

**Пояснювальна записка**  
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

на тему:  
**«ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE В УКРАЇНІ»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ТСД-43  
Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Бакута І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Плющ О.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Мобільних та відеоінформаційних технологій  
\_\_\_\_\_ Кирпач Л.А.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бакуті Ілля Ігоровичу

1. Тема роботи: «Особливості впровадження технології LTE в Україні», керівник роботи Плющ Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри МВТ затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_ .
2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_р.
3. Вихідні дані до роботи:
  1. Опис мереж бездротового доступу;
  2. Рішення для вдосконалення та збільшення ємності LTE;
  3. Впровадження тежнологій, для вдосконалення стандарту LTE;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
  1. Основні характеристики технології LTE
  2. Стандартизовані рішення
  3. Ефективність та шляхи збільшення потужності технології LTE.
5. Перелік графічного матеріалу:
  1. Титул;
  2. Мета роботи;
  3. Вступ;
  4. Структура мережі LTE

5. Структура розгортання технології LAA-LTE;
6. Оцінка ефективності розгортання технології LAA;
7. Порівняння технологій LTE та Wi-Fi;
8. Розрахунки ефективності впровадження технології LAA;
9. Висновки.

6. Дата видачі завдання 10.10.2020 р.

### Календарний план

<u>№</u> <u>з/п</u>	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури		Виконано
2.	Основні характеристики технології LTE		Виконано
3.	Стандартизовані рішення		Виконано
4.	Ефективність та шляхи збільшення потужності технології LTE		Виконано
5.	Виступ, вступ, реферат		Виконано
6.	Розробка презентації		Виконано

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бакута І.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Плющ О.Г.  
(прізвище та ініціали)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської роботи: 53 сторінки, 13 рисунків, 3 таблиці, 30 джерел.

*Об'єкт дослідження* – мережа бездротового зв'язку LTE.

*Предмет дослідження* – розширення спектру бездротових мереж.

*Мета роботи* – провести необхідні дослідження та розрахунки, що дозволяють створювати мережі доступу на основі технології LTE.

*Методи дослідження* – аналітичний метод та імітаційне моделювання.

В роботі особлива увага приділяється опису співіснування схем Wi-Fi та LAA на один радіочастотний канал, для збільшення трафіку мережі.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE .....	11
1.1. Основні характеристики. ....	11
1.2    На скільки технологія 4G актуальна .....	17
1.3    Проблема перевантаження базової станції . ....	19
1.4 Висновок до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. СТАНДАРТИЗОВАНІ РІШЕННЯ .....	22
2.1 LAA-LTE.....	22
2.2 LTE-U.....	27
2.3 LWA .....	28
2.4 Висновок до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE.....	30
3.1 Залежність смуги пропускання LTE від кількості антен та залежність пропускнуої здатності LTE + LAA від відношення сигнал / шум і ширини каналу. ....	30
3.2 Збільшити агрегацію операторів LTE + LAA.....	31
3.3 Розрахунок використання частотних ресурсів мереж LTE та Wi-Fi. Порівняння технологій LTE та Wi-Fi. Створення комбінованої мережі LTE + Wi-Fi. ....	35
3.4 Висновок до розділу 3.....	48
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	51

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

LTE	Long-Term Evolution – довготривалий розвиток
LAA	Licensed-Assisted-Access – ліцензійний доп.доступ
Wi-Fi	Wireless Fidelity – технологія бездротової локальної мережі
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System - Універсальна Мобільна Телекомунікаційна Система
GSM	Global System for Mobile Communications — глобальний стандарт цифрового мобільного зв'язку
MIMO	Multiple Input Multiple Output - метод просторового кодування сигналу
LWA	LTE & WLAN Aggregation - агрегація технологій LTE і WLAN
eNB	Evolved NodeB - базова станція мережі стандарту LTE
MME	Mobility Management Entity - суб'єкт управління мобільністю
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing - технології ортогонального частотного рознесення
TPC	Transfer Power Control - керування передачею потужності



## ВСТУП

На кінець 2014 року по мобільних підключеннях широкосмугового доступу Україна займала 101 місце у світі. Очевидно, що це відставання негативно впливає на всі сфери життя країни. У лютому 2015 року відбувся тендер з отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом (РЧР) для 3G в смугах радіочастот 1920–1935/2110–2125 МГц; 1950–1965/2140–2155 МГц; 1965–1980/2155–2170 МГц, які отримали ТОВ «Астеліт», ПрАТ «МТС Україна» та ПрАТ «Київстар».

До недавнього часу послуги 3G в Україні надавав національний оператор телекомунікацій ТОВ «ТриМоб», засновником та учасником якого є ПАТ «Укртелеком». Ця подія стала поштовхом до поступового впровадження й технологій 4-го покоління (4G), початком якого має бути проведення тендеру на отримання ліцензій на частоти для LTE, запланованого на 2017 рік. Неможливість безпосереднього переходу на технологію LTE пояснюється нестачею діапазону частот 1800 МГц, на якому будується переважна більшість стільникових мереж, які в Україні використані під мобільний зв'язок стандарту GSM. Оскільки вже 80 % користувачів мають абонентські пристрої 3G, очікується швидка «міграція» трафіка передачі даних і частково голосового трафіка на 3G. Відомо, що до 4-го покоління (4G) відносять технології, які забезпечують швидкість передачі даних на рівні 100 Мбіт/с у русі (від 120 км/год) та на рівні 1 Гбіт/с у стаціонарному положенні. У 2012 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) офіційно визнав технологію LTE Advanced (стандарт 3GPPRelease10) і технологію Mobile WiMAX Release2.0 (стандарт IEEE802.16m), відому ще як Wireless-MAN-Advanced, WiMAX2 або WiMAX-Advanced, бездротовими стандартами зв'язку 4G, присвоївши сертифікат «IMT-Advanced (вдосконалена система міжнародного рухомого зв'язку)» — офіційний статус мереж четвертого покоління. Це єдині технології, які отримали цей статус. Попередні версії цих технологій (стандарти IEEE802.16e та 3GPPRelease8) хоча й називаються умовно технологіями 4G, але не забезпечують заявлену пропускну здатність, тобто є практично 3,9G-стандартами.

Мережі Mobile WiMAX за стандартом IEEE 802.16e в Україні вперше з'явилися у 2009 році. На даний час найбільш відомими операторами в Україні, які надають послуги за технологією Mobile WiMAX, є «FreshTel» та «Intellicom» (ТМ «Giraffe»). Ці мережі не отримали в нашій країні належного розвитку, але вони заслуговують на увагу. Завдяки появі нових функцій в технологіях, про які піде мова, їх розробникам вдалося забезпечити вимоги до 4G. Як обстоять справи з мобільним зв'язком у світі і на що орієнтуватися для подальшого розвитку мобільних технологій в нашій країні? На сьогоднішній час ці питання є вкрай актуальними для України.

## РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

### 1.1. Основні характеристики.

LTE – Long Term Evolution (англ., Довгострокова еволюція). Коли проходили вдосконалення технології 3G (UMTS, WCDMA) в рамках проекту 3GPP, вони розраховувалися на перший-другий. Частина стала «вдосконалювати» 3G до HSPA: це були незначні вдосконалення радіо-інтерфейсу при збереженні основи – принципу кодового поділу каналів (CDMA). Що стосувалося інших, вони задавалися питанням, що рано чи пізно, користувачі всерівно забажають збільшити швидкість мобільних мереж. Саме це стало поштовхом еволюції від 3G до LTE.

LTE включає в себе мережу радіодоступу (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN) і вдосконалене пакетне ядро (Evolved Packet Core, EPC).

Сукупність БС eNB, будує собою мережу LTE (Evolved NodeB або eNodeB), а інтерфейсом X2 між собою з'єднуються сусідні eNB. Завдяки інтерфейсу S1 eNB підключаються до EPC. На рис.1.1 відображено нові елементи які співпрацюють в мережі S-GW (Serving Gateway) – що займається обслуговуванням шлюзів, в яких муститься ПО по керуванням MM (MME - Mobility Management Entity).

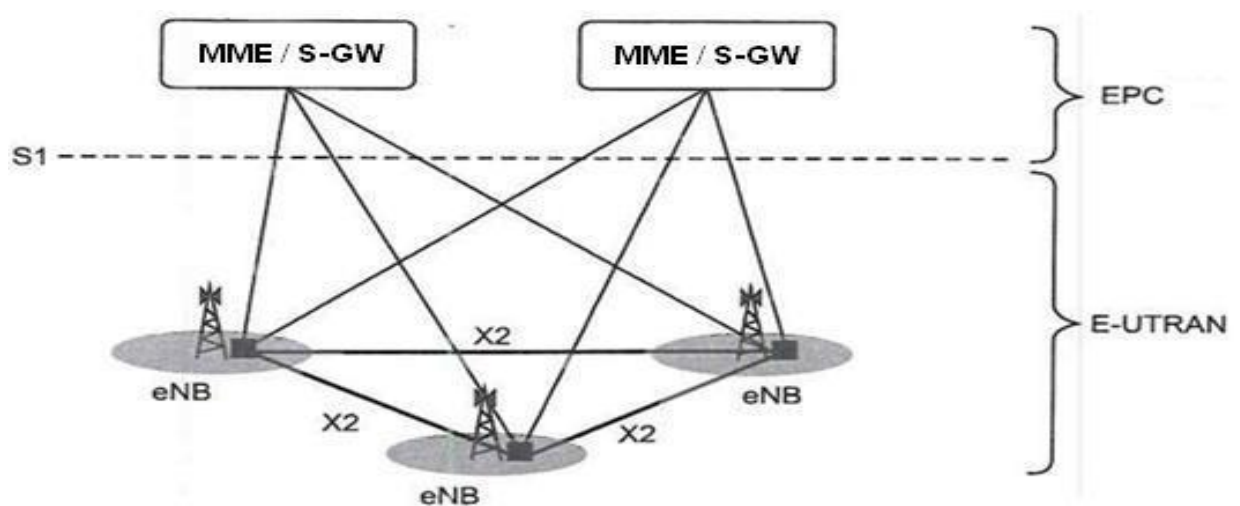


Рисунок 1.1 Спростована мережа LTE

У мережі радіодоступу радіо-інтерфейс між UE і eNB націлений не використання на технології ортогонального частотного рознесення OFDMA. Робота EPC базується на технології IP. Дану технологію пов'язують до All-IP Network(AIPN).

