Эко-Трендз. 2010. – 284 с.].

Високі частоти досконало використовувати для побудови систем LTE в регіонах з високою щільністю населення, де потрібні високі швидкості передачі даних. Крім того, якщо працювати лише у високочастотному діапазоні, то можна бути впевненим в тому, що виникнуть проблеми з радіопокриттям.

Фемтостільники, встановлені в місцях з високою концентрацією абонентів (трафіку) і в приміщеннях, допомагають зменшити «тіньові» зони в покритті.

Що ж під собою розуміють фемтосоти. Це малопотужна і мініатюрна станція стільникового зв'язку, основне призначення якої, являється обслуговування невеликої території (одного офісу або квартири). Вона з'єднується з мережею стільникового оператора через так звані канали зв'язку, підведені до абонента, обслуговує в залежності від типу: домашній або офісний.

Фемтосоти рис. 1.11. мають відношення до типу так званих «малих сот» (small cells) - малопотужних бездротових точок доступу, які працюватимуть у частотному спектрі, який для них є дозволеним і можуть вільно керуватись оператором.

Фемтостільники необхідні для поліпшення покриття мережі на перших поверхах будівель, в цокольних приміщеннях і на складах, крім того, для розв'язування абонентських проблем, які зв'язані з великим навантаженням мережі в пікові години.

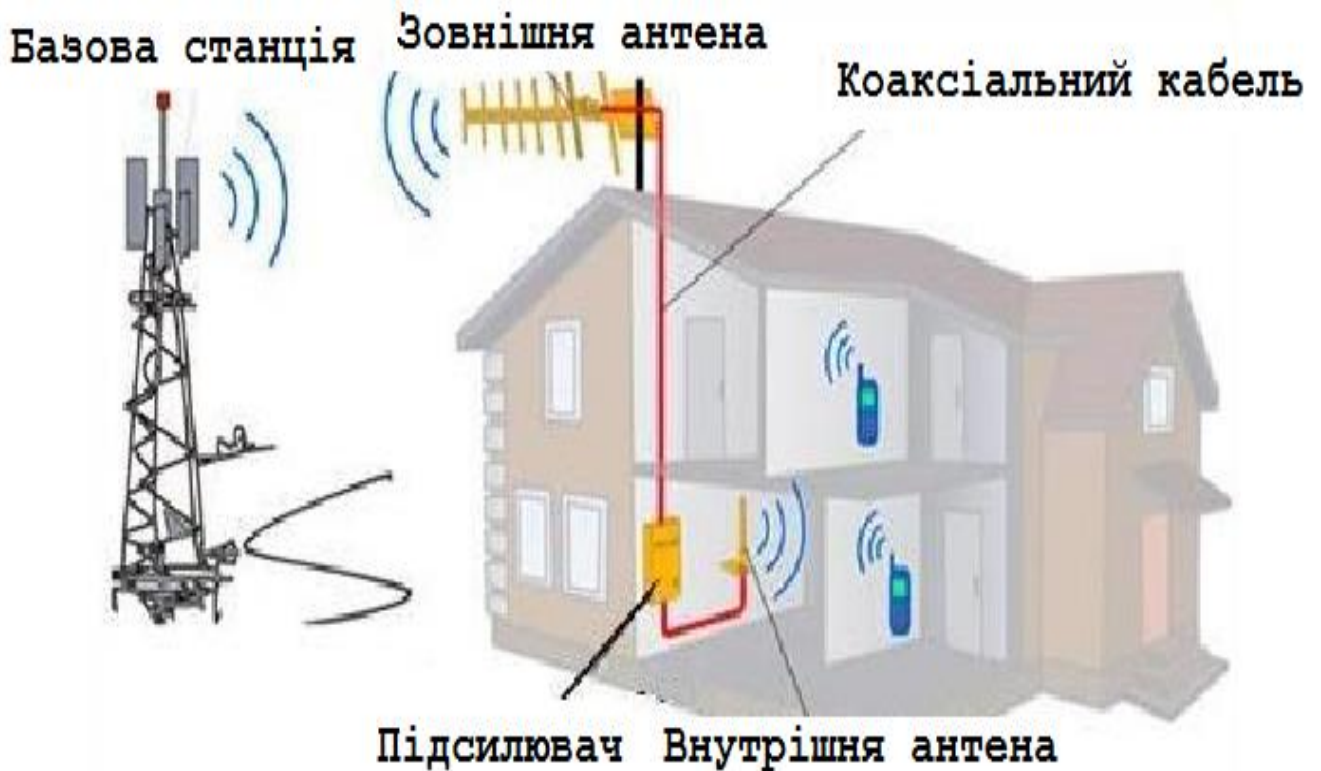


Рисунок 1.11. Приклад побудови фемтосоти

Якщо мати можливість використовувати частотний діапазон (високого і низького спектру) - запорука об'ємного і точного покриття, і виконання необхідної ємності в місцях, де трафік знаходиться у великому попиті. Для покращення покриття усередині будівель рекомендується використовувати фемтосоти.

Технологія LTE відрізняється від технології GSM тим, що забезпечує кожну базову станцію мережі можливістю частково виділяти смуги частот і потужністю користувача, залежно від його положення в соті.

Не дивлячись на це, можуть використовуватися різні моделі повторного використання смуг та частот, відповідно, появляється можливість значно збільшити пропускну спроможність стільників при виконанні вимог до якості радіозв'язку в умовах обмежених ресурсів базової станції.

Можна розглянути наступні моделі повторного використання смуг частот:

- повне повторне використання смуг частот каналів;
- жорстке повторне використання смуг частот каналів;
- м'яке повторне використання смуг частот каналів;
- дробове повторне використання смуг частот каналів.

Повним повторним використанням смуг частот каналів називають варіант, коли вся смуга частот повністю використовується для кожної соти незалежно від місця розташування абонентів в соті.

Розподілення ресурсних блоків в цьому випадку здійснює планувальник базової станції. Розклад про розподіл ресурсів базова станція повідомляє абонентським станціям по спеціальному керуючому каналу.

Але, незважаючи на це, виникають проблеми з міжсотовою інтерференцією, яке потребує динамічного призначення смуг частот. LTE використовує динамічну координацію для зменшення інтерференційної зв'язку між сотами. Вона підтримується специфікованою 3GPP сигналізацією між базовими станціями.

Використання повного повторного використання смуг частот недоцільно з точки зору абонентської ємності. Так як зростає кількість службової інформації, яка точно необхідна для динамічної диспетчеризації.

Жорстким повторним використанням смуг частот каналів називається той варіант, коли вся смуга частот розподілена на фіксовану кількість смуг, які виділяються стільниками відповідно до деякої певної моделі повторного використання (за аналогією з GSM).

Кожна з комірок обслуговується своїм передавачем з невисокою вихідною потужністю і обмеженим числом каналів зв'язку. Це дає можливість без завад повторно використовувати частоти каналів цього передавача в інший, розташований за значну відстань, бік території.

Теоретично такі передавачі можна використовувати і в сусідніх осередках. Але на практиці відомо, що зони обслуговування сот можуть перекриватися під дією різних факторів, наприклад, внаслідок зміни умов поширення радіохвиль. При цьому в сусідніх осередках використовуються різні частоти. Приклад побудови сот при використанні трьох частот $F1 - F3$ представлений на рис. 1.12.

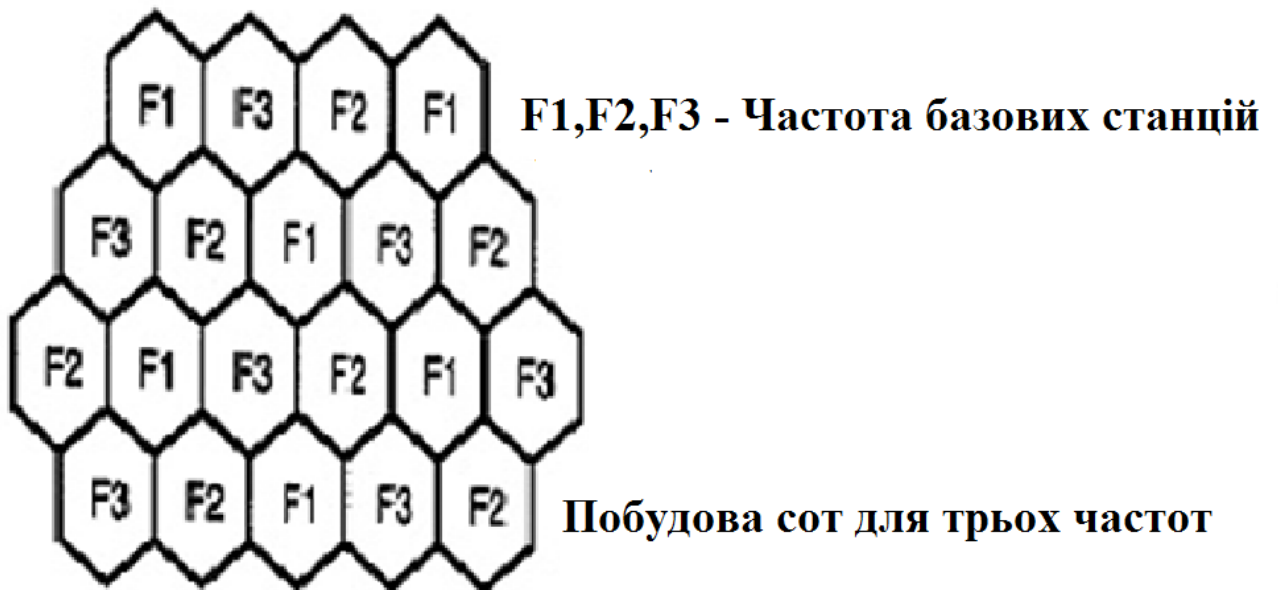


Рисунок 1.12. Приклад побудови сот для трьох різних частот

Група сот з різними наборами частот називається кластером. Визначальним його параметром є кількість використовуваних в сусідніх сотах частот. В більшості випадків розмірність кластера дорівнює трьом.

Основною ідеєю, на якій базується принцип стільникового зв'язку, є повторне використання частот в несуміжних стільниках.

Першим способом є організація повторного використання частот, який застосовувався в аналогових системах стільникового рухомого зв'язку першого покоління, був спосіб, який використовує антени базових станцій з круговими діаграмами спрямованості. Він застосовується для передачі сигналу однакової потужності в усіх напрямках, що для абонентських станцій еквівалентно прийому перешкод від усіх базових станцій з усіх напрямків.

Базові станції, на яких допускається повторне використання виділеного набору частот, віддалені один від одного на відстань D , зване «захисним інтервалом». Саме можливість повторного застосування одних і тих же частот визначає високу ефективність використання частотного спектра в стільникових системах зв'язку.

Суміжні базові станції, що використовують різні набори частотних каналів, утворюють групу з станцій. Якщо для кожної базової станції призначається набір з

m каналів з шириною смуги кожного E , то загальна ширина смуги, займана системою стільникового зв'язку, складе:

$$F_c = E * m * C \quad (1.1)$$

Таким чином, величина C визначає мінімально можливе число каналів в системі, тому її часто називають частотним параметром системи, або коефіцієнтом повторення частот. Коефіцієнт C не залежить від числа каналів у наборі і збільшується в міру зменшення радіуса осередки. Таким чином, при використанні осередків менших радіусів є можливість збільшення повторюваності частот.

Застосування шестикутних осередків дозволяє мінімізувати ширину необхідного частотного діапазону, оскільки така форма забезпечує оптимальне співвідношення між величинами C і D . Крім того, шестикутна форма найкращим чином вписується в кругову діаграму спрямованості антени базової станції, встановленої в центрі осередку.

Розглянемо детальніше питання вибору розміру осередку (радіусу R). Розміри визначають захисний інтервал B між осередками, в яких одні і ті ж частоти можуть бути використані повторно. Зауважимо, що величина захисного інтервалу D , крім уже перерахованих факторів, залежить також від допустимого рівня перешкод і умов поширення радіохвиль.

Розмір зони обслуговування базової станції, що виражається через радіус осередку R , визначає також число абонентів N , здатних одночасно вести переговори на всій території обслуговування. Отже, зменшення радіуса осередку дозволяє не тільки підвищити ефективність використання виділеної смуги частот і збільшити абонентську ємність системи, а й зменшити потужність передавачів і чутливість приймачів базових і рухливих станцій. Це, в свою чергу, покращує умови електромагнітної сумісності засобів стільникового зв'язку з іншими радіоелектронними засобами і системами.

Ефективним способом зниження рівня перешкод може бути використання спрямованих секторних антен з вузькими діаграмами спрямованості. У секторі такої спрямованої антени сигнал випромінюється переважно в одну сторону, а рівень випромінювання в протилежному напрямку скорочується до мінімуму.

Розподіл сот на сектори дозволяє частіше застосовувати частоти в стільниках повторно.

Загальновідомий спосіб повторного використання частот, в організованих таким чином сотах, заснований на застосуванні 3-секторних антен для кожної базової станції і трьох сусідніх базових станцій з формуванням ними дев'яти груп частот. В цьому випадку використовуються антени із шириною діаграми спрямованості 120 °.

1.4. Висновки з розділу 1

Робота 3GPP над LTE почалася в листопаді 2004 року у виді доцільно визначеного та доступного обговорення, до якого мали доступ будь-які зацікавлені організації.

В умовах реальної, скажімо нестачі частот для LTE, в галузі постає питання про використання додаткових діапазонів частот.