Діюча структура мережі LTE відображається на рис. 1.2. Мережеве ядро EPC (Evolved Packet Core) формується з шлюзу обслуговування S-GW (Serving Gateway), шлюзу головна роль якого це вихід на пакетні мережі P-GW (Packet Data Network Gateway), буови керування згідно протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), зв'язаної з S-DW і eNodeB сигнальними інтерфейсами.

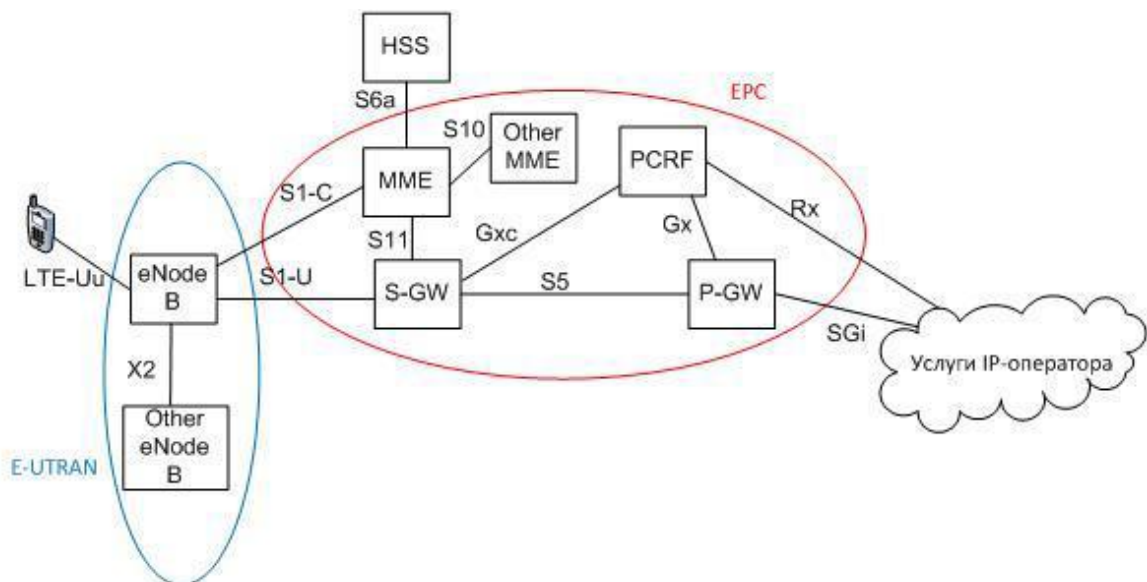


Рисунок 1.2 Побудова мережі LTE

### Функції eNodeB (Evolved NodeB)

eNodeB метод який в собі сполучає контроллери мереж третього покоління та БС:

- Відповідає за передачу трафіку і сигналізації по радіоканалу,
- Керує розподілом радіоресурсів,
- Відповідає за канал трафіку до S-GW,
- Спостереження за рівнем перешкод в сотах, та синхронізація передач
- Відповідає за цілісність передач по радіокааналам та цифрацію в них,

- Спростування заголовків IP-пакетів,
- Забезпечує використання мультимедійного мовлення,

Саме потік даних від S-GW та сигналізації через протокол MME підтримує S1 інтерфейс. Нагадаємо, що технологія eNB має можливість бути з'єднана з кількома S-GW.

Що стосується використання X2 інтерфейсу, його застосовують для того щоб забезпечити організацію хендвера з сусідніми БС, та для балансування навантаження між цими БС. А за рахунок того що інтерфейси X2 мають здатність бути логічними, то для того щоб синхронізувати їх з eNB не потрібне фізичне з'єднання.

#### Функції S-GW:

- Маршрутизація переданих пакетів даних,
- Установка якісних показників (Quality of Service, QoS) послуг, що надаються,
- Буферизація пакетів для UE, які знаходяться в стані Idle Mode,
- Для оплати за виконання послуги надіються дані для тарифікації.

S-GW є структурою, завдяки якій працює мобільність абонентів. Кожен певний S-GW обслуговує одну діючу UE. В теорії кожен UE можливо з'єднати з кількома мережами, але після цього їх обслуговуванням будуть займатись вже декілька серверів S-GW.

#### Функції мережі P-GW.

Пакетний шлюз P-GW організовує точку доступу до зовнішньої IP-мережі. Тому P-GW – це якісний шлюз для послуг. Якщо абоненту потрібно отримати динамічну IP- адресу під час сеансу зв'язку, P-GW запитує її від сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), або виконує необхідні функції DHCP, а потім надає IP- адресу абонента.

P-GW включає в себе PCEF (функція забезпечення політики та заряджання), яка забезпечує високоякісну роботу служби зовнішніх з'єднань за допомогою інтерфейсу Sgi та фільтрації пакетів даних. Під час надання послуг абонентам у домашній мережі функції S-GW та P-GW можуть виконуватися двома різними пристроями або одним пристроєм. Інтерфейс S5 - це канал тунельного з'єднання GPRS або Proxy Mobile IPv6. Якщо S-GW і P-GW розташовані в різних мережах (наприклад, при обслуговуванні абонентів під час роумінгу), тоді інтерфейс S5 замінюється інтерфейсом S8.

### Функції MME

Блок управління MME в основному підтримує реалізацію програми протоколу управління мобільністю: забезпечення мережевої безпеки при підключенні до UE та вибір S-GW та P-GW. MME підключений до HSS мережі через інтерфейс S6a. Інтерфейс S10, що з'єднує різні MME, дозволяє обслуговувати UE, коли абонент рухається і коли він знаходиться в роумінгу.

### Функція PCRF

Функція політики та заряджання ресурсів (PCRF) - це, по суті, сервер управління, який може централізовано управляти мережевими ресурсами, а також стягуванням плати та оплатою, що надаються послугу. Після запиту нового активного з'єднання ця інформація надійде до PCRF. Він оцінює доступні мережеві ресурси та надсилає команди до PCRF шлюзу P-GW для встановлення вимог до якості послуги та ціни.

Базова станція LTE містить радіомодуль (також званий приймачем, TRX), блок цифрової обробки сигналів (BBU), інтерфейс плати (порт FE / GE, електрика, світло). Радіомодуль є віддаленим RPU. Встановлюється поблизу антени (для зменшення втрат радіочастотного пристрою) та підключається до BBU через оптичні пристрої (стандарт CPRI). Все схоже на 3G BS, але їх називають вишукано розвиненим NodeB (буквально - продуктом еволюції "Вузла Б", тобто він має свою BS 3G).



Рисунок 1.3 Базові станції мереж 4G

І оскільки подібність BS різних стандартів набагато більша за різницю, виробник швидко здогадався, що "одна пляшка" може виконати всю роботу. Це рішення називається SingleRAN. BS з 3 стандартами: GSM, 3G та LTE. Для LTE як антени звичайна панельна антена з функцією крос-поляризації буде дуже близькою. Наприклад, вони використовуються в мережах GSM та 3G. Але різниця є. Якщо два режими поляризації зазвичай використовуються для прийому в GSM і 3G, а для передачі використовується лише одна поляризація (схема 2Rx / 1Tx), то в LTE обидва режими поляризації повністю задіяні. Для прийому та передачі (Програма 2Rx / 2Tx)). Це необхідно для впровадження технології MIMO2x2. Цього буде достатньо на першому етапі впровадження LTE. Далі ви можете збільшити пропускну здатність сектора, додавши ще одну крос-полосну антену. З'являться рішення 4Rx / 4Tx та MIMO4x4. Найголовніше - розширити антену на достатню відстань у просторі (близько 10 довжин хвиль).

### Частота LTE

На відміну від інших мобільних стандартів, LTE не прив'язаний до якогось конкретного діапазону частот. Це його сила. Розробники (3GPP) визначили більше 30 смуг частот, і виробники можуть виробляти стандартне радіообладнання LTE для цих смуг частот. До них належать частоти, які в даний час використовуються

за іншими стандартами, такими як 900, 1800 (GSM), 2100 (UMTS), 2500 (WiMAX) та "нові"), наприклад 700-800 МГц (так званий "цифровий дивіденд"). Очевидно, не всі можливі діапазони будуть широко поширюватися по всьому світу, тому діапазон "виживання", швидше за все, не перевищує 4-5 діапазонів.

-800 МГц (3GPP Band 20) - Виділено або заплановано для LTE майже у всіх європейських країнах, включаючи Росію; це вигідно з точки зору вартості забезпечення постійного покриття; пристрій виробляється усіма провідними виробниками.

-2,5 ГГц (3GPP діапазон 7) - Призначений або запланований для LTE майже у всіх європейських та азіатських країнах (включаючи Росію); обладнання виробляється усіма провідними виробниками.