У липні 2013 року об'єднання 3GPP завершило стандартизацію технології LTE для діапазону 450 МГц, що дає можливість операторам, що мають такі частоти, розгорнути свої мережі LTE в цьому діапазоні. Не дивлячись на це, можуть використовуватися різні моделі повторного використання смуг та частот, відповідно, появляється можливість значно збільшити пропускну спроможність стільників при виконанні вимог до якості радіозв'язку в умовах обмежених ресурсів базової станції.

Розвиток LTE на частоті 1800 МГц в середньому на 60% є більш економічним, ніж будівництво мереж у високочастотних діапазонах. Використання цього діапазону дасть можливість скоротити час виходу технології LTE на ринок і в разі збільшити швидкість його розвитку.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ АСПЕКТІВ ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ – LTE ТА ПОЯВА НОВИХ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

1.1. MIMO антени - фундамент для передачі даних в LTE. З чого складається, як виглядає

Говорячи про ефективність використання технології LTE, в першу чергу спадає на думку річ про використання MIMO антен на рис 2.1. Багато чого уже сказано, обговорено і представлено, але давайте розберемось, що це таке і як же вони насправді підвищують ефективність цієї технології.



Рисунок 2.1. Приклади антени MIMO

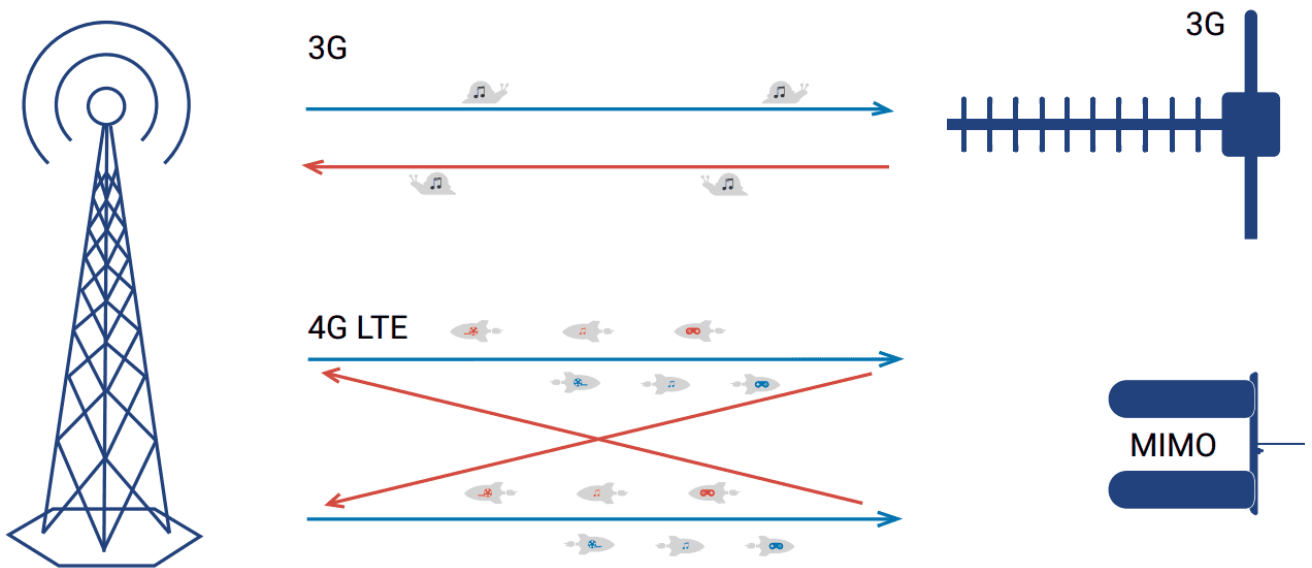


Рисунок 2.2. Наглядна схема передачі даних в порівнянні з мережею 3G

Що ж таке MIMO? Розшифровується ця аббревіатура, як «Multiple Input Multiple Output», що в перекладі означає: «Множинний вхід Множинний вихід» на рис. 2.2. Суть технології така: методом просторового кодування сигналу збільшується смуга пропускання каналу, в якому передача даних відбувається через певне число антен.

Простими словами: відбувається розширення сигналу за рахунок збільшення кількості паралельних антен. Технологія 4G LTE в Україні побудована за методом MIMO 2x2.

Базові станції передають і приймають сигнал 4G LTE за методом MIMO 2x2, 4G LTE пристрої приймають і передають сигнал також за методом MIMO 2x2.

Технологія, яка представляє собою бездротовий доступ, що передбачає використання декількох передавачів і приймачів для одночасної передачі більшої кількості даних.

В технології MIMO передаючі сигнали відбиваються від безлічі об'єктів і перешкод, а приймаюча антена сприймає сигнали під різними кутами і в різний час. Іншими словами, це більш продуктивний метод передачі даних в 4G LTE.

Як MIMO антени збільшують швидкість до 2.5 раз?

MIMO 2x2 антени є незамінним атрибутом будь-4G LTE мережі, чи це офіс, чи будинок. Наявність всередині антени двох випромінюючих систем з горизонтальною і вертикальною поляризацією, дозволяє працювати в режимі MIMO 2x2.

Технологія MIMO спочатку кодує дані, а потім на приймальній стороні відновлює їх. Тому якість переданого сигналу і швидкість передачі даних стає краще.

З MIMO антеною ми отримуємо нижчий пінг і більш високі швидкості прийому і передачі даних.

Більш ніж в два рази збільшується швидкість трансляції сигналу. Стабільність інтернет каналу з MIMO антеною незаперечно краще, що ще більше покращує нашу мережу від збоїв.

Заміри показали приріст швидкості бездротового 4G LTE інтернету з підключеною MIMO 2x2 антеною в 2.5 рази!

Переваги антен MIMO 2x2:

- кріплення дозволяє закріпити антену на вертикальній трубі, передбачено регулювання кута нахилу антени і плавну зміну нахилу поляризації;
- активні випромінювачі антени надійно укриті від опадів у пластиковий корпус, захищений від ультрафіолету;
- входи антени мають коротке замикання по постійному струму між зовнішнім і внутрішнім провідниками, що знижує ймовірність накопичення статичної електрики на вході модему / роутера і робить необов'язковим застосування блискавковідвідника.

Технологія MIMO 2*2 в мережі 4G LTE грає одну з важливих ролей у забезпеченні високих швидкостей передачі даних

Хвилі, що випромінюються різними системами бездротового радіозв'язку в діапазоні понад 100 МГц, багато в чому поведуться як світлові промені. Коли радіохвилі при поширенні зустрічають будь-яку поверхню, то в залежності від матеріалу і розміру перешкоди частина енергії поглинається, частина проходить

наскрізь, а решта - відбивається. Причому відображена і та, яка пройшла наскрізь можуть змінити напрямок енергії сигналу свого подальшого поширення, а сам сигнал розбивається на кілька хвиль.

Кожна з хвиль, яка дійшла до приймача хвиль утворює так званий шлях поширення сигналу. Причому через те, що різні хвилі відбиваються від різного числа перешкод і проходять різну відстань, різні шляхи мають різні часові затримки.

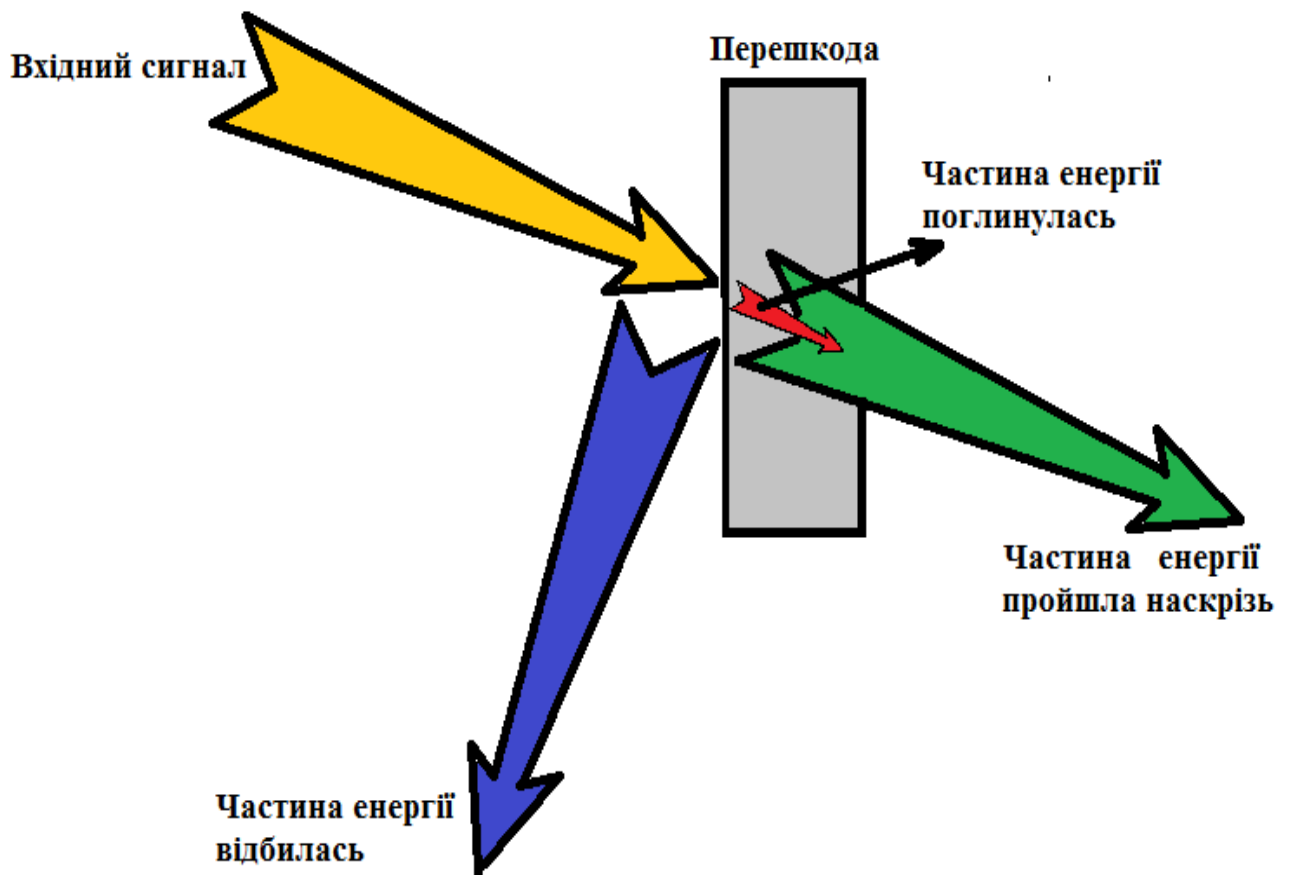


Рисунок 2.3. Розподіл енергії сигналу при зустрічі з перешкодою

В умовах щільної міської забудови, через велику кількість перешкод, таких як будівлі, дерева, автомобілі та багато інше, дуже часто виникає ситуація, коли між абонентським обладнанням (MS) і антенами базової станції (BTS) відсутня пряма видимість. В цьому випадку, єдиним варіантом досягнення сигналу приймача є відбиті хвилі. Однак, як зазначалося вище, багаторазово відбитий сигнал уже не володіє вихідної енергією і може прийти із запізненням, що зображено на рис. 2.3.

Особливу складність також створює той факт, що об'єкти не завжди залишаються нерухомими, ситуація може значно змінитися з плином часу. У зв'язку з цим виникає проблема багатопроменевого поширення сигналу - одна з найбільш істотних проблем в бездротових системах зв'язку.

Для боротьби з багатопроменевим поширенням сигналів застосовується Receive Diversity - рознесений прийом.

Суть його полягає в тому, що для прийому сигналу використовується не одна, а зазвичай дві антени, розташовані на відстані один від одного. Таким чином, одержувач має не одну, а відразу дві копії переданого сигналу, що прийшов різними шляхами. Це дає можливість зібрати більше енергії вихідного сигналу, тому що хвилі, прийняті однією антеною, можуть не бути прийнятими іншими і навпаки. Цю схему організації радіо інтерфейсу можна назвати Single Input Multiple Output (SIMO). Також може бути застосований зворотний підхід: коли використовується кілька антен на передачу і одна на прийом, ця схема називається Multiple Input Single Output (MISO).

В результаті ми приходимо до схеми Multiple Input Multiple Output (MIMO). У цьому випадку встановлюються кілька антен на передачу і прийом. Однак на відміну від зазначених вище схем ця схема рознесення дозволяє не тільки боротися з багатопроменевим поширенням сигналу, але і за рахунок використання декількох антен на передачу і прийом кожній парі передавальної / приймальної антени можна зіставити окремий тракт для передачі інформації. В результаті, теоретично, можна збільшити швидкість передачі даних в стільки разів, скільки додаткових антен буде використовуватися.

Як вже зазначалося вище, для організації технології MIMO необхідна установка декількох антен на передавальній і на приймальної стороні. Зазвичай встановлюється рівне число антен на вході і виході системи, тому що в цьому випадку досягається максимальна швидкість передачі даних. Щоб показати число антен на прийомі і передачі разом з назвою технології «MIMO» зазвичай згадується позначення « $A \times B$ », де A - число антен на вході системи, а B - на виході.

Для роботи технології MIMO необхідні деякі зміни в структурі передавача в порівнянні зі звичайними системами. В першу чергу, на передавальній стороні необхідний дільник потоків, який буде розділяти дані, призначені для передачі на кілька низькошвидкісних підпотоків, число яких залежить від числа антен.