-1800 МГц (діапазон 3GPP 3) - буде випущений у міру зменшення кількості мобільних телефонів лише з GSM та збільшення покриття 3G (отже, Голосовий переклад); Він добре працює у забезпеченні балансу між пропускнуною спроможністю мережі та покриттям; повторним використанням інфраструктури (приймачі, антени), що отримує доступ до мережі, забезпечить операторам GSM можливості економії; обладнання керується багатьма Виробник виробник .

Зазвичай вибрати правильний діапазон для розробки LTE непросто. У нижньому діапазоні з покриттям все гаразд. Проблема полягає в тому, щоб знайти пропускну здатність, досить широку для повного LTE. Вищі, як правило, мають хороші частотні ресурси, але БС потрібно розміщувати кожні 400-500 метрів, що буде коштувати багато. Більшість мереж LTE, таких як GSM, можуть бути двосмуговими.

### Швидкість LTE

Максимальна швидкість передачі даних є ключовим показником якості кінцевого користувача. Ми можемо довго обговорювати теоретичні можливості різних стандартів та перспективи їх розвитку, але справа в тому, що швидкість користувача в існуючій мережі LTE перевищує 100 Мбіт / с. Це лише початок



світлого майбутнього: знадобиться приблизно кілька років, щоб досягти 1 Гбіт / с у мережі LTE. Дуже ймовірно, що як теорія радіозв'язку, так і технологія виробництва на основі елементів потребуватимуть чергового прориву.

### Покриття LTE

Покриття BS в LTE може бути абсолютно різним. По-перше, це залежить від використовуваного діапазону частот. Якщо ми вибираємо більш екстремальні варіанти, то зона покриття eNodeB, що працює в найнижчому діапазоні частот LTE (700 МГц), еквівалентна 5-6 разів, ніж у базовій станції, що працює на частоті 2,5 ГГц. Тому в міських умовах радіус клітини може коливатися від кількох сотень метрів до кількох кілометрів. Щодо рекорду LTE BS, він був встановлений, коли грецький оператор Cosmote відстежував на пристрої

Раніше цього року Huawei мала швидкість передачі 135 Мбіт / с на відстані 102 кілометри від базової станції. Звичайно, це пряма видимість, по одному користувачеві на клітинку. Але з точки зору граничних можливостей стандарту - цілком переконливо.

### 1.2 На скільки технологія 4G актуальна

Якщо попит українських користувачів на 3G очевидний - крайній мобільний Інтернет занадто повільний, щоб його можна було комфортно використовувати, і сформувалася потреба в мобільному зв'язку без мереж Wi-Fi, то використання 4G не настільки очевидне. Загалом, в контексті пропускнуєї спроможності мережі, технологія рідко обговорюється в контексті швидкості. Однак менш очевидні речі потребують мереж наступного покоління.

Для користувачів: швидкість

Швидкість мережі 3G є достатньою, щоб задовольнити всі існуючі вимоги мобільного Інтернету. Оператори підрозділів Life стверджують, що їхня мережа має максимальну швидкість 63 Мбіт / с, але це неможливо для реальних ситуацій - вам потрібні принаймні мобільні пристрої зі специфічними характеристиками, і ці

пристрої насправді недоступні для абонентів. Український оператор може досягти швидкості 42 Мбіт / с, чого достатньо навіть для перегляду відео з роздільною здатністю у повному форматі HD (якщо оператор не має жодних обмежень).

Для операторів: пропускна здатність мережі

4G забезпечує більшу ширину каналу, тому там, де навантаження на мережу вище, операторам потрібно використовувати менше пристроїв для обслуговування більшої кількості користувачів. Це особливо важливо в центрі великих міст, поблизу туристичних визначних пам'яток та інших людних місць. Результат - краща якість спілкування та кращий досвід користування. 4G не можна назвати ідеальним стандартом для розвитку Інтернету речей. Однак він підходить більше, ніж усі попередні продукти. Інтернет речей є невід'ємною частиною «розумних» міст. Датчики дозволяють точніше керувати ресурсами (наприклад, видаляти сміття при завантаженні контейнерів, контролювати місця з високими рахунками за електроенергію, контролювати роботу світлофора тощо). Це економить ресурси міста, робить його більш зручним та безпечним.

Спеціальна мережа

На основі 4G може бути створена спеціальна пріоритетна комунікаційна мережа для потреб міста (насправді це можливо перед 4G, але такий тип мережі має менше функцій і вищі витрати на обслуговування). Наприклад, Великобританія цього року запустить мережу екстрених служб на базі 4G (ESN), що дозволить екстреним службам швидко отримувати інформацію про міські події та використовувати Інтернет для отримання більш детальної інформації. Так, лікарі лікарні отримуватимуть інформацію про пацієнта від персоналу швидкої допомоги та пожежників, щоб перевірити пожежу з гелікоптера. Поліція зможе ділитися відео з охоронцями, перетворювати свої машини в пункти в'їзду тощо.

Орієнтація на ринок.

Поява нових технологій збільшить продажі терміналів із підтримкою 4G та розвиток послуг, які потребують цієї послуги. Звичайно, користувачі почнуть витратити більше грошей, але вони насправді їх отримають. 4G-Дивіться відео, грайте в ігри тощо в будь-який час і в будь-якому місці. Оператори почали звикати

своїх абонентів до важких сервісів, таких як потокове передавання аудіо та відео, таких як безкоштовний трафік через Megogo, власними послугами на Youtube. Деякі надають безкоштовні дані, а інші - до 10 ГБ безкоштовних даних на місяць. За словами українського директора з маркетингу Megogo Івана Шестакова, перегляду 10 Гб онлайн-відео на місяць недостатньо. Однак, якщо поглянути на споживання даних українськими користувачами, 10 ГБ було б великим. У мережі наступного покоління вартість трафіку збільшиться, що стимулюватиме появу користувачів-платників та розвиток послуг.

Для ринку України

Дослідження Світового банку показують, що проникнення високошвидкісного Інтернету тісно пов'язане з економічним розвитком. Джерела повідомляють, що, оскільки кількість високошвидкісних підключень до Інтернету зросла на 10%, економічне зростання становило 1,3%.

### **1.3 Проблема перевантаження базової станції .**

Теоретична максимальна швидкість мобільного Інтернету, оснащеного технологією 4G, може досягати 375 Мбіт / с, а середня швидкість завантаження при звичайному навантаженні становить 20 Мбіт/с, що дозволяє негайно завантажувати веб-сайти. Середня швидкість виведення - 10 Мбіт/с, а максимальна - 50 Мбіт/с. Технологія LTE - це вдосконалений та зручний стандарт, який дозволяє мешканцям приватних будинків легко отримувати доступ до бездротового Інтернету вдома. Однак трапляються ситуації, коли LTE-сигнали не можуть працювати на повній потужності - користувачі не мають швидкості.

Умови, які можуть вплинути на швидкість передачі даних:

-Існування покриття мережі, на яке може впливати розташування пристрою приймача в приміщенні, де прийом сигналу утруднений (наприклад, у загальному місці). Крім того, поганий прийом може обмежити товщину стін будівлі, будівельні матеріали будинку та інші умови. Поза приміщення на сприйняття сигналу може впливати рельєф місцевості, відстань від базової станції, погодні умови та інші фактори, що впливають на передачу радіосигналу.

-Затори мережі

- У певні періоди на швидкість передачі даних може впливати різке збільшення навантаження, наприклад, під час фестивалів, надзвичайних ситуацій тощо. Якщо виявляється перевантаження, коли базова станція використовує послугу, і в цьому випадку користувач зменшує швидкість передачі даних, оператор має право вручну та автоматично змінювати параметри з'єднання, щоб усунути порушення.

-Функціональні характеристики кінцевого обладнання. З ідеологічної точки зору стандарт 4G вважається стандартом, ключовим показником якого є велика кількість запитуваних державних послуг, і звичайно показник швидкості. Оскільки це абсолютно інше середовище доступу для терміналів у спектрі, стандарт надаватиме послуги для більшої кількості мобільних терміналів та інших терміналів у певних місцях, таких як пункти накопичення, стадіони та станції. Тому в даний час не очікується глобальної зміни швидкості. Існують певні системи вимірювання, які демонструють вузькі місця у фізичній мережі стільникового оператора. Є ще певна робота. На першому етапі, найімовірніше, 4G стане тим ешеленом, де користувачі зосереджені найбільше. Для мереж 3G лише тоді, коли трафік між терміналами та базовими станціями продовжує зростати, а продуктивність мережі 4G не буде з'явиться мережа 5G. Достатній рівень.

Тоді знадобляться менші місця розташування базових станцій, і всі вони повинні були бути пов'язані між собою мережами оптичного зв'язку.

#### **1.4 Висновок до розділу 1.**

Технологія LTE - це вдосконалений та зручний стандарт, який дозволяє мешканцям приватних будинків легко отримувати доступ до бездротового Інтернету вдома. Однак у деяких випадках сигнали LTE не можуть працювати на повній потужності - користувачі не мають швидкості. Для вирішення цієї проблеми необхідно отримати додаткові радіочастотні ресурси для мережі LTE, і доступ до них можна отримати безкоштовно. Використовуючи неліцензійний радіочастотний спектр у смузі частот 5 ГГц для вирішення стандартної гетерогенної мережі LTE, перевантаженість базової станції, один із методів зменшення швидкості передачі даних та недостатньої кількості ресурсів, може збільшити пропускну здатність мережі LTE.

## РОЗДІЛ 2. СТАНДАРТИЗОВАНІ РІШЕННЯ

### 2.1 LAA-LTE.

13 Версія 3GPP представила дві технології LWA (агрегація LTE та WLAN) та LAA (ліцензований допоміжний доступ) як рішення для використання неліцензованого спектра для мереж LTE. Технологія LWA повинна агрегувати LTE і WLAN на рівні збіжності пакетних даних, що дозволяє передавати послуги висхідної лінії зв'язку в LTE, а послуги низхідної лінії зв'язку - в LTE і WLAN.

Це рішення є основою стандарту 3GPP (Rel'13) і претендує на глобальне уніфіковане рішення. Як вже підкреслювалось, він базується на функції агрегації спектру (CA) LTE і передбачає використання механізмів LBT. Важливо, як показано на малюнку 2, загальна складова неліцензійних частот є лише додатковою (другорядною). 2.1. Він передається разом з деякими даними на основному носії (ліцензований спектр) і надає службову інформацію (команди управління).

#### Conventional LTE Network: Single channel approach to data transfer



#### LTE Advanced Network: Carrier Aggregation effectively doubles data rates

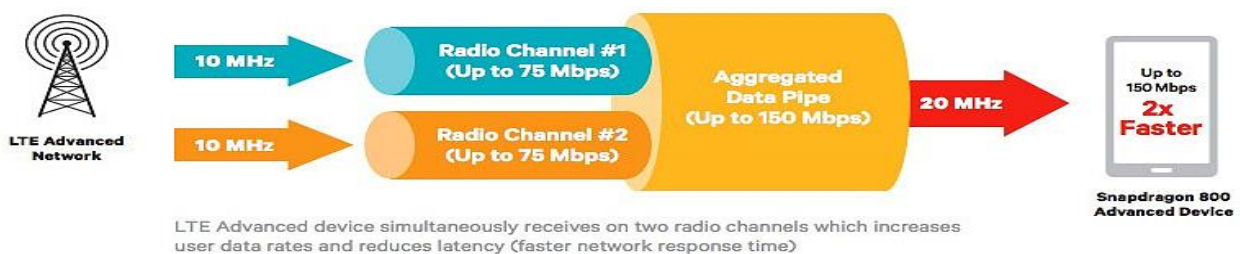


Рисунок 2.1 Агрегація частот при LAA-LTE

Ця передумова зумовлена тим, що оскільки багато користувачів мають вільний доступ до спектру, неліцензований спектр має непередбачуване та швидко мінливе електромагнітне середовище, що не гарантує якісної передачі. Крім того, з

цієї причини потрібно вживати спеціальних заходів для зменшення конфліктів з іншими працівниками СЕМ. Такі заходи включають прослуховування каналу перед випромінюванням LBT та обмеження робочого циклу (періодична передача). За допомогою цих процесів вільний канал (SSA) може бути динамічно обраний, а за відсутності каналу - справедливий розподіл найменш завантаженого каналу за допомогою іншого пристрою, як на малюнку 2.2.

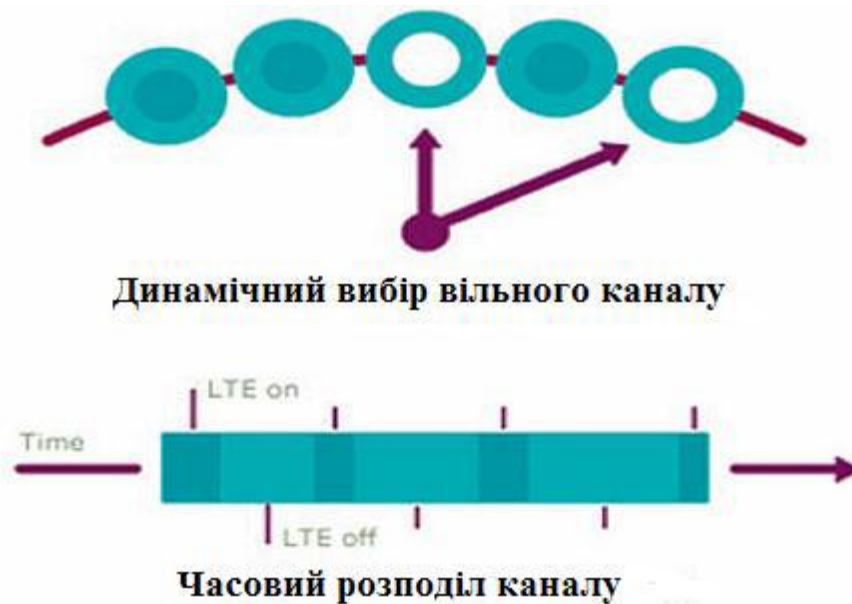


Рисунок 2.2 Доступ до каналу при LAA-LTE

На відміну від цього, PCell (первинна комірka) на ліцензованому спектрі агрегується з SCell (вторинна комірka) на неліцензованому спектрі (рис. 2.2). PCell використовується для передачі даних користувача та службової інформації. Однак СС (компонентний носій) у неліцензійній смузі частот використовується як додаткова (допоміжна) комірka, призначена для передачі даних користувача.

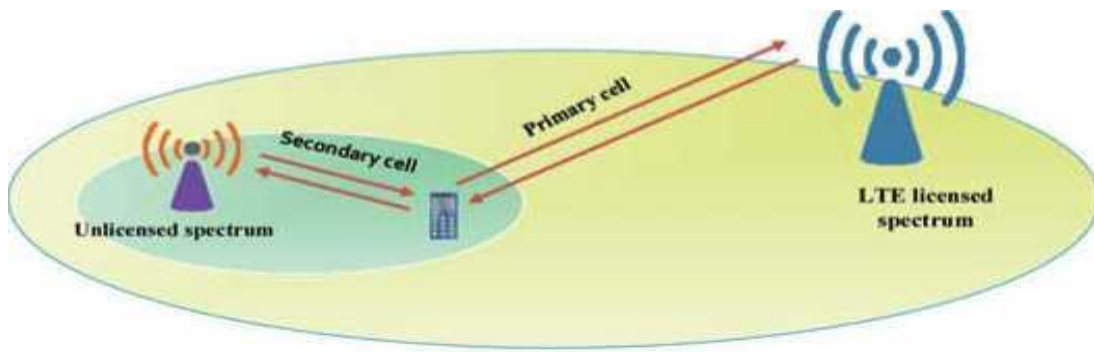


Рисунок 2.3 Ліцензійний допоміжний доступ

Слід зазначити, що технологія eLAA (Extended LAA), описана у випуску 14, дозволяє агрегувати ліцензовані та неліцензійні діапазони спектру для первинних та вторинних каналів. LAA може використовувати FDD (Дуплекс частотного поділу) або TDD (Дуплекс часового поділу) у первинному та вторинному каналах. Додаткове планування трафіку каналу є функцією типу трафіку, наприклад, чутливістю до затримки, оптимізацією швидкості та навантаження. Для впровадження технології LAA (рис. 2.4) існує 13 ситуацій, які обговорюються у 13-му випуску. Окрім запровадження LTE + LAA, потрібні нові мобільні пристрої LTE, які повинні працювати в неліцензованому спектрі та мати механізм справедливого розподілу спектру серед користувачів.

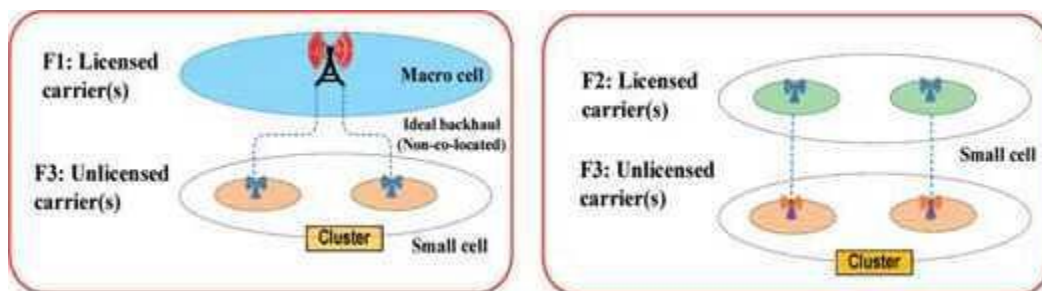


Рисунок 2.4(а) Сценарії розгортання LAA



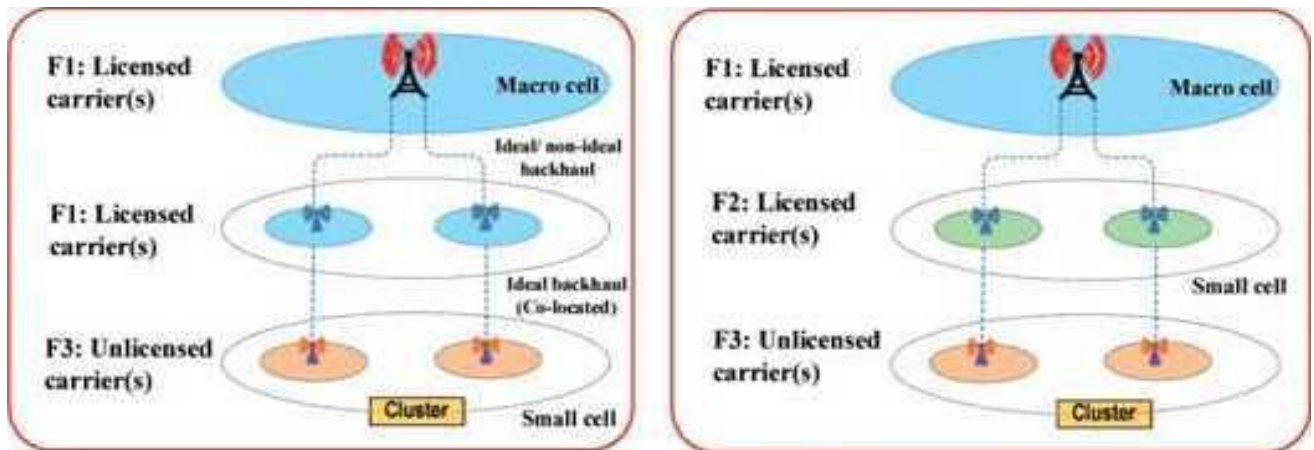


Рисунок 2.4(б) Сценарії розгортання LAA

Слід підкреслити, що оскільки це електромагнітне середовище, яке швидко і швидко змінюється, використання неліцензованого спектру як додаткового діапазону частот не може гарантувати високу якість обслуговування (QoS): потужність системи та затримку. Крім того, потрібно вжити спеціальних заходів для зменшення конфліктів з іншими електронними пристроями, що працюють в тому ж діапазоні частот.