Наприклад, для MIMO 2x2 і швидкості надходження вхідних даних 100 Мбіт/с дільник буде створювати 2 потоки по 50 Мбіт/с кожен. Далі кожен із даних потоків повинен бути переданий через свою антену. В одному з можливих способів організації технології MIMO сигнал передається від кожної антени з різною поляризацією, що дозволяє ідентифікувати його на прийомі.

На приймальній стороні кілька антен приймають сигнал з радіоефіру. Причому антени на приймальній стороні також встановлюються з деяким просторовим рознесенням, за рахунок чого забезпечується рознесений прийом.

Прийняті сигнали надходять на приймачі, число яких відповідає числу антен і трактів передачі. Причому на кожен з приймачів надходять сигнали від усіх антен системи. Кожен з таких суматорів виділяє із загального потоку енергію сигналу тільки того тракту, за який він відповідає. Залежно від принципу роботи системи, що передається сигнал може повторюватися через певний час, або передаватися з невеликою затримкою через інші антени.

Розглянутий вище принцип організації радіозв'язку відноситься до так званої Single user MIMO (SU-MIMO), де існує лише один передавач і приймач інформації. В цьому випадку і передавач і приймач можуть чітко узгодити тільки свої дії. Така схема підходить, наприклад для організації зв'язку в будинку офісі між двома пристроями.

У свою чергу більшість систем, такі як WI-FI, WIMAX, стільникові системи зв'язку, де є багато користувачів, тобто в них існує єдиний центр і кілька віддалених об'єктів, то з кожним з них необхідно організувати радіоз'єднання. В цьому випадку, вирішують дві проблеми: з одного боку базова станція передає сигнал до багатьох абонентів через одну і ту ж антенну систему (MIMO broadcast), і в той же час приймає сигнал через ті ж антени від декількох абонентів (MIMO MAC - Multiple Access Channels).

Технологія MIMO в останнє десятиліття є одним з найактуальніших способів збільшення пропускної здатності та ємності бездротових систем зв'язку.

Розглянемо деякі приклади використання MIMO в різних системах зв'язку.

Стандарт WiFi 802.11n - один з найбільш яскравих прикладів використання технології MIMO. Згідно з ним він дозволяє підтримувати швидкість до 300 Мбіт/с. Причому попередній стандарт 802.11g дозволяв надавати лише 50 Мбіт/с. Крім збільшення швидкості передачі даних, новий стандарт завдяки MIMO також дозволяє забезпечити кращі характеристики якості обслуговування в місцях з низьким рівнем сигналу.

Стандарт WiMAX також має два релізи, які розкривають нові можливості перед користувачами за допомогою технології MIMO. Перший - 802.16e - надає послуги мобільного широкосмугового доступу. Він дозволяє передавати інформацію зі швидкістю до 40 Мбіт/с у напрямку від базової станції до абонентського обладнання. Однак MIMO в 802.16e розглядається як опція і використовується в найпростішій конфігурації - 2x2 на рис. 2.4. У наступному релізі 802.16m MIMO розглядається як обов'язкова технологія, з можливою конфігурацією 4x4. В даному випадку WiMAX вже можна віднести до стільникових систем зв'язку, а саме четвертому їх поколінню (за рахунок високої швидкості передачі даних).

У разі мобільного використання, теоретично, може бути досягнута швидкість 100 Мбіт/с. У фіксованому виконанні швидкість може досягати 1 Гбіт/с.

Найбільший інтерес представляє використання технології MIMO в системах стільникового зв'язку. Дана технологія знаходить своє застосування, починаючи з третього покоління систем стільникового зв'язку. Наприклад, в стандарті UMTS, в Release 6 вона використовується спільно з технологією HSPA з підтримкою швидкостей до 20 Мбіт/с, а в Release 7 - з HSPA+, де швидкості передачі даних досягають 40 Мбіт/с. Однак в системах 3G MIMO вона так і не знайшла широкого застосування.

Системи 4G, а саме LTE, також передбачають використання MIMO в конфігурації до 8x8. Це в теорії може дати можливість передавати дані від базової станції до абонента понад 300 Мбіт/с.

Також важливим позитивним моментом є стійка якість з'єднання навіть на краю стільникових сот. При цьому навіть на значній відстані від базової станції або при знаходженні в глухому приміщенні буде спостерігатися лише незначне зниження швидкості передачі даних.

Таким чином, технологія MIMO застосовується практично у всіх системах бездротової передачі даних. Причому потенціал її не вичерпаний. Вже зараз розробляються нові варіанти конфігурації антен, аж до 64x64 MIMO. Це в майбутньому дозволить досягти ще більших швидкостей передачі даних, ємності мережі та спектральної ефективності.

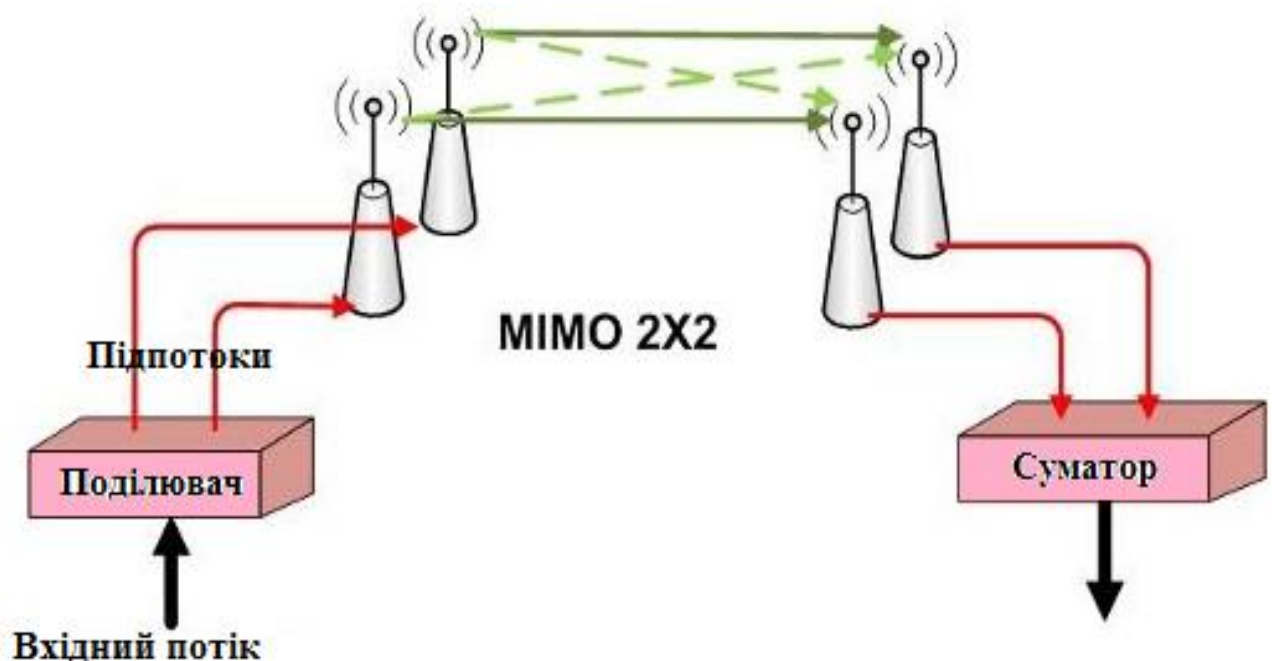


Рисунок 2.4. Принцип організації технології MIMO

1.2. Мережі п'ятого покоління, на якому етапі знаходяться та які нові можливості надаватимуть

29 березня 2015 року – шведська компанія Ericsson, виробник телекомунікаційного устаткування запускає дослідні проекти в області 5G на базі

двох європейських університетів. Компанія Ericsson починає дослідження по впровадженню технологій зв'язку п'ятого покоління з університетами King's College в Лондоні і Technische Universit в Дрездені.

В Лондоні буде створена обладнана сенсорами інтернет-лабораторія, де за допомогою програмного забезпечення будуть розроблятися, тестуватися і адаптуватися до реальних умов бездротові технології 5G. В лабораторії будуть створюватися прототипи і проводитися випробування на експериментальних майданчиках, розташованих в Лондоні та інших країнах світу.

У Дрездені була створена лабораторія 5G Lab Germany, яка буде працювати над технологіями, що забезпечують мінімальну затримку і високу надійність з'єднань. Технології особливо актуальні для самоврядних машин, управління розумними енергосистемами і забезпечення тактильного зв'язку при користуванні інтернетом. «Це дасть новий поштовх до розвитку розумних міст, інтернету речей і різних галузей у Великій Британії та Німеччині», - вважає глава Ericsson.

«Розвиток технологій зв'язку п'ятого покоління стане основою для створення цифрової економіки в найближчі два десятиліття», - сказав Вальтер Д'Авіно, який є віце-президент, глава напрямку аутсорсингу управління мережами компанії Ericsson.

Експерти прогнозують повноцінне розгортання перших 5G-мереж тільки в 2020 році, а ось масштабне впровадження новітніх мереж відбудеться не раніше 2025 року. Однак уже кілька світових телекомунікаційних операторів оголосили про свою готовність запустити 5G.

Зокрема, одним з таких став американський провайдер стільникового зв'язку Verizon. До слова, саме ця компанія спільно з південнокорейським гігантом Samsung розробила смартфон з підтримкою нових мереж - Samsung Galaxy S10 5G.

У Південній Кореї планують розгорнути нові технології до Олімпійських ігор 2020.

А ось в Німеччині в декількох районах Гамбурга вже встановили перші станції, які стануть ядром нової мережі. До слова тестування 5G там успішно завершилося в 2018 році. Серед країн, які перші можуть отримати доступ до мереж

п'ятого покоління може виявитися і Китай. Такі висновки випливають з великої кількості анонсів смартфонів з підтримкою 5G саме для китайського ринка.

Однак чекати швидкого приходу 5G в Україні не варто. Фахівці навіть не називають приблизних термінів появи технології на території нашої країни.

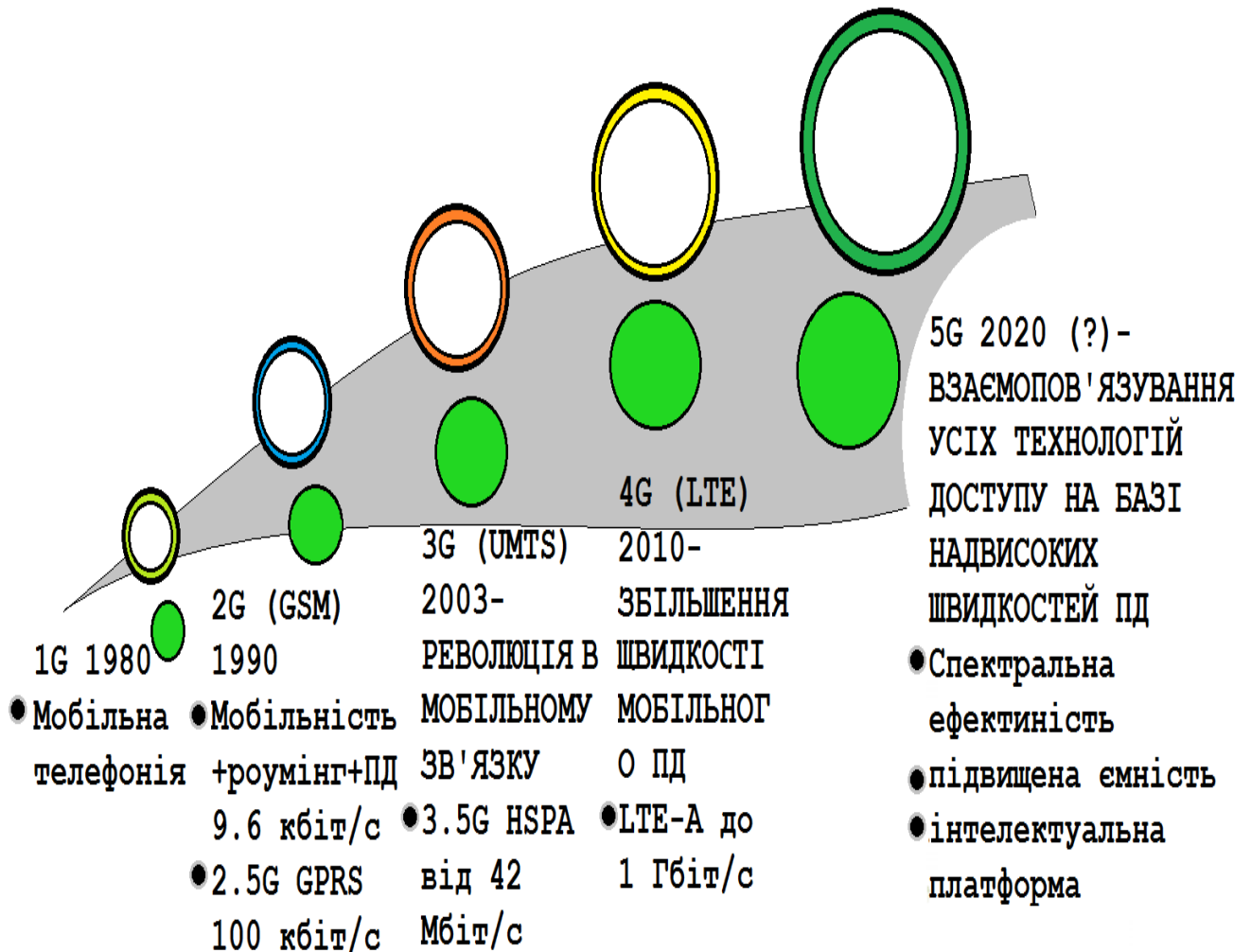


Рисунок 2.5. Формування мобільного зв'язку до 5G

У 1990-х роках почали розроблятися стандарт 3G, заснований на методі множинного доступу з кодовим поділом каналів (CDMA); він був впроваджений тільки в 2000-х роках (в Україні - в 2015 році). Ключовим фактором стала швидкість передачі даних, яка досягала 2 Мбіт/с. Приклад розвитку можна переглянути на рис. 2.5. Саме з цього часу швидкість стає головним двигуном зміни [Проживальський О. П. Технічні, нормативно-правові та економічні аспекти впровадження технологій мобільного зв'язку 4-го (4G) та 5-го (5G) покоління / О. П. Проживальський // Vodafone. – 2016. – С. 2.].

3G - це покоління зв'язку, яке об'єднує три стандарти - FOMA, UMTS і CDMA2000. Перший використовує Японія, два інших в рівних пропорціях розвиваються в США та Європі.

UMTS (альтернативна назва 3GSM) - стандарт, який був розроблений в Європі і є наступним етапом розвитку технологій GPRS / EDGE. По суті, це була нова надбудова в мережах GSM (які спочатку були створені в основному тільки для передачі голосу), що дозволила значно збільшити швидкість передачі даних.

А ось з CDMA2000 трапився цікавий казус. При тому факті, що він був сертифікований як 3G, швидкість з'єднання насилу обганяла GPRS і становила лише 100 кбіт/с (в першому поколінні).

Основною особливістю 3G-зв'язку стала можливість задіяти одночасно пакетну передачу цифрових даних і каналне підключення. Це означало, що з'явилася можливість говорити по телефону, не втрачаючи зв'язку з будь-яким сайтом. 2G подібної розкоші не дозволяло.

Мережі покоління 4G стали розроблятися в 2000 році і впроваджувалось в багатьох країнах з 2010 року (в Україні - 2018).

Четверте покоління зв'язку засноване на IP-протоколі, який об'єднав окремі комп'ютерні мережі у всесвітню мережу Інтернет з окремими IP-адресами. Саме IP (Internet Protocol) об'єднує сегменти мережі в єдину мережу, забезпечуючи доставку пакетів даних між будь-якими її вузлами.

Основною перевагою 4G стала швидкість, що перевищує показники 3G в 200-500 разів. Крім того, на відміну от попередника, мережі четвертого покоління не використовують канал для передачі голосу, а працюють тільки з цифровими даними. Це означає, що дзвінки переходять у формат VoIP, що в майбутньому може привести до відмирання класичної стільникового зв'язку на користь інтернет-телефонії.

Формат VoIP (англ. Voice over IP) має на увазі всі варіанти передачі голосу в мережі, в тому числі не мають ніякого відношення до телефонії і спілкування людей. Наприклад, технологія VoIP застосовується для передачі звуку в системах

відеоспостереження, оповіщення, при трансляції вебінарів, перегляді фільмів в режимі онлайн.

На даний момент сімейство 4G складається з двох стандартів - WiMAX і LTE.

Перший є еволюцією WiFi зі збільшеною площею покриття, а другий - черговим еволюційним втіленням GSM.

П'яте покоління мобільних мереж - 5G - обіцяє стати особливо проривним. Кажуть, саме завдяки йому безпілотні авто, віртуальна реальність і інтернет речі активно увійдуть в наше повсякденне життя. На даний момент технологія зв'язку п'ятого покоління активно тестується по всьому світу. Масовий запуск очікується в 2020 році.

Вимоги до мереж 5G:

- пропускна здатність мережі до 20 Гбіт/с по лінії "вниз" (тобто до абонента) і до 10 Гбіт/с у зворотному напрямку;
- підтримка одночасного підключення до 1 млн. пристроїв / км²;
- скорочення тривалості затримки на радіоінтерфейсі до 0,5 мс і до 4 мс для сервісів надширокопasmового мобільного зв'язку eMBB.

Технологія мобільного зв'язку 5G має наступні характеристики:

- підвищення пікової швидкості до 20 Гбіт/с по лінії вниз (тобто від базової станції до мобільного) і до 10 Гбіт/с у зворотному напрямку;
- зростання практичної швидкості на абонента до 100 Мбіт/с і більше;
- збільшення спектральної ефективності в мережах 5G в 2-5 разів, на лінії вниз: 30 біт/с / Гц, на лінії вгору - 15 біт/с / Гц;
- підвищення енергоефективності на 2 порядки. Це дозволить пристроям "Інтернет речей" працювати без підзарядки акумулятора протягом 10 років;
- збільшення швидкості пересування абонента до 500 км/год;
- збільшення загального числа підключених пристроїв до 1 млн. / км².

Китайська компанія Huawei і китайський оператор Zhejiang Mobile (філія China Mobile) завершили розгортання невеликої мережі 5G в місті Учжень (Wuzhen), Китай. Мережа 5G може забезпечити максимальну швидкість передачі

даних на одного користувача в 2,7 Гбіт/с. Ця смуга пропускання може підтримувати такі послуги, як прямі трансляції 8K, віртуальна реальність 8K (VR) і телемедицина для швидкої допомоги.



Рисунок 2.6. Компанія HUAWEI

Мережа використовує комплексні продукти Huawei 5G і використовує неавтономну архітектуру NSA (non-standalone architecture). NSA - стандарт 3GPP, але він повинен бути прив'язаний до базової мережі 4G. На відміну від автономної архітектури SA (Standalone architecture) 3GPP, яка буде застосовуватися до мереж 5G нового покоління.

Мережа Zhejiang Mobile використовує масиви активних антенних модулів AAU (Active Antenne Module) і терміналів з активними антенними модулями MIMO, що працюють в діапазоні C-band, серії 64T64R компанії Huawei рис. 2.6. AAU можуть бути розгорнуті в багаторежимних мережах і працювати в декількох частотних діапазонах. Крім того, AAU компактні і вимагають менше місця на майданчику.

Мережа 5G в місті Учжень складається з декількох десятків базових станцій в різних місцях установки, таких як дах, стовпи й щогли, наприклад, лінії електропередач, а також різні вуличні ліхтарі та світильники.

Вендор і оператор також провели серію випробувань і перевірок в рамках підготовки до створення великомасштабної мережі 5G. Випробування підтвердили пропускну здатність в сотах і швидкості передачі даних, які були заявлені.



Рисунок 2.7. Американський лідер в розробці 5G-технологій

В жовтні 2019 року американський оператор Verizon рис.2.7. запустив фіксовану бездротову послугу 5G Home в чотирьох містах США. Компанія позначила її як першу комерційну послугу 5G. Проте, в цій послугі використовується власний стандарт, розроблений технічним форумом Verizon 5G Tech Forum, який не відповідає вимогам 3GPP [Варукіна Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE и предпосылках объединения операторов [Електронний ресурс] / Л. Варукіна // URL: http://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf (дата звернення: 20.10.2019)].

Мережа оператора Zhejiang Mobile може стати першою стандартизованою мережею 3GPP 5G. Але мережа здається маленькою, всього лише з «десятками сайтів», що може помістити її в категорію випробувань. Повідомляється, що оператор AT & T вже через деякий час запустить комерційну мобільну мережу 5G з використанням специфікацій 3GPP, що охоплює 12 міст і районів в США.

Для порівняння: зараз максимальна швидкість 4G у абонентів рідко перевищує 100 Мб/с. Велика пропускна здатність мережі буде потрібною для прямих трансляцій відео високої чіткості, роботи додатків віртуальної реальності, організації систем віддаленого навчання.

Ще 5G зменшує затримку сигналу до 1 мілісекунди. Нагадаємо, що зараз затримки можуть досягати 10 мілісекунд в мережах 4G і 100 мілісекунд в 3G. Поліпшення цього показника дозволить використовувати мобільне підключення навіть в тих ситуаціях, коли критично важливе значення має час відгуку.

Наприклад, для дистанційного керування сільгосптехнікою, промисловими роботами або безпілотними автомобілями.

Глобальне поширення мереж п'ятого покоління приведе, швидше за все, до поступової смерті Wi-Fi. Ваш смартфон, планшет або ноутбук завжди і всюди будуть мати доступ до інтернету, незалежно від того, є поруч роутер чи ні.

У чому головні відмінності 5G від існуючих стандартів?

Впровадження п'ятого покоління мобільних мереж обіцяє стати революційним проривом в галузі зв'язку за рахунок наступних нововведень:

- масивні MIMO. Ця технологія передбачає використання декількох антен на приймання. В результаті швидкість передачі даних і якість сигналу зросте пропорційно кількості антен за рахунок рознесеного прийому;
- нові діапазони. Сьогодні мережі LTE займають частоти нижче 3,5 ГГц. Стандарти 5G мають на увазі використання більш високочастотних діапазонів. Це дозволить позбутися від перешкод, однак змусить збільшити потужність передавачів і більш щільно розміщувати базові станції;

- network slicing (нарізка мережі). Ця технологія дозволяє мобільним операторам розгортати логічно ізольовані мережі, кожна з яких буде виділена під певні потреби, наприклад для інтернет речей, широкосмугового доступу, трансляції відео і так далі. Таким чином мобільна мережа нового покоління зможе бути більш гнучкою та підлаштовуватися під різні застосування.
- D2D (Device-to-device). Пристрої, що знаходяться неподалік один від одного, зможуть обмінюватися даними безпосередньо.

Стандарти 5G ще не дороблені, і самі передові послуги все ще знаходяться на передпродажній стадії. Фактично, користувачі не побачать будь-яких комерційних послуг 5G до 2019-2020 років, тому неможливо сказати остаточно, які швидкості будуть доступні.

Але більшість результатів тестування показують, що середня швидкість технології нового покоління буде становити приблизно 20 Гбіт/с. Американський оператор стільникового зв'язку Verizon показує, що технологія може досягти швидкості завантаження в 30-50 разів швидше, ніж 4G! Це дозволить користувачам завантажити повний фільм приблизно за 15 секунд проти 6 хвилин на 4G.

А інноваційний центр 5G в США домігся ще більш високих швидкостей - в тестових випробуваннях вони розігнали технологію до одного терабіта в секунду.

Це приблизно в 65 тисяч разів швидше, ніж звичайні швидкості 4G. Однак показник навряд чи буде відтворено в діючих загальнодоступних мережах.

У Росії ж рекорд швидкості 5G поки належить "Мегафону". У червні оператору вдалося домогтися передачі даних в мережі на швидкості 35 гігабіт на секунду. Випробування проводилися в лабораторних умовах на обладнанні Huawei. Базова станція працювала в режимі TDD в діапазоні 7 ГГц з шириною смуги 2 ГГц.

В яких країнах вже працює 5G інтернет [Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи [Електронний ресурс] // URL: <http://1234g.ru/4g/lte/printsip-raboty-seti-lte/printsipy-postroeniya-i-funktsionirovaniya-setej-lte> (дата звернення: 14.11.2019)].

Країни, де на комерційній основі запустили 5G: США, Китай, Південна Корея, Великобританія і Німеччина.

3 квітня 2019 зусиллями південнокорейських компаній SK Telecom, KT і LG був випущений перший в світі 5G-телефон. А через два дні країна вперше в історії запустила комерційні послуги п'ятого покоління. Стандарт спочатку з'явився в найбільших містах, зокрема, в Сеулі, а до кінця 2019 року розширено до 85% міст.

Провайдери AT & T і Verizon вважаються лідерами по запуску 5G в США. У грудні 2018 року AT & T став першим оператором зв'язку в США, який запустив засновану на стандартах мобільну мережу 5G, яка обслуговує десятки міст, хоча і без пристроїв з підтримкою 5G.

У березні 2019 року Verizon включив засновану на стандартах мережу 5G в Міннеаполісі і Чикаго, також до появи мобільних пристроїв 5G.

Крім того, 16 травня 2019 року Verizon почав продавати смартфон Samsung Galaxy S10 5G. Провайдер стверджує, що до кінця 2019 року його буде мати 5G в 30 містах. Станом на серпень 2019 року AT & T розгорнув 5G в 21 місті США, сподіваючись розширити список до 30 штатів до кінця року.

Великобританія також знаходиться в переліку країн з доступом до 5G. Протягом 2019 року провайдери EE, Vodafone UK, Three UK і O2 UK почали комерційне розгортання мережі нового покоління в Великобританії. Ці оператори використовують обладнання від Ericsson, Nokia і Huawei. Three UK оголосила про надання необмеженої послуги передачі даних без обмеження швидкості і будь-яких додаткових витрат. Щоб прискорити розгортання активного обладнання 5G.

Vodafone UK уклала угоду з O2 UK про спільне використання обладнання, яке можна побачити з допомогою радіоантен на спільних мережевих майданчиках.

Німеччина замикає наш список країн з доступним на комерційній основі 5G. У 2019 Vodafone Germany і Deutsche Telekom Germany запустили послуги 5G в декількох містах. Vodafone Germany стартувала з 20 міст і муніципалітетів (включаючи Кельн і Дюссельдорф), в той час як Deutsche Telekom Germany стартувала тільки в шести (але включаючи Берлін і Мюнхен).