13-е видання визначає такі механізми вирішення конфліктів:

- LBT (Listen Before Talk);
- DTX (Discontinuous Transmission Mode)
- DFS (Dynamic Frequency Selection);
- TPC (Transmit Power Control)

Вимоги до механізму співіснування LBT

Тип усунутих бар'єрів та механізм справедливого співіснування залежать від ринку та регіональних систем регулювання. Ця концепція є основою схеми LBT (головна вимога в Європі та Японії), яка використовується для досягнення найкращої взаємодії між LAA та пристроями Wi-Fi у неліцензійному спектрі.

Схема LBT визначає доступність спрямованого каналу CCA (мережевий доступ до каналу) для адаптивної передачі на основі змінної шкали часу, що охоплює від 1 до 10 мілісекунд.

Виявлення енергії (ED) використовується разом із процедурами CCA для забезпечення ефективної схеми співіснування між LTE та Wi-Fi, мінімізуючи вплив на ефективність завдяки розподілу ресурсів на неліцензійний спектр. Виявлення енергії дозволяє вказати, доступний канал чи зайнятий. Якщо виявлений рівень енергії нижчий за пороговий, канал вважається чистим, і вузол LAA може бути відправлений. Іншими словами, LAA продовжує контролювати рівень енергії до тих пір, поки прохід не буде визнаний чистим і не буде встановлено випадкове відхилення. Таким чином, ви можете розпочати трансляцію через найкоротший проміжок часу для прозорості каналу. Приклад цього процесу проілюстровано на рисунку 2.5.

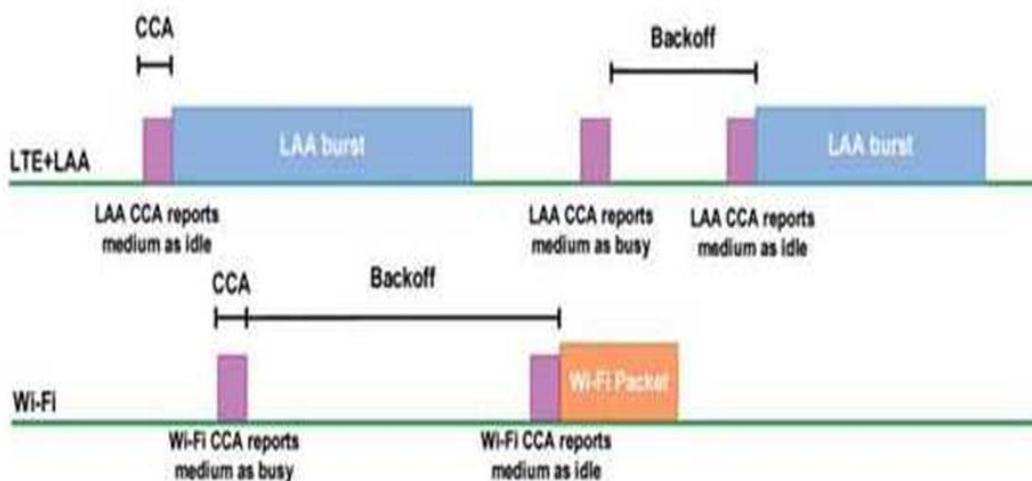


Рисунок 2.5 LAA і Wi-Fi співіснування

В основному, з точки зору оцінки чітких каналів (CCA), механізм LBT поділяється на два типи часової області: обладнання на основі кадру (FBE) та обладнання на основі навантаження (LBE). Як показано на малюнку 3.6, CCA виконує FBE для кожного фіксованого періоду кадру, як передбачається eNB або UE, і може розпочати передачу даних лише тоді, коли вирішить очистити канал. У той же час обмежує вибух передачі до максимального значення (часу заповнення

каналу), щоб підтримувати баланс доступу каналу з іншими сусідніми вузлами. З іншого боку, LBT з LBE змушує eNB або UE оцінювати канал лише тоді, коли дані надходять у буфер (рис. 2.6).

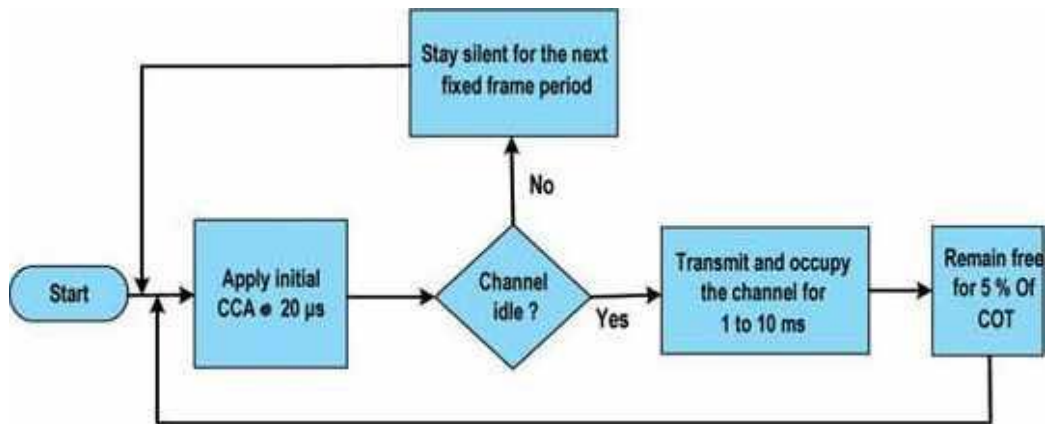


Рисунок 2.6 Режим роботи LBT на базі FBE

## 2.2 LTE-U

Це рішення є таким же, як і згаданий LAA-LTE, єдина відмінність полягає в тому, що йому не потрібно використовувати механізм LBT. Механізм, що використовується для зменшення конфліктів у LTE-U, є процесом встановлення робочого циклу (робочого циклу) для періодичної передачі. Робочий цикл дорівнює відсотку робочого часу передавального обладнання, виміряного у фіксованому діапазоні часу, як показано на малюнку 2.7.

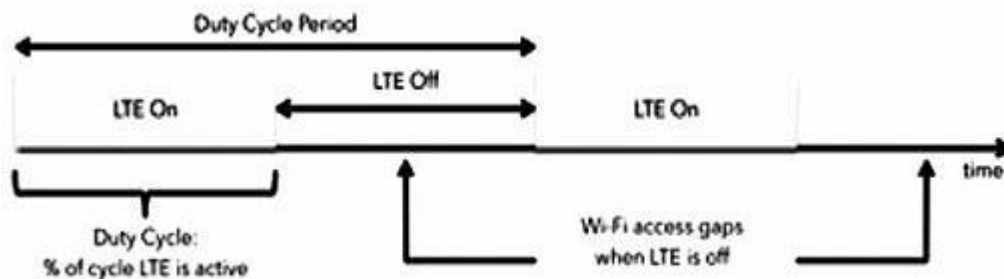


Рисунок 2.7 Робочий цикл LTE-U

Слід зазначити, що характеристики R'13 впливатимуть на рішення LAA-LTE та LTE-U. По-перше, неліцензійний спектр агрегується лише в низхідній лінії зв'язку у формі SDL, і планується лише агрегувати його в висхідній лінії зв'язку в наступному R'14. По-друге, R'13 визначає кількість сукупних компонентів, що дорівнює 32 (замість 5), що відповідає ширині сукупного каналу 640 МГц. Оскільки запланована смуга частот в діапазоні 5 ГГц містить 775 МГц, можливість приєднання до досить широкого неліцензійного спектру розширена.

### 2.3 LWA

На малюнку. 2.8 пояснює основні принципи LWA. У LWA, як і в попередніх двох рішеннях, Wi-Fi (неліцензійний спектр) використовується лише для передачі по низхідній лінії зв'язку.

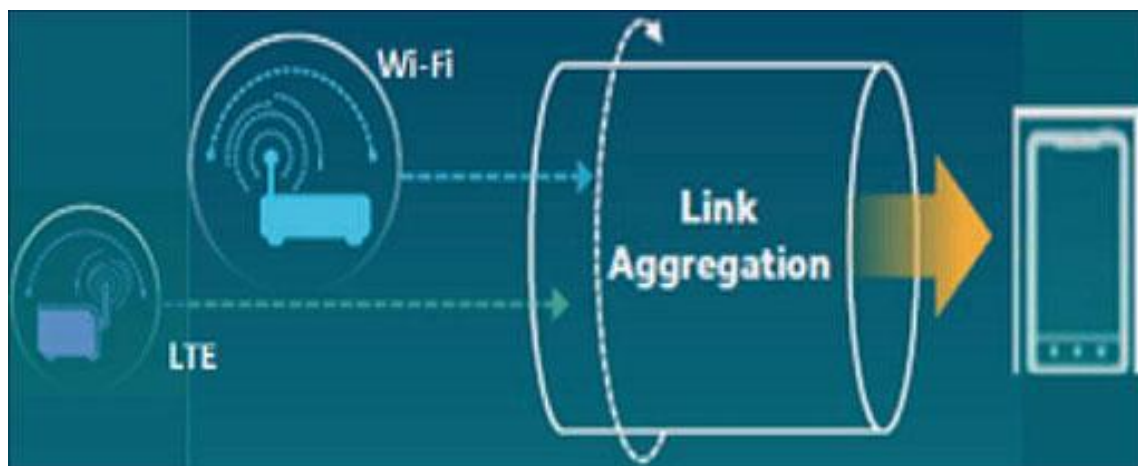


Рисунок 2.8 Принцип LWA

Головною перевагою LWA є те, що вона вимагає незначних змін у існуючому обладнанні (достатня кількість модернізацій програмного забезпечення, включаючи абонентське обладнання), та встановлення нових точок доступу Wi-Fi, коли це необхідно. На малюнку. 2.9. Показаний приклад реалізації LWA із комбінованим та несумісним розміщенням.

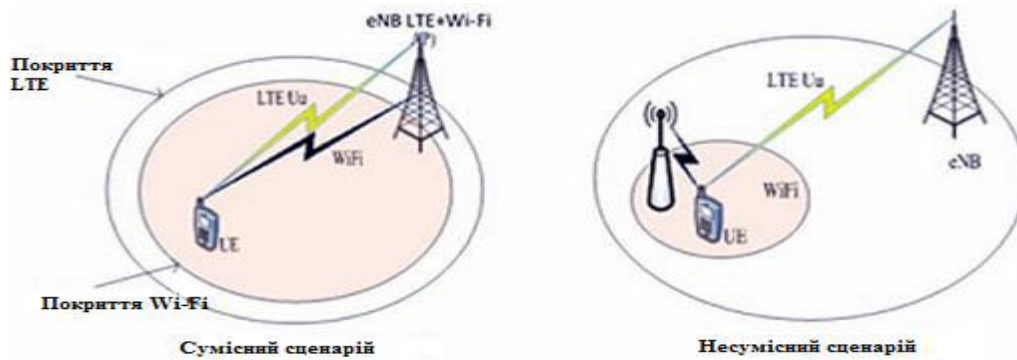


Рисунок 2.9 Сценарії LWA

## 2.4 Висновок до розділу 2

У цьому розділі буде проаналізовано рішення про впровадження додаткових радіочастотних ресурсів для LTE та розглянуто три рішення. Два з них - LAA-LTE (ліцензований допоміжний доступ LTE) і LTE-U (неліцензований LTE) - підключають LTE, агрегуючи спектр Wi-Fi в діапазоні 5 ГГц з основним (ліцензійним) спектром.

Третє підключення LTE та Wi-Fi, що агрегує рішення LWA для поєднання ліцензованого та неліцензійного спектру, розробляється в рамках 3GPP (Rel'13), що є новою (вдосконаленою) альтернативою Програмі взаємодії LTE та WLAN. Покращення полягає в агрегуванні даних, що передаються на рівні мереж радіодоступу LTE та Wi-Fi, де базові станції LTE розподіляють пакети даних для передачі через кожен мережу. Порівняно із запропонованою раніше технологією розвантаження Wi-Fi, це забезпечує краще управління ресурсами у зв'язку та покращує ефективність спектру в діапазоні 5 ГГц. Описане рішення фокусується на ситуації, коли оператор LTE має структуру Wi-Fi.

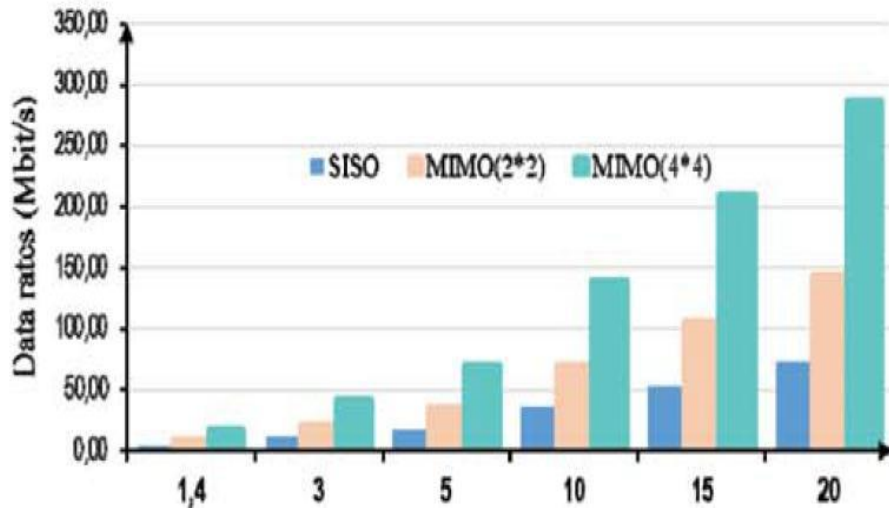
У наступній частині буде порівняно технології LTE та Wi-Fi. Запропоновано побудову комбінованої мережі LTE + Wi-Fi для розвантаження мережі та проаналізовано можливі методи вирішення проблеми перевантаження мережі, щоб вибрати найкращу технологію побудови мережі LTE + Wi-Fi.

## РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE.

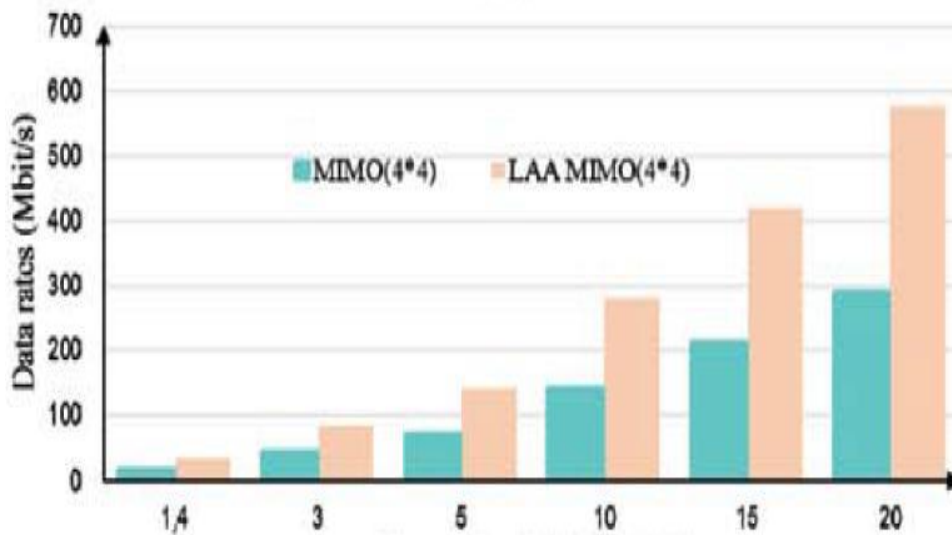
### 3.1 Залежність смуги пропускання LTE від кількості антен та залежність пропускної здатності LTE + LAA від відношення сигнал / шум і ширини каналу.

Для LTE як антени звичайна панельна антена з функцією крос-поляризації буде дуже близькою. Наприклад, вони використовуються в мережах GSM та 3G. Але є різниця - якщо для прийому в GSM і 3G зазвичай використовують дві поляризації, а для передачі використовується лише одна поляризація (схема 2Rx / 1Tx), то в LTE обидві поляризації повністю беруть участь у прийманні та передачі (2Rx / 2Tx). Це необхідно для впровадження технології MIMO2x2. Цього буде достатньо на першому етапі впровадження LTE. Крім того, пропускну здатність сектора можна збільшити, додавши ще одну крос-поляризовану антену. З'являться рішення 4Rx / 4Tx та MIMO4x4. Найголовніше - розширити антену на достатню відстань у просторі (близько 10 довжин хвиль).

Швидкість передачі даних LTE + LAA значно зростає із збільшенням кількості передавальної та приймальної антен та збільшенням пропускної здатності каналу: чим ширша смуга пропускання каналу, тим більша ємність LTE + LAA. Швидкість передачі даних LTE + LAA становить 575,1 Мбіт / с, а швидкість передачі даних LTE не використовує технологію LAA тільки 287,5 Мбіт / с. На рисунку 3.1 показано взаємозв'язок між швидкістю передачі даних LTE + LAA та пропускну здатністю каналу системи MIMO.



(а) Швидкість передачі даних LTE



(б) Швидкість передачі даних LTE + LAA

Рисунок 3.1 Зв'язок між швидкістю передачі даних LTE + LAA системи MIMO і пропускною здатністю каналу.

### 3.2 Збільшити агрегацію операторів LTE + LAA

Агрегація операторів (CA) дозволяє операторам мобільних мереж (MNO) поєднувати багатоконпонентні носії інформації (CC) у доступному спектрі для створення ширших каналів пропускної здатності для збільшення пропускної здатності та загальної пропускної здатності мережі. CA дозволяє MNO збільшувати

швидкість передачі даних і може використовуватися для поєднання ліцензованого спектру операторів та неліцензійного спектру, а також спектру в низхідній лінії зв'язку, висхідній лінії зв'язку або в обох випадках. Версія 3GPP 13 (Rel-13) LTE-Advanced Pro дозволяє агрегувати до 32 компонентних носіїв, кожна з пропускною здатністю до 20 МГц. Крім того, вдосконалене агрегування агрегації підтримує дублювання з частотним поділом (FDD) і дублювання часу (TDD). Отже, загальна смуга пропускання каналу може досягати 100 МГц. На рисунку 3.2 наведено приклад кластеризації п'яти компонентних несучих у смузі частот сусіднім способом.