Близькі до появи комерційного 5G-інтернету і в Швейцарії. Мета місцевого оператора Swisscom полягає в тому, щоб зробити Швейцарію країною 5G із загальнонаціональною незалежною мережею 5G New Radio (NR), створеної до кінця 2019 року. Служба буде працювати в смузі 3,5 ГГц. Оператор готує запуск своєї мережі разом з продажем 5G-сумісних смартфонів і підписок. Не відстають і скандинавські країни. У 2018 року Данія, Фінляндія, Ісландія, Норвегія і Швеція почали унікальний шлях до того, щоб стати країнами з 5G, підписавши спільну угоду. Її мета полягає в тому, щоб створити єдиний підхід до розгортання 5G в кожній країні і забезпечити об'єднану мережу по всьому регіону. Для цього вони домовилися про заохочення нових засобів тестування, координації смуг частот 5G в різних країнах, усунення перешкод для розгортання інфраструктури і відстеження розвитку в таких областях, як транспорт і передова автоматизація.

1.3. Сприйняття та стабілізація мережі LTE та порівняння з мережею WiMAX

Часто стандарт LTE вважають конкурентом WiMAX, хоча багато операторів вважають LTE більш перспективним і довготривалим стандартом із вищим потенціалом розвитку. Це також залежить від конкуренції виробників обладнання.

Бажання прискорити служби мобільного або інтернет-зв'язку ніколи не закінчується, і для задоволення потреб користувачів з широким спектром можливостей і переваг набагато більших, ніж у існуючих, постачальники широкосмужової мережі повинні виявляти технології LTE в своїх мережах.

Через це провайдери повинні змінити або повністю модернізувати свою мережеву інфраструктуру, щоб класифікувати цю технологію як 4G. Тому ми можна сказати, що причиною розвитку цієї технології є накопичення нескінченного апетиту користувачів мобільних технологій.

Особливості:

- він досягає максимальної вхідної швидкості 326,4 Мбіт/с і вихідної 86,4 Мбіт/с. Однак фактична пропускна здатність мережі, доступна окремому

абоненту LTE, який розділяє мережу постачальника послуг з іншими клієнтами, значно менше. Він використовує 4×4 антени в разі вхідного сигналу, але одну антену для швидкості вихідного;

- пікові швидкості передачі даних підтримуються п'ятьма різними термінальними класами, які визначаються від голосового централізованого класу до терміналу високого рівня, і вони дозволяють терміналам обробляти смугу пропускання 20 МГц;
- за низькою ціною він надає набагато кращі послуги;
- він гнучкий у використанні існуючої смуги частот так само як і нової;
- він також дозволяє використовувати тільки споживану потужність терміналу.

Одним з ключових параметрів, пов'язаних з використанням OFDM в LTE, є вибір смуги пропускання. Доступна смуга пропускання впливає на безліч рішень, включаючи кількість несучих, які можуть бути розміщені в сигналі OFDM, і в свою чергу це впливає на елементи, включаючи довжину символів і так далі.

LTE визначає кількість смуг пропускання каналу. Очевидно, чим більше смуга пропускання, тим більше пропускна здатність каналу.

Смугами пропускної здатності каналу, які були обрані для LTE, є: 1,4 МГц 3 МГц 5 МГц 10 МГц 15 МГц 20 МГц. На додаток до цього інтервал між несучими становить 15 кГц, тобто несучі LTE рознесені на 15 кГц один від одного. Кожна несуча здатна переносити дані з максимальною швидкістю 15 кбіт/с. Це дає смугу пропускання 20 МГц з частотою символів 18 Мбіт/с. У свою чергу, це дозволяє забезпечити швидкість передачі даних 108 Мбіт/с, оскільки кожен символ з використанням 64QAM здатний представляти шість біт. Може здатися, що ці тарифи не збігаються з даними заголовка, зазначеними в специфікаціях LTE.

Причина цього полягає в тому, що фактичні пікові швидкості передачі даних виробляються шляхом першого вирахування службових даних кодування і управління. Тоді є вигоди від таких елементів, як просторове мультиплексування.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) - стандартна технологія бездротового зв'язку для забезпечення високошвидкісного

широкопasmового підключення на великі відстані для внутрішніх і комерційних цілей. Він працює за принципом методу модуляції ортогонального частотного поділу OFDM.

Це технологія бездротового мобільного доступу 4-го покоління. Принцип роботи WiMAX аналогічний принципу Wi-Fi. Комп'ютер або ноутбук, оснащені WiMAX, отримуватимуть дані від передавальної станції, використовуючи зашифровані ключі даних [Как MIMO антенны увеличивают скорость 4G LTE в 2.5 раза? [Електронний ресурс] // URL: <https://ukrn.com.ua/news/kak-mimo-antenny-uvlichivaut-skorost-4g-lte-internet/> (дата звернення: 20.11.2019)].

Система WiMAX складається з вишки (базової станції) і приймача WiMAX. Базова станція може забезпечити покриття великої площі, в той час як приймач WiMAX може бути ноутбуком або PCMCIA картою, який приймає сигнали від БС. Станція на вишці може бути підключена безпосередньо до Інтернету з використанням високошвидкісної смуги пропускання, дротову мережу або іншої базової станції з WiMAX.

Радіус дії WiMAX забезпечує зв'язок як при прямій видимості, так і поза нею. Для зв'язку з прямою видимістю, за допомогою сильних антен, можлива зона покриття до 9300 квадратних кілометрів. Нелінійний зв'язок з перешкодами подібний Wi-Fi-з'єднанню і охоплює радіус близько 50 км.

Діапазон робочої частоти. Вищий частотний діапазон був встановлений вихідним стандартом 802.16a, тоді як нижній частотний діапазон був встановлений пізніше стандартом 802.16d, що дозволяє зменшити затухання і поліпшити характеристики. У той час як діапазон частот від 2,5 до 3,5 ГГц ліцензується, частотний спектр 5,8 ГГц не має ліцензії. Якщо порівнювати, Wi-Fi працює в неліцензованих діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц.

Пропускна здатність каналу Мережі WiMAX мають діапазон ширини смуги частот від 1,25 МГц до 20 МГц, тоді як мережі Wi-Fi мають фіксовану смугу пропускання каналу 20 МГц. Тип зв'язку WiMAX підтримує повнодуплексний зв'язок з 256 FFT OFDM (модуляція з ортогональним частотним поділом) поряд з однією несучою і 2048 FFT OFDM-технологією. З іншого боку, Wi-Fi підтримує

напівдуплексний зв'язок з 52 технологією OFDM OFDM. WiMAX-спектр належить WiMAX Spectrum Owners Alliance (WiSOA), який відповідає за регулювання, комерціалізацію і розгортання спектра WiMAX в діапазонах від 2,3 до 2,5 ГГц і від 3,4 до 3,5 ГГц.

Стандарт WiMAX сертифікований форумом WiMAX, який є галузевою некомерційною організацією для просування і сертифікації IEEE 802.16 сумісних широкосмугових бездротових продуктів.

Безпека WiMAX полягає в тому, що використовуються методи шифрування, такі як алгоритм шифрування даних і розширені стандарти шифрування.

WiMAX використовує протоколи безпеки, такі як протокол управління ключами секретності 2 (PKMP2), протокол розширення аутентифікації (EAP) і стандарт розширеного шифрування (EAS). Ці протоколи забезпечують захист якості обслуговування (QoS) як аудіо, так і відеопотоків. Ця функція дозволяє постачальникам послуг управляти мережевим трафіком на основі угоди з абонентом і стягувати додаткову плату за захист якості обслуговування (QoS).

Fixed WIMAX працює в режимі від 6 до 66 ГГц. Недоліки: вимагає прямої видимості базової станції (для стаціонарних)

NomadicWiMax (для портативних, ноутбуків) сеансовий доступ дозволяє вільно переміщати клієнтське обладнання між сеансами і відновлює з'єднання з мережею провайдера і з локальною мережею за допомогою інших вишок WiMax.

PortableWiMax додає можливість клієнтського приймача автоматичного перемикавання з однієї базової станції на іншу без втрати з'єднання. Обмеження на швидкість пересування приймача до 40 км/год

MobileWiMax має швидкість переміщення клієнтського приймача до 120 км/год.

- 1) Використання надвисоких частот шкідливих для людини.
- 2) В малонаселених районах відсутність потенційного числа користувачів.
- 3) Занадто швидкий розвиток стандарту
- 4) Наявність конкурентних технологій

Fixed WiMAX - фіксований доступ. Стандарт використовує діапазон частот 10-66 ГГц. Цей частотний діапазон через сильний загасання коротких хвиль вимагає прямої видимості між передавачем і приймачем сигналу. З іншого боку, даний частотний діапазон дозволяє уникнути однієї з головних проблем радіозв'язку - багатопроменевого поширення сигналу. При цьому ширина каналів зв'язку в цьому частотному діапазоні досить велика (типове значення - 25 або 28 МГц), що дозволяє досягати швидкостей передачі до 120 Мбіт / с.

Nomadic WiMAX. Сеансовий (мандрівний) доступ додав поняття сесій до вже існуючого Fixed WiMAX. Наявність сесій дозволяє вільно переміщати клієнтське обладнання між сесіями і відновлювати з'єднання вже за допомогою інших вишок WiMAX, ніж тих, що були використані під час попередньої сесії. Такий режим розроблений в основному для портативних пристроїв, таких, як ноутбуки, КПК. Введення сесій дозволяє також зменшити витрату енергії клієнтського пристрою, що теж важливо для портативних пристроїв.

Portable WiMAX. Для режиму Portable WiMAX рис. 2.7. додана можливість автоматичного перемикавання клієнта від однієї базової станції WiMAX до іншої без втрати з'єднання. Однак для цього режиму все ще обмежена швидкість пересування клієнтського обладнання - 40 км/год. Втім, вже в такому вигляді можна використовувати клієнтські пристрої в дорозі (в автомобілі під час руху по житловим районам міста, де швидкість обмежена, на велосипеді, рухаючись пішки, тощо). Введення даного режиму зробило доцільним використання технології WiMAX для смартфонів і кишенькових персональних комп'ютерів.

Mobile WiMAX дозволив збільшити швидкість переміщення клієнтського обладнання до більше 120 км / год



Рисунок 2.7. LTE чи WiMax

Зведемо переваги двох технологій до таблиці.

Таблиця 1.1.

Переваги та недоліки технології LTE

LTE	
Переваги	Недоліки
Виробляє великий обсяг продукції	Коли виникають витрати на створення нової мережевої інфраструктури, їх модернізацію та встановлення нового обладнання, виникають недоліки. Для цієї мети LTE задіює технологію MIMO, яка для передачі даних підвищує необхідність використання додаткових антен. Щоб випробувати нову мережеву інфраструктуру, користувачі мережі повинні купувати нові мобільні телефони.

Продовження таблиці 1.1.

Переваги та недоліки технології LTE

Має низьку передбачуваність plug and play	Наявність конкурентних технологій
FDD і TDD знаходиться на одній платформі	
В порівнянні з іншими, має набагато кращі можливості для кінцевих користувачів	
Має простий структурний дизайн	
Підтримує плавне перемикання з стільникових вишок з використанням попередніх мережевих технологій, таких як GSM, UMTS і CDMA2000	

Таблиця 1.2.

Переваги та недоліки технології WIMAX

WIMAX	
Переваги	Недоліки
Відносно швидке розгортання інфраструктури, смуга пропускання (в теорії) може досягати 280 Мбіт / с, відстань до клієнтського обладнання (в теорії) може доходити до 30 миль, не потрібно ліцензування (в США), єдиний стандарт гарантує сумісність обладнання від різних виробників	Погодні умови та інші бездротові системи можуть перешкодити нормальному функціонуванню радіодоступу, для роботи можуть бути використані абсолютно різні діапазони частот

Продовження таблиці 1.2.

Переваги та недоліки технології WIMAX

Технологія Time Division Duplex (TDD), яка дозволяє ефективно обробляти асиметричний трафік і спрощує управління складними системами антен за рахунок естафетної передачі сесії між каналами	Використання надвисоких частот, шкідливих для людини
Стійкість до багатопроменевого розповсюдження сигналу і власних перешкод	Наявність конкурентних технологій
Забезпечення зв'язком сотень користувачів за допомогою однієї базової станції	Занадто швидкий розвиток стандарту
	Відсутність потенційних користувачів в малонаселених районах
	Вимагає прямої видимості базової станції (для стаціонарних)
	Швидкість передачі даних швидко падає зі збільшенням відстані між базовою станцією і клієнтським обладнанням
	Апаратура вимоглива до електроживлення і споживає досить велику потужність

1.4. Висновки з розділу 2

Технологія MIMO 2*2 в мережі 4G LTE грає одну з важливих ролей у забезпеченні високих швидкостей передачі даних

Хвилі, що випромінюються різними системами бездротового радіозв'язку в діапазоні понад 100 МГц, багато в чому поведуться як світлові промені. Коли радіохвилі при поширенні зустрічають будь-яку поверхню, то в залежності від матеріалу і розміру перешкоди частина енергії поглинається, частина проходить наскрізь, а решта - відбивається

Розглянуто технології бездротової передачі даних LTE та WIMAX, де можна зробити висновок, що технологія WIMAX попри низку своїх недоліків є конкурентноспроможною для технології LTE.

Експерти прогнозують повноцінне розгортання перших 5G-мереж тільки в 2020 році, а ось масштабне впровадження новітніх мереж відбудеться не раніше 2025 року. Однак уже кілька світових телекомунікаційних операторів оголосили про свою готовність запустити 5G [Ericsson розробляє безпроводні технології 5G [Електронний ресурс] // URL: <https://ubr.ua/ukraine-and-world/technology/ericsson-razrabatyvaet-besprovodnye-tehnologii-5g-333430> (дата звернення: 25.11.2019)].

Ще 5G зменшує затримку сигналу до 1 мілісекунди. Нагадаємо, що зараз затримки можуть досягати 10 мілісекунд в мережах 4G і 100 мілісекунд в 3G. Поліпшення цього показника дозволить використовувати мобільне підключення навіть в тих ситуаціях, коли критично важливе значення має час відгуку.

Наприклад, для дистанційного керування сільгосптехнікою, промисловими роботами або безпілотними автомобілями.

Глобальне поширення мереж п'ятого покоління приведе, швидше за все, до поступової смерті Wi-Fi. Ваш смартфон, планшет або ноутбук завжди і всюди будуть мати доступ до інтернету, незалежно від того, є поруч роутер чи ні.

3. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗДРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЛЮДИНУ. ТЕСТУВАННЯ АНТЕНИ МІМО

1.1.Негативні та позитивні сторони впливу мереж швидкого бездротового доступу



Рисунок 3.1. Радіохвилі впливають на організм людини

Оскільки базові станції будь-якої мережі встановлюються саме в тих місцях, де розраховано потенційну робочу силу, то це місце може бути будь-де, в основному це міські забудови, де чисельність жителів найбільша. Очевидно, що елементи базових станцій потребують електроживлення, а оскільки в результаті підключення силових ліній утворюється електромагнітне поле, то ми отримуємо потенційний удар від електромагнітних полів рис. 3.1.

У наш час постійно людина піддається впливу електромагнітного поля. Надмірна дія ЕМП завдає шкоди людському організму. Потрібно знати як захистити себе і людей від нього. Вплив ЕМП на організм залежить від таких фізичних параметрів як довжина хвилі, інтенсивність випромінювання, режим випромінювання - безперервний і переривчастий, а також від тривалості впливу на організм, комбінованої дії інших виробничих факторів (підвищена температура повітря, наявність рентгенівського випромінювання, шуму тощо), які здатні змінити можливість опору організму на дію ЕМП.

Характер впливу на людину електромагнітного випромінювання в будь-яких діапазонах відрізняється один від іншого, в зв'язку з чим значно відрізняються і вимоги до нормування різних діапазонів випромінювання.

Спектр електромагнітних полів розділений на частотні діапазони:

- постійні електростатичні поля, обумовлені утворенням електричних зарядів;
- електромагнітні поля промислової частоти 50 Гц (герц);
- електромагнітні поля в діапазоні частот 10 - 30 кГц (кілогерц);
- електромагнітні поля в діапазоні частот 30 кГц - 300 ГГц (гігагерц).

Вивчення біологічної дії радіохвиль від штучних джерел було розпочато тільки після того, як радіотехніка досягла певного рівня розвитку. Це відноситься до 30-м рр. ХХ ст. Перші ж експериментальні дослідження біологічної дії радіохвиль були виконані вітчизняним ученим В.Я. Данилевським через п'ять років після винаходу А. С. Поповим радіо.

В даний час доведено, що поглинена організмом електрична енергія може викликати як термічне, так і специфічне біологічну дію. Інтенсивність останнього наростає зі збільшенням потужності і тривалості дії ЕМП.

При впливі струмів високої (ТВЧ) і надвисокої (НВЧ) частот відзначається накопичення біологічного ефекту, в результаті чого виникають функціональні зміни нервової і серцево-судинної систем, порушення в організмі під дією різних діапазонів. Вплив радіохвиль малої інтенсивності мають також неоднакову спрямованість.

Експериментально встановлено особлива чутливість нервової системи, потім міокарда, наявність дистрофічних змін в сім'яниках і відставання в розвитку тварин.

Отже, механізмами змін при дії на організм мікрохвиль є: безпосередній вплив на тканини, первинне зміна функціонального стану центральної нервової системи з порушенням нейрогуморальної регуляції, рефлекторні зміни з боку ряду органів і систем, в тому числі серцево-судинної.

Клінічна картина. Залежно від інтенсивності і тривалості впливу радіохвиль виділяють гострі та хронічні форми ураження організму.

Гостре ураження. Виникає тільки при аваріях або грубому порушенні техніки безпеки, коли працює виявляється в потужному ЕМП. Спостерігається температурна реакція (39-40 ° С); з'являються задишка, відчуття ломоти в руках і ногах, м'язова слабкість, головний біль, серцебиття.

Хронічний вплив. Провідне місце в клінічній картині захворювання займають функціональні порушення центральної нервової і серцево-судинної систем. Зміни нервової системи характеризуються наявністю астеничних, невротичних і вегетативних реакцій.

Найбільш часто хворі скаржаться на загальну слабкість, швидку стомлюваність, зниження працездатності, розлади сну, дратівливість, пітливість, головний біль невизначеної локалізації. Деяких турбують болі в області серця, задишка. Хворобливі явища в області серця частіше відчуються до кінця робочого дня, після нервового або фізичного напруження.

Окремі особи можуть пред'являти скарги на потемніння в очах, запаморочення, ослаблення пам'яті, уваги.

У серцево-судинній системі при дії радіохвиль відзначають функціональні порушення. Об'єктивне дослідження дозволяє виявити збільшення меж серця вліво, приглушення тонів; нерідко вислуховується систолічний шум на верхівці. Як правило, у таких хворих відзначаються брадикардія, артеріальна гіпотонія. Пульс і артеріальний тиск відрізняються нестійкістю, нерідко виявляється асиметрія

показників артеріального тиску, може спостерігатися тенденція і до артеріальної гіпертензії.

Порушення серцево-судинної системи у осіб, що піддаються впливу СВЧ, розвиваються головним чином на тлі функціональних розладів центральної нервової системи.

Порушення проявляються також на тлі функціональних розладів центральної нервової системи. Нерідко відзначаються зрушення у функціональному стані щитовидної залози в бік підвищення активності, причому клінічні ознаки, як правило, не виявляються. При виражених формах патології порушується діяльність статевих залоз. Є відомості про порушення функції шлунково-кишкового тракту і печінки. Можливі зміни функції синтезу білка і пігментів.

Вплив радіохвиль супроводжується змінами показників периферичної крові, причому нерідко відзначаються їх нестійкість, лабільність. Зрушення особливо часто спостерігаються при впливі коротких і ультракоротких хвиль. Є дані про підвищення вмісту холестерину і зниження кількості хлоридів, про порушення мінерального обміну.

Мікрохвилі при особливо несприятливих умовах праці надають шкідливу дію на очі, викликаючи помутніння кришталика - СВЧ-катаракту. Зміни можуть з часом прогресувати.

Міжнародний проект по ЕМП.



Рисунок 3.2. Всесвітня організація охорони здоров'я

У відповідь на зростаючу суспільну стурбованість у зв'язку з можливими несприятливими наслідками для здоров'я людини від впливу все зростаючої кількості різноманітних джерел ЕМП, в 1996 р Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рис. 3.2. приступила до реалізації великого мультидисциплінарного проекту з вивчення ЕМП. Міжнародний проект по ЕМП дозволяє узагальнити всі сучасні наукові знання і звести воедино ресурси провідних міжнародних і національних організацій і наукових установ.

Висновки наукових досліджень.

За останні 30 років опубліковано близько 25 тисяч статей з проблем біологічних ефектів і медичного застосування неіонізуючого випромінювання. Незважаючи на те, що деякі люди вважають, що слід і далі нарощувати наукові дослідження в цій області, на сьогоднішній день наукові знання в ній набагато ширше, ніж знання щодо більшості хімічних речовин. На основі недавно проведеного поглибленого огляду наукової літератури, ВООЗ дійшла висновку про те, що наявні фактичні дані не вказують на існування несприятливих наслідків для здоров'я від впливу електромагнітних полів низьких рівнів. Однак в знаннях про біологічні ефекти є певні прогалини, що викликає необхідність проведення подальших наукових досліджень.

Наслідки для загального стану здоров'я

Деякі представники громадськості пояснюють цілий ряд симптомів «розмитого» характеру тим, що в домашніх умовах ми піддаємося слабкому впливу електромагнітних полів. На сьогоднішній день немає науково обґрунтованих даних, що підтверджують наявність зв'язку між цими симптомами і впливом електромагнітних полів. Деякі з перерахованих проблем зі здоров'ям можуть виникати через шум або інших факторів навколишнього середовища, або через занепокоєння, що виникає в зв'язку з використанням нових технологій.

Базові станції мобільного зв'язку зазвичай встановлюють на даху будівель або веж, на висоті від 15 до 50 метрів рис. 3.3.



Рисунок 3.3. Приклад постановки базової станції

Рівні проходження сигналів від конкретної базової станції непостійні і залежать від кількості дзвінків і відстані, на якому той, хто телефонує абонент знаходиться від базової станції. Антени випромінюють дуже вузький пучок

радіохвиль, який далі поширюється майже паралельно землі. Тому радіочастотні поля на рівні землі і на територіях, зазвичай доступних для населення, у багато разів нижче рівнів, які становлять небезпеку.

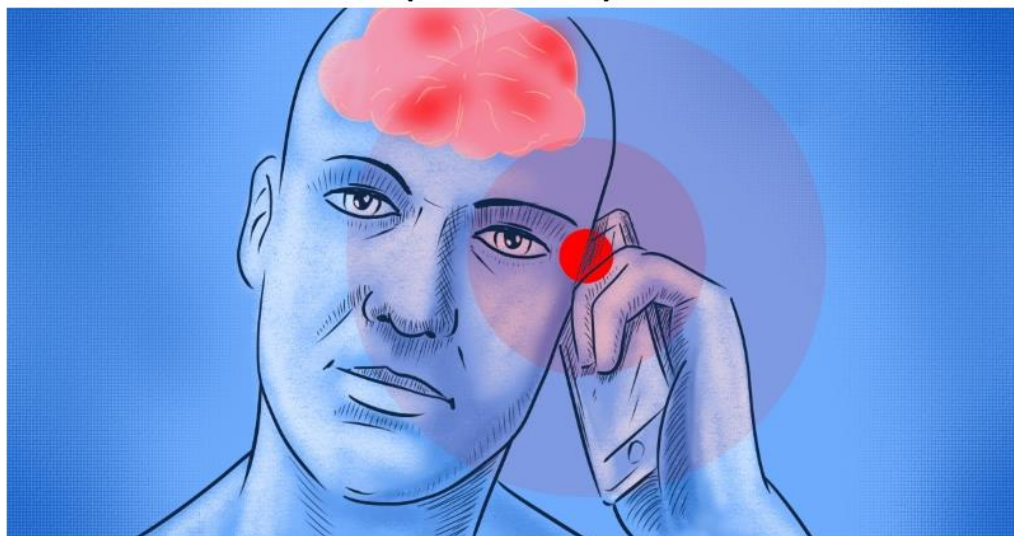
Рекомендовані граничні значення були б перевищені лише в тому випадку, якщо б людина опинилася прямо перед системою антен на відстані одного-двох метрів. До того, як мобільні телефони стали широко використовуватися, населення в основному зазнавало вплив радіочастотного випромінювання від радіо- і ТВ-станцій. Але і сьогодні, з появою мобільних телефонів, вежі, на яких розташовані базові станції мобільного зв'язку, самі по собі вкрай мало посилюють загальний вплив на наш організм, оскільки сила сигналів в місцях, доступних для населення, зазвичай така ж або навіть нижче, ніж сила сигналів від радіо- і ТВ-станцій, розташованих на значній відстані від цих місць.

Однак на самого користувача мобільного телефону впливають радіочастотні поля більш високого рівня, ніж ті, які зазвичай присутні в навколишньому середовищі. Розмовляючи по мобільному телефону, ми тримаємо його дуже близько до голови. Саме тому, замість того, щоб відстежувати ефект нагрівання тканин у всьому організмі, слід визначити розподіл поглиненої енергії в голові користувача телефону.

В результаті складного комп'ютерного моделювання і проведення оцінок з використанням моделей голови людини, зроблено висновок про те, що, по всій видимості, рівень енергії, поглиненої при використанні мобільного телефону, не перевищує встановлених на сьогодні порогових значень.

1. Центральна нервова система

2. Імунна сиситема



3. Ендокринна система

4. Статева система

Рисунок 3.4. Місця найбільшого впливу радіохвиль на організм людини

Є різні припущення щодо ледь помітних ефектів для клітин, які можуть вплинути на розвиток ракових захворювань. Також висловлюються гіпотези про можливі ефекти для тканин, дратує під впливом електрики, і про те, що це може вплинути на функцію мозку і нервових тканин. Проте, всі наявні на даний момент фактичні дані не підтверджують наявності будь-яких згубних наслідків для здоров'я людини від використання мобільних телефонів рис. 3.4.

Магнітні поля в повсякденному житті: чи дійсно вони такі сильні?

В останні роки національними органами влади різних країн були проведені численні оцінки для визначення рівнів ЕМП в середовищі існування людини. Жодне з цих обстежень не прийшло до висновку про те, що рівні полів можуть викликати несприятливі наслідки для здоров'я.