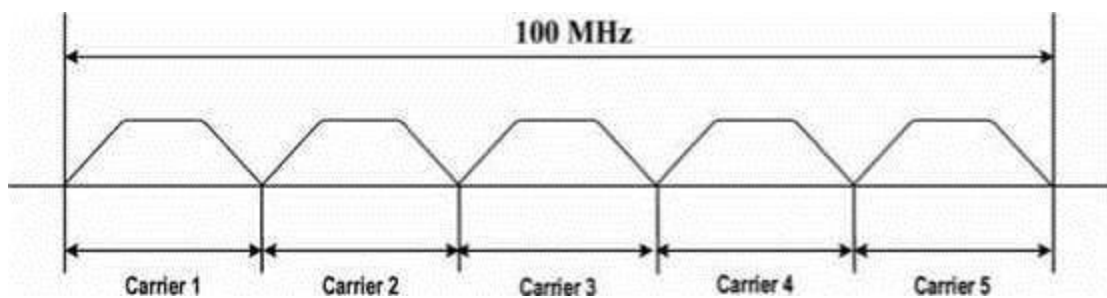


Рисунок 3.2 Агрегація внутрішньочастотного носія компонентних носіїв 5 \* 20 МГц

Оскільки жоден з цих постачальників послуг не має безперервного спектру 100 МГц, LTE-Advanced має три різні режими агрегування носіїв: міжсмуговий сусідній, внутрішньосмуговий несуміжний та міжколірний. На рисунку 3.3 показаний приклад агрегації трьох складових несучих у різних діапазонах частот.

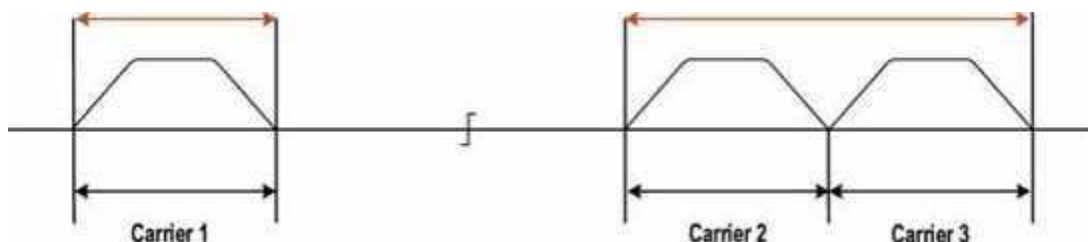


Рисунок 3.3 Агрегація міждіапазонного носія компонентних носіїв 3 \* 20 МГц

З фізичної точки зору збільшення швидкості передачі даних ( $\vartheta_{down}$ ) в LTE може бути визначено за такою формулою:



$$\vartheta_{down} = C_r \times I_{TBS} \times 1000 \times N_{MIMO}$$

Серед них  $C_r$  - це швидкість кодування;  $I_{TBS}$  - розмір блоку передачі в бітах як одиниця;  $N_{MIMO}$  - діаграма передавальної та приймальної антени. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Максимальна швидкість передачі даних LTE+LAA

Пропускна здатність каналу(МГц)		1,4	3	5	10	15	20
Кількість піднесучих		72	150	300	600	900	1200
Максимальна кількість ресурсних блоків		6	15	25	50	75	100
Модуляція та код схеми		28	28	28	28	28	28
Тип модуляції		64QAM	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM
Індекс транспортного блоку, $I_{TBS}$		26	26	26	26	26	26
Розмір блоку(біт)		4392	11064	18336	36696	55057	75376
Швидкість передачі даних LTE	SISO	4.2	10.6	17.5	35.1	52.5	71.9
	MIMO(2*2)	8.4	21.1	35.1	70.1	105.1	143.8
	MIMO(4*4)	16.8	43.3	70.1	140.1	210.1	287.5
Швидкість передачі даних LTE+LAA	MIMO(4*4)	33.5	84.4	139.9	280.1	429.1	575.1

Ефективність впровадження технології LAA можна оцінити, використовуючи радіочастоти в неліцензованому спектрі 5 ГГц. З фізичної точки зору, для доведення можливого збільшення потужності LTE може бути використана наступна формула Шеннона:

$$C = f_g \times \log_2(1 + SN)$$

Видно, що при  $C$  потужність каналу вимірюється в мегабітах в секунду (Мбіт / с); пропускна здатність каналу  $f$  вимірюється

Мегагерц (МГц); Відношення сигналу до перешкод виражається в децибелах (дБ). Ефективна потужність багаторазового введення багаторазового виходу (MIMO) визначається за такою формулою:

$$C = M \times f_g \times \log_2(1 + SN)$$

Де  $M$  являє собою кількість передавальної та приймальної антен. Зв'язок між потужністю системи MIMO та пропускною здатністю каналу показана на рисунку 3.4.

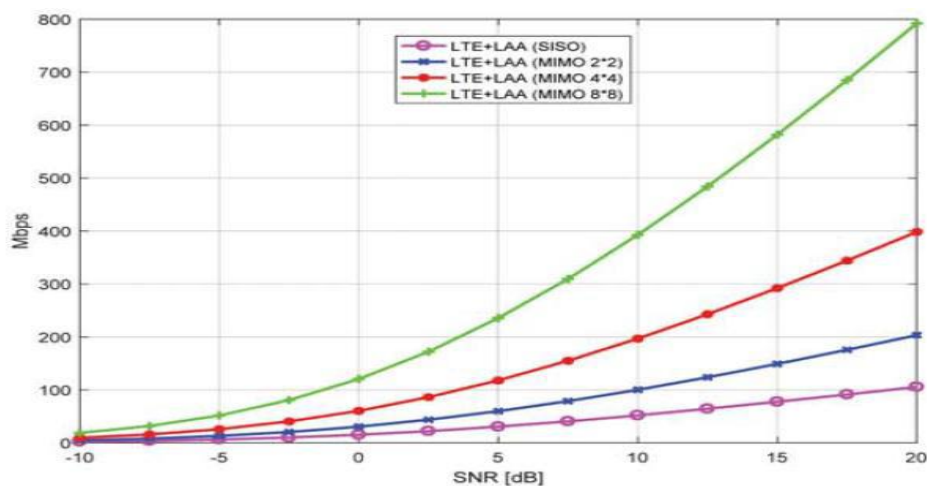


Рисунок 3.4 Зв'язок між потужністю системи MIMO і пропускною здатністю каналу

Завдяки об'єднанню ліцензованих носіїв LTE з одним або кількома неліцензійними операторами в діапазоні 5 ГГц можна створити додаткові системи підвищення потужності. Використовуйте технологію для оцінки потужності LTE. Для LAA ми використовуємо наступну формулу для розрахунку пропускної здатності системи LTE + LAA щодо SINR (відношення сигнал / шум) (рис. 4.3.2):

$$C = M \times (W_U + f_g) \times \log_2(1 + S/N)$$

Серед них  $W_U$  - пропускна здатність каналу в неліцензійному спектрі 5 ГГц (МГц).

Згідно з малюнками 4.4 та 4.5, LTE + LAA є більш потужним, оскільки він використовує сукупність ліцензованих LTE-носіїв та одного або декількох неліцензійних носіїв у діапазоні 5 ГГц. Однак потужність LTE + LAA значно зростає із збільшенням кількості передавальних та приймальних антен NMJMQ, збільшення пропускної здатності каналу та збільшення SINR. Потужність LTE + LAA становить 796,1 Мбіт / с (для MIMO 4 \* 4,  $W_U + f_g = 40$  МГц і SINR = 20 дБ), а потужність LTE (без технології LAA) (для MIMO 4 \* 4,  $f_g = 20$  МГц, SINR = 20 дБ) - лише 388,6 Мбіт / с.

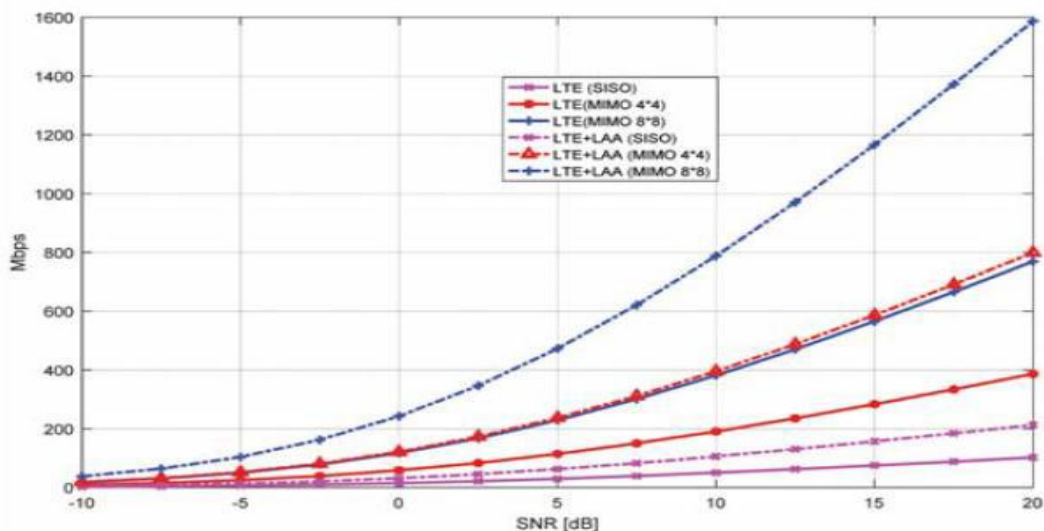


Рисунок 3.5 LTE+LAA Співвідношення між різними MIMO моделями

### 3.3 Розрахунок використання частотних ресурсів мереж LTE та Wi-Fi. Порівняння технологій LTE та Wi-Fi. Створення комбінованої мережі LTE + Wi-Fi.