Нещодавно Федеральне відомство з радіаційного захисту (Німеччина) зробило оцінку повсякденного впливу магнітних полів із залученням до обстеження приблизно 2 000 чоловік. Оцінка проведена як по відношенню до представників ряду професій, так і звичайного населення. Всім учасникам обстеження були видані персональні дозиметри для вимірювання рівнів впливу 24 години на добу. Більш того, при дослідженні впливу полів на людей, що живуть в центральній частині міст, було виявлено, що, з точки зору впливу полів, немає суттєвої різниці між проживанням в сільській і міській місцевості. Навіть рівні впливу на людей, що живуть в безпосередній близькості від високовольтних ЛЕП, лише незначно відрізняються від середніх рівнів впливу на звичайне населення.

Поки діють обмеження щодо доступу населення безпосередньо до радарних установок, радіоантени і базових станцій мобільного зв'язку, встановлені граничні рівні впливу радіочастотних полів НЕ будуть перевищені.

Користувачі мобільних телефонів відчують вплив полів таких рівнів, які значно перевищують будь-які значення, що реєструються в звичайному середовищі проживання. Але, мабуть, навіть настільки високі рівні впливу не призводять до згубних наслідків для здоров'я.

Численні обстеження підтвердили, що вплив електромагнітних полів тих рівнів, які спостерігаються в середовищі проживання людини, дуже незначні.

Захист від електромагнітних випромінювань.

При взаємодії з тканинами тіла людини, викликають певні функціональні зміни. При інтенсивному опроміненні ці зміни можуть зробити шкідливий вплив на організм людини. Знання природи впливу електромагнітних хвиль на організм людини, норм допустимих опромінь, методів контролю інтенсивності випромінювань і засобів захисту від них є абсолютно необхідним для фахівців машинобудування в їх багатогранній практичній діяльності.

Дія електромагнітного випромінювання на організм людини в основному визначається поглиненою в ньому енергією. Відомо, що випромінювання, що потрапляє на тіло людини, частково відбивається і частково поглинається в ньому. Поглинена частина енергії електромагнітного поля перетворюється в, теплову

енергію. Ця частина випромінювання проходить через шкіру і поширюється в організмі людини в залежності від електричних властивостей тканин (абсолютної діелектричної проникності, абсолютної магнітної проникності, питомої провідності) і частоти коливань електромагнітного поля.

Істотні відмінності електричних властивостей шкіри, підшкірного жирового шару, м'язової та інших тканин зумовлюють складну картину розподілу енергії випромінювання в організмі людини. Точний розрахунок розподілу теплової енергії, що виділяється в організмі людини при опроміненні, практично неможливий. Проте, можна зробити наступний висновок: хвилі міліметрового діапазону поглинаються поверхневими шарами шкіри, сантиметрового - шкірою і підшкірної клітковиною, дециметрового - внутрішніми органами.

Крім теплової дії електромагнітні випромінювання викликають поляризацію молекул тканин тіла людини, переміщення іонів, резонанс макромолекул і біологічних структур, нервові реакції і інші ефекти.

Зі сказаного випливає, що при опроміненні людини електромагнітними хвилями в тканинах його організму відбуваються складні фізико-біологічні процеси, які можуть стати причиною порушення нормального функціонування як окремих органів, так і організму в цілому.

Люди, що працюють під надмірним електромагнітним випромінюванням, зазвичай швидко втомлюються, скаржаться на головні болі, загальну слабкість, болі в області серця. У них збільшується пітливість, підвищується дратівливість, стає тривожним сон. У окремих осіб при тривалому опроміненні з'являються судоми, спостерігається зниження пам'яті, відзначаються трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів і т. Д.).

Норми допустимого опромінення встановлюються для забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу джерел випромінювання і всіх оточуючих осіб.

Якщо опромінення людей перевищує зазначені гранично допустимі рівні, то необхідно застосовувати захисні засоби.

Захист людини від небезпечного впливу електромагнітного опромінення здійснюється рядом способів, основними з яких є: зменшення випромінювання безпосередньо від самого джерела, екранування джерела випромінювання, екранування робочого місця, поглинання електромагнітної енергії, застосування індивідуальних засобів захисту, організаційні заходи захисту.

Для реалізації цих способів застосовуються: екрани, поглинальні матеріали, атенюатори, еквівалентні навантаження і індивідуальні засоби.

Екрани призначені для ослаблення електромагнітного поля в напрямку поширення хвиль. Ступінь ослаблення залежить від конструкції екрана і параметрів випромінювання. Істотний вплив на ефективність захисту надає також матеріал, з якого виготовлений екран.

1.2. Тестування 4G LTE MIMO антен в реальних умовах

Минулої зими, фахівці технічного відділу Anteniti зробили кілька виїздів для тестування 4G LTE MIMO 2×2 антен. Тести проводилися в Київській області на різній відстані від базових станцій. Те, що в результаті отримали фахівці технічного відділу, здивувало всіх!

Такі результати стабільної роботи 4G LTE на території України говорять лише про одне - наш чекає великий стрибок у кількості інтернет рішень і кількості підключених до інтернету користувачів.

Результати тестування антен MIMO 2 × 2.

Технічні фахівці Компанії Anteniti провели ряд тестів MIMO антен в Київській області з різними точками геолокації.

Перше тестування проводилося в населеному пункті Плесецьке в зоні покриття 4G LTE, де базова станція перебувала в населеному пункті Глеваха, це 16,2 км., від точки тестування антен рис. 3.5.

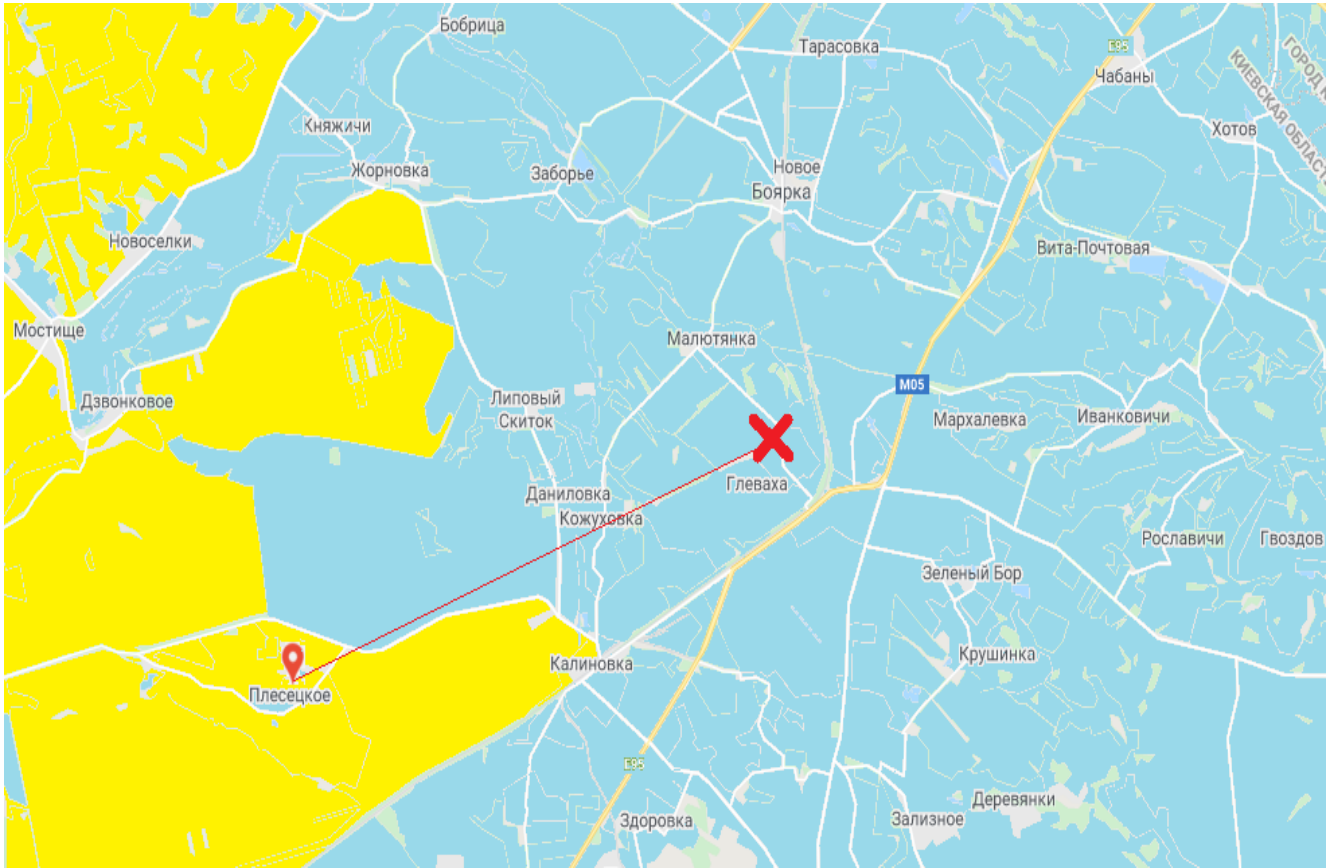


Рисунок 3.5. Карта 4G покрытия оператора Київстар

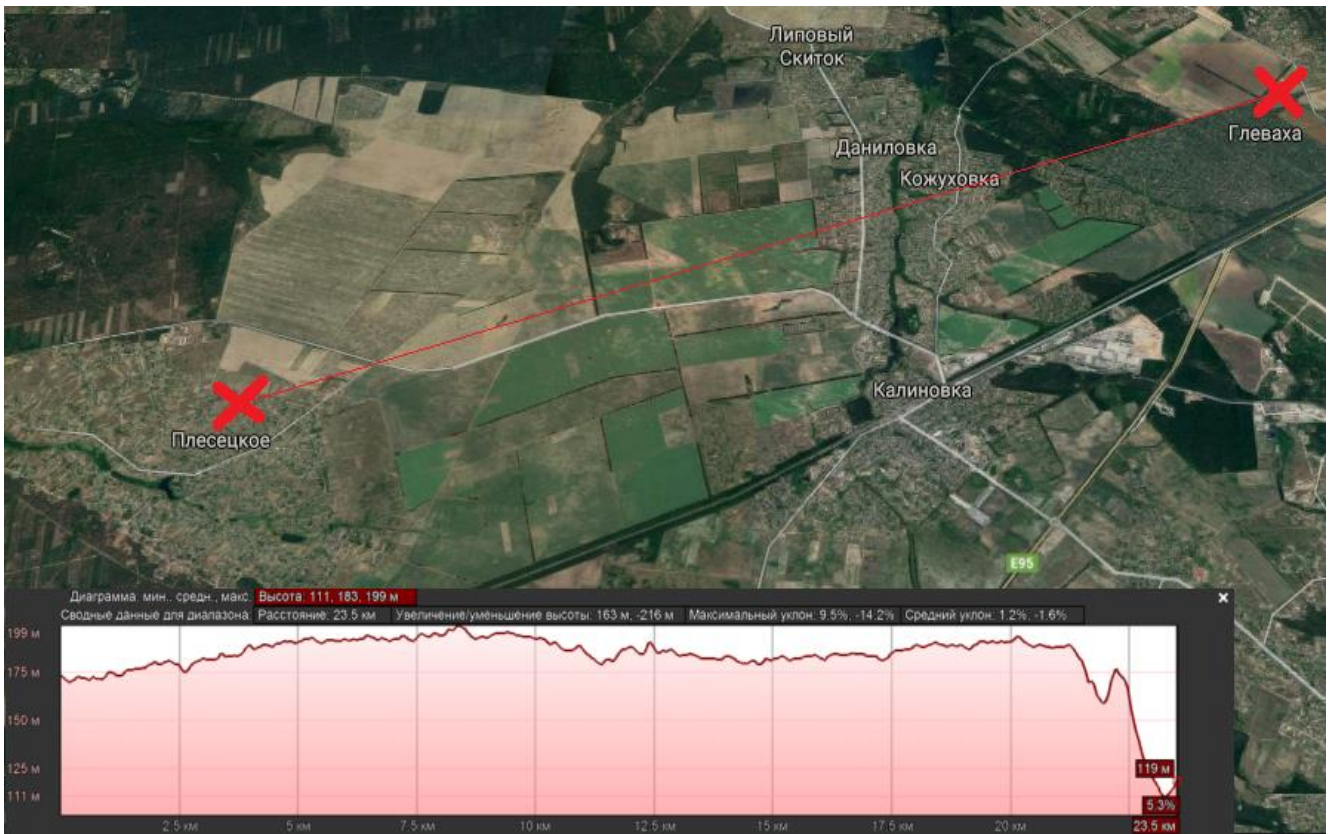


Рисунок 3.6. Рельеф прямой видимости точки на базовую станцию 4G

Тестування антен проводилося с роутером Huawei e5186 і програмної утилітою Huawei Toolbox рис. 3.6. Отримані заміри на рис. 3.7.

Результати Speedtest

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×24 dbi (Logo 4G LTE)

	Huawei e5186	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
	3 антеною MIMO			
	38	14,34	0,24	
	37	13,62	0,14	
	39	15,12	0,18	

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×24 dbi White

	Huawei e5186	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
	3 антеною MIMO			
	40	13,78	0,15	
	38	14,24	0,11	
	39	13,25	0,13	

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×20 dbi

	Huawei e5186	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
	3 антеною MIMO			
	34	12,34	0,87	
	35	12,81	0,92	
	34	13,01	0,86	

Рисунок 3.7. Результати тестів

Другий тест проводився на околиці міста Кагарлик, в зоні покриття 2G / 3G де покриття 4G LTE відсутня, найближча зона покриття 4G LTE на мапі оператора Київстар перебувала в населеному пункті Новосілки, а сама базова станція перебувала в населеному пункті Гусачевка, це 23,5 км від точки тестування антен рис. 3.8.