Технологія бездротового доступу LTE та Wi-Fi встановлює протокол PHY / MAC, різницю в дисперсії в процесі та стандартах (фізичний контроль та контроль доступу до засобів масової інформації), а також відсутність специфікацій для

пом'якшення взаємних перешкод, усі з яких наголошують на створенні неліцензійного спектру ресурси для бездротового доступу. Ця здатність у різномірному розподілі.

Для системи Wi-Fi не існує механізму контролю потужності, і при доступі до каналу він буде передавати з максимально доступною потужністю. З іншого боку, в системі LTE передача відбувається в кожному підкадрі (з інтервалом в 1 мілісекунду), що може запобігти системам, які фізично близькі до Wi-Fi, які намагаються отримати доступ до спільних ресурсів неліцензійного спектра.

ЕІСІС (вдосконалена координація міжмережових перешкод) використовується для підвищення ефективності сценаріїв роботи LTE та Wi-Fi. ЕІСІС пропонує покращити зменшення міжсистемних перешкод, використовуючи ABS (майже порожні підкадри), що дозволяє вузлам з низьким енергоспоживанням використовувати ці підкадри на краю комірки.

Однак вузол LTE + LAA вимкне користувальницькі послуги у всіх підкадрах ABS, тим самим уникаючи або зменшуючи вплив перешкод на неліцензійний ресурс, що використовується спільно. На додаток до ABS, для сприяння розумному співіснуванню необхідно збирати адаптивні звукові канали в системах Wi-Fi та використовувати системи управління живленням, орієнтовані на SINR (відношення сигнал / шум та відношення шуму) до систем LTE. Приклад порівняння LTE / Wi-Fi наведено в таблиці 3.2

Табл.3.2 Порівняння технологій LTE та Wi-Fi

	LTE	Wi-Fi
Діапазон піднесучих, кГц	15	312.5
Кількість піднесучих	1200	56
Ефективність системи ( FDD)	$(15 \text{ kHz} * 1200) / 20$ МГц = 0.9	$(312.5 \text{ кГц} * 56) / 20$ МГц = 0.875
Тривалість символу, ps	66.7	3.2
Циклічний префікс	4.7 ps	800 ns (400 ns)
Ефективність системи (TDD)	$66.7 / (66.7+4.7) =$ 0.934	$3.2 / (3.2 + 0.8) = 0.8$ $3.2 / (3.2 + 0.4) = 0.889$
Загальна ефективність	$0.9 * 0.934 = 0.841$	$0.875 * 0.8 = 0.7$ $0.875 * 0.889 = 0.778$

Як показано на рисунку 3.6, результати моделювання цих стратегій співіснування LTE / Wi-Fi та розрахунків ефективності з використанням радіочастотного спектру показують, що продуктивність системи LTE перевищує продуктивність системи Wi-Fi, дозволена системою LTE. Можна отримати піковий коефіцієнт, який на 8-15% перевищує показник у системі Wi-Fi. Крім того, при обчисленні максимально допустимих втрат лінії згідно з малюнком 3.7.

енергетичний бюджет каналу LTE приблизно на 14 дБ кращий, ніж у каналу Wi-Fi.

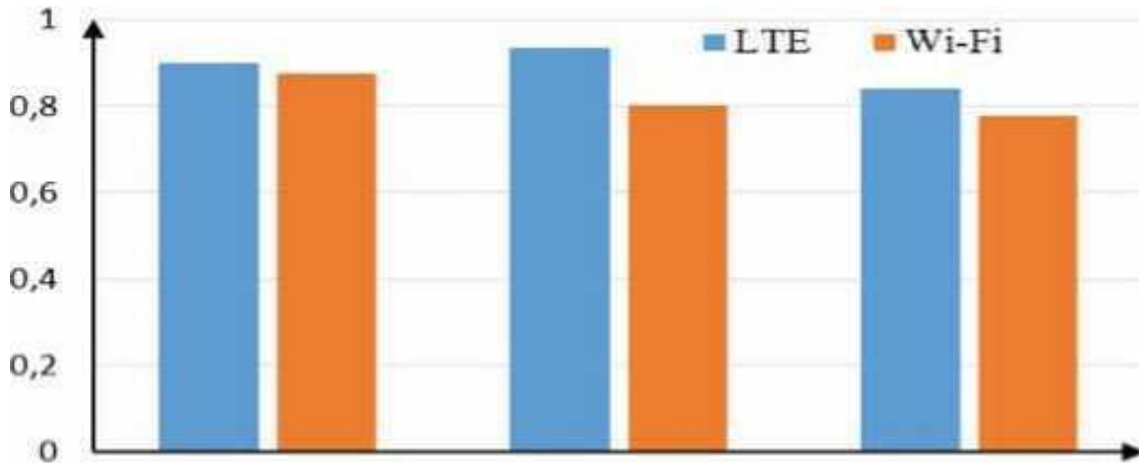


Рисунок 3.6 Порівняння продуктивності LTE і Wi-Fi

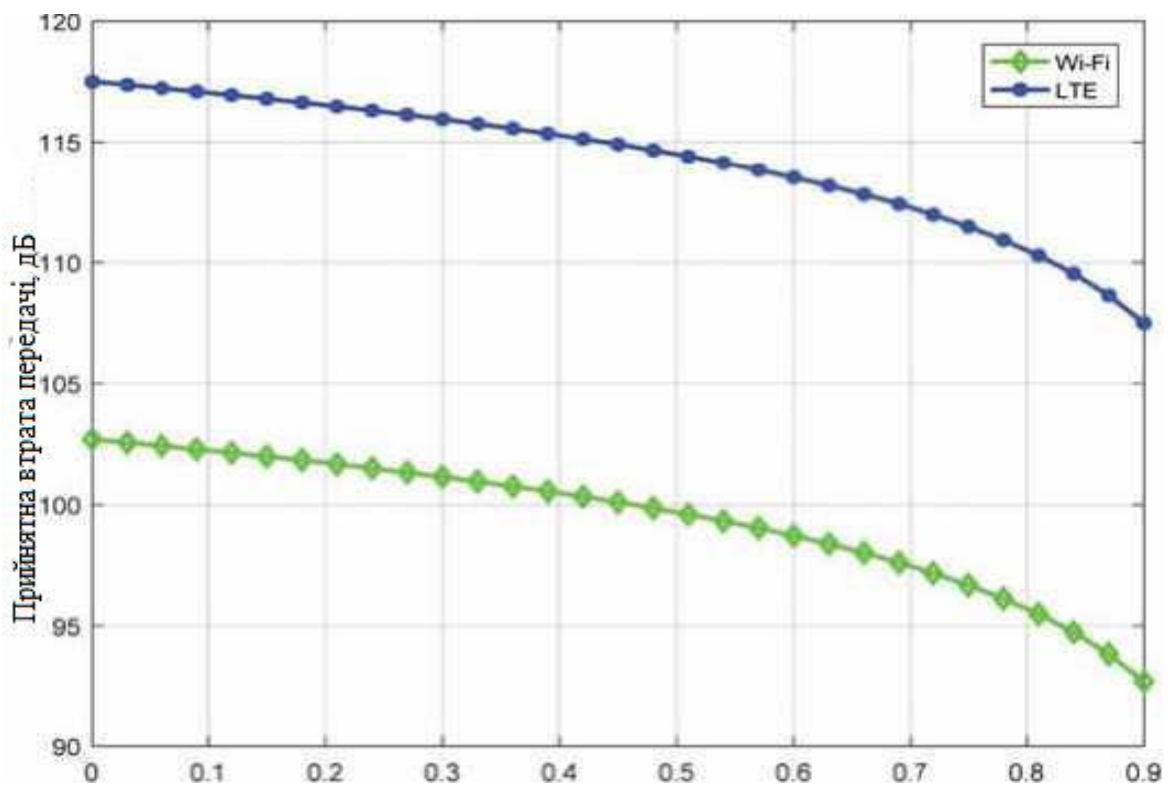


Рис. 3.7 Залежність прийнятної втрати передачі від площі навантаження

LTE включає мережу E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) та Evolved Packet Core (EPC). Що стосується мереж Wi-Fi, ви можете довіряти доступу до Wi-Fi (мережі Wi-Fi на рівні оператора, які використовують

безпечні методи автентифікації), і ненадійні (загальнодоступні відкриті точки доступу TD, домашня бездротова локальна мережа).

Для забезпечення належної роботи технології розвантаження Wi-Fi необхідно ввести такі елементи.

1. Домашній агент HA (Home Agent) - маршрутизатор у локальній мережі, що використовується для відправки пакетів даних з мережі Wi-Fi. HA також надсилає пакети даних, отримані в EPC, на термінал користувача (обладнання користувача, UE) через Wi-Fi.

2. Шлюз мобільного доступу (MAG), який контролює рух UE і повідомляє про це EPC.

3. Місцевий якір мобільності (LMA) - це особливий випадок взаємодії між HA та MAG. LMA прив'язує свою IP-адресу до IP-адреси UE, щоб пакети даних, отримані в EPC, надалі надсилалися користувачеві через MAG [19]. Інші компоненти