На даній відстані завдяки ідеальному рельєфу і відкритій місцевості без лісу і забудови з щоглою 10 м. Вдалося зловити сигнал 4G LTE рис.3.9.

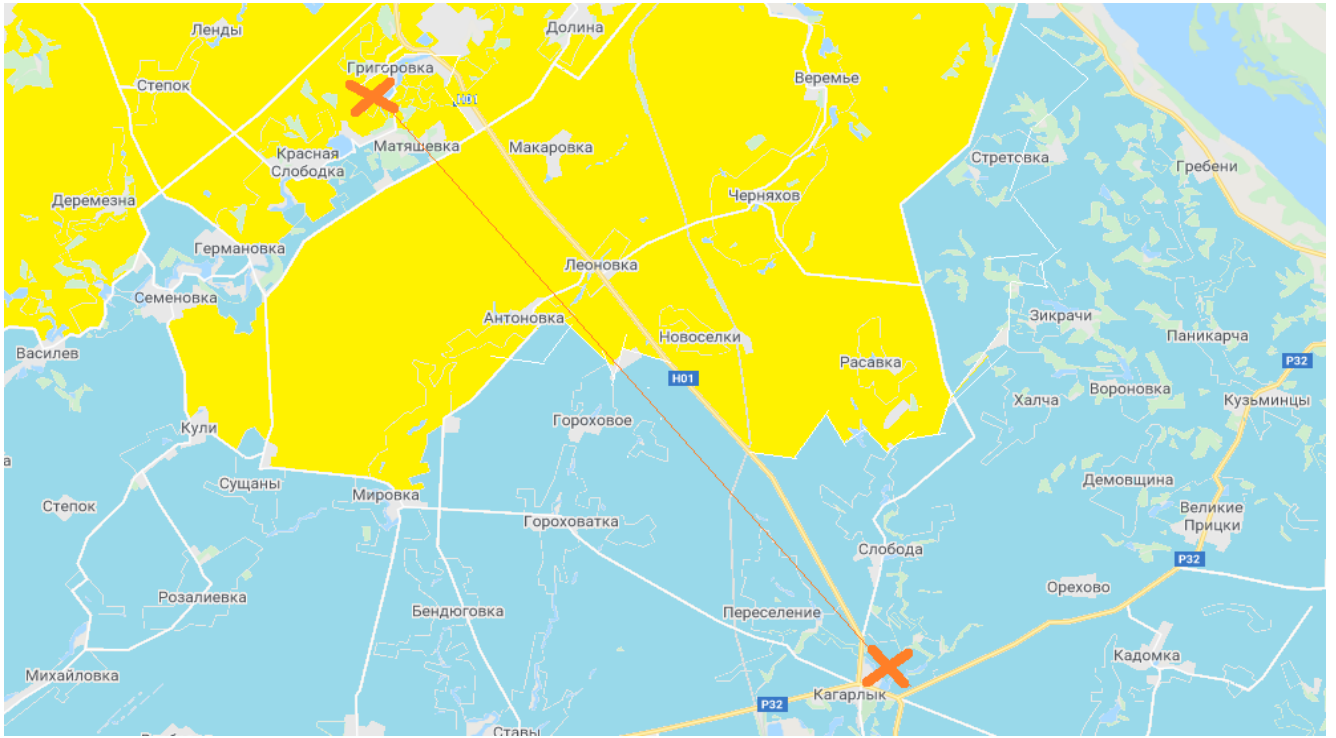


Рисунок 3.8. Карта 4G покриття Київстар



Рисунок 3.9. Рельєф прямої видимості нашої точки на базову станцію 4G LTE

Тестування антен проводилося с роутером Huawei e5186 і програмної утилітою Huawei Toolbox рис. 3.10.

Результати Speedtest

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×24 dbi (Logo 4G LTE)

	Huawei e5186 	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
		3 антеною MIMO		
		20	30,17	0,88
		22	32,79	0,90
		18	30,71	0,64

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×24 dbi White

	Huawei e5186 	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
		3 антеною MIMO		
		21	30,27	0,74
		22	31,16	0,58
		20	30,67	0,94

Планшетна антена ANTENITI 4G LTE MIMO 2×20 dbi

	Huawei e5186 	Без антени		
		Ping	Download	Upload
		-	-	-
		3 антеною MIMO		
		27	24,39	0,54
		30	22,04	0,61
		27	21,92	0,64

Рисунок 3.10. Результати другого тесту

Висновок: тестування проводилося поза зоною покриття сигналу 4G (LTE), (RSSI -112 dbi). В радіусі до базових станцій, 16,2 / 23,5 км. з різними умовами рельєфу, частота базових станцій 1800 МГц.

Щоб зловити сигнал 4G LTE, отримати приріст швидкості в 2,5 рази як по результатм тесту, необхідно виконати всі дії що описані вище.

Перерахуємо коротко по пунктах:

- Визначити у якого з трьох операторів краще покриття в зоні інсталяції обладнання.
- Визначити місце знаходження базової станції, розрахувати відстані, переглянути рельєф.
- Зібрати і встановити антену.
- За допомогою програмного забезпечення налаштувати антену.
- Зробити спідтест і подивитися приріст швидкості.

MIMO 2×2 антени є незамінним атрибутом будь-4G LTE мережі, будь то офіс або будинок, з MIMO антеною ви отримуєте нижчий пінг і більш високі швидкості передачі даних. Стабільність інтернет каналу з MIMO антеною незаперечно краще, що ще більше покращує вашу мережу від збоїв.

Переваги антен MIMO 2×2 :

Якість переданого сигналу і швидкість передачі даних стає краще. Тому що технологія спочатку кодує дані, а потім на приймальній стороні відновлює їх.

Більш ніж в два рази збільшується швидкість трансляції сигналу.

Наявність всередині антени двох випромінюючих систем з горизонтальною і вертикальною поляризацією, дозволяє працювати в режимі MIMO 2×2 .

Активні випромінювачі антени надійно укриті від опадів у пластиковий корпус захищений від ультрафіолету.

Входи антени мають коротке замикання по постійному струму між зовнішнім і внутрішнім провідниками, що знижує ймовірність накопичення статичної електрики на вході модему / роутера і робить необов'язковим застосування блискавковідників.

Кріплення дозволяє закріпити антену на вертикальній трубі, передбачено регулювання кута нахилу антени і плавну зміну нахилу поляризації.

Таким чином можна зрозуміти, що ж таке MIMO технологія?

Розшифровується ця аббревіатура, як «Multiple Input Multiple Output», що в перекладі означає: «Множинний вхід Множинний вихід». Суть технології така:

методом просторового кодування сигналу збільшується смуга пропускання каналу, в якому передача даних відбувається через деякий число антен. Простими словами: відбувається розширення сигналу за рахунок збільшення кількості паралельних антен.

1.3. Висновки з розділу 3

Характер впливу на людину електромагнітного випромінювання в будь-яких діапазонах відрізняється один від іншого, в зв'язку з чим значно відрізняються і вимоги до нормування різних діапазонів випромінювання.

У відповідь на зростаючу суспільну стурбованість у зв'язку з можливими несприятливими наслідками для здоров'я людини від впливу все зростаючої кількості різноманітних джерел ЕМП, в 1996 р Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) приступила до реалізації великого мультидисциплінарного проекту з вивчення ЕМП. Міжнародний проект по ЕМП дозволяє узагальнити всі сучасні наукові знання і звести воедино ресурси провідних міжнародних і національних організацій і наукових установ.

Люди, що працюють під надмірним електромагнітним випромінюванням, зазвичай швидко втомлюються, скаржаться на головні болі, загальну слабкість, болі в області серця. У них збільшується пітливість, підвищується дратівливість, стає тривожним сон. У окремих осіб при тривалому опроміненні з'являються судоми, спостерігається зниження пам'яті.

Також було досліджено проведені тести 4G LTE MIMO 2×2 антен. Тести проводилися в Київській області на різній відстані від базових станцій. Те, що в результаті отримали фахівці технічного відділу, здивувало всіх!

MIMO 2 × 2 антени є незамінним атрибутом будь-якої 4G LTE мережі, будь то офіс або будинок, з MIMO антеною ви отримуєте нижчий пінг і більш високі швидкості передачі даних. Стабільність інтернет каналу з MIMO антеною незаперечно краще, що ще більше покращує вашу мережу від збоїв.

ВИСНОВКИ

Підведемо підсумки міністерської роботи. У роботі приведено характер та механізм роботи технології LTE. Показані головні аспекти формування цієї технології, які поступово ведуть до стабільного покращення та впровадження задовільних якостей роботи мережі. Порівняно роботу мережі з іншими технологіями та досліджено вплив технологій на людину. Приведено приклад роботи основного механізму передачі даних для технології LTE, яким являється технологія MIMO, технологія, яка в разі покращує якість роботи мережі та її функціональність. При цьому має низку переваг. Якість переданого сигналу і швидкість передачі даних стає краще. Тому що технологія спочатку кодує дані, а потім на приймальній стороні відновлює їх. Більш ніж в два рази збільшується швидкість трансляції сигналу. Наявність всередині антени двох випромінюючих систем з горизонтальною і вертикальною поляризацією, дозволяє працювати в режимі MIMO 2×2 .

Технології нового покоління для свого започаткування та впровадження теж використовуватимуть систему передачі даних MIMO, але ця система буде покращеною. Але не зміниться вплив технологій за здоров'я людей. Дія електромагнітного випромінювання на організм людини в основному визначається поглиненою в ньому енергією. Відомо, що випромінювання, що потрапляє на тіло людини, частково відбивається і частково поглинається в ньому. Поглинена частина енергії електромагнітного поля перетворюється в теплову енергію. Ця частина випромінювання проходить через шкіру і поширюється в організмі людини. Захист людини від небезпечного впливу електромагнітного опромінення здійснюється рядом способів, основними з яких є: зменшення випромінювання безпосередньо від самого джерела, екранування джерела випромінювання.

Але попри це, можна з упевненістю сказати, що технологія LTE є досить актуальною та сучасною в переліку технологій сучасності. І її використання є запорукою функціональної стабільності, ергономічності та швидкості роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Одарченко Р. С. Дослідження архітектури мереж стільникового зв'язку в Україні та можливості їх переходу до мереж LTE / Р. С. Одарченко, Н. В. Дика // Наукоємні технології. – 2016. – №3(31). – С. 292-294.
2. Олійник В. М. Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних технологій / В. М. Олійник, В. В. Речембей // Мукачівський державний університет. – 2018. – УДК 330, №14. – С. 1017-1019.
3. Довгий С. О. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, безпека, економіка, регулювання / С. О. Довгий, П. П. Воробієнко, К. Д. Гуляєв; під ред. С. О. Довгого. – 2-е (доповнене) вид. – Київ: Азимут Україна, 2013. – 308-311 с.
4. Проживальський О. П. Технічні, нормативно-правові та економічні аспекти впровадження технологій мобільного зв'язку 4-го (4G) та 5-го (5G) поколінь / О. П. Проживальський // Vodafone. – 2016. – С. 2.
5. Нікітіна А. В. Мережі радіодоступу четвертого покоління / А. В. Нікітіна, А. С. Рижков // Стандарт LTE: технології та процедури, – 2012. – С. 74.
6. Xirouchakis I. A. Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) Simulations / I. A. Xirouchakis // Physics Department University of Athens. – 2008. – User's Guide v. 1.0. – P. 40-41.
7. Farooq Khan LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance / Khan Farooq. – 1-st Ed. – Cambridge University Press, 2009. – 495-496 p.
8. 4G Americas Mobile Broadband Evolution Towards 5G: Rel-12 & Rel 13 and Beyond / Americas 4G. – 1-st Ed. – American Press, 2015. – 4-5 p.
9. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності / Є. П. Желібо, Н. М. Заверуха, В. В. Зацарний; під ред. Є. П. Желібо. – 6-е вид. – Київ: Каравела. 2008. – 134-137 с.
10. Данилов В. И. Сети и стандарты мобильной связи / В. И. Данилов. – Санкт-Петербург: СПб ГУТ, 2015. – 80 с.

11. Вишнеvский В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. М. Вишнеvский, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва: Техносфера. 2009. – 472-475 с.
12. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – Москва: Эко-Трендз. 2010. – 284 с.
13. Варукина Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE и предпосылках объединения операторов [Электронный ресурс] / Л. Варукина // URL: http://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf (дата звернення: 20.10.2019).
14. Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи [Электронный ресурс] // URL: <http://1234g.ru/4g/lte/printsip-raboty-seti-lte/printsiy-postroeniya-i-funktsionirovaniya-setej-lte> (дата звернення: 14.11.2019).
15. Как MIMO антенны увеличивают скорость 4G LTE в 2.5 раза? [Электронный ресурс] // URL: <https://ukrn.com.ua/news/kak-mimo-antenny-velichivaut-skorost-4g-lte-internet/> (дата звернення: 20.11.2019).
16. Ericsson разрабатывает беспроводные технологии 5G [Электронный ресурс] // URL: <https://ubr.ua/ukraine-and-world/technology/ericsson-razrabatyvaet-besprovodnye-tehnologii-5g-333430> (дата звернення: 25.11.2019).
17. Ковальчук В. А. Importance of development of controlled technologies of the wireless communications / В. А. Ковальчук // Збірник матеріалів 6-ої Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді. – 2018. – С. 117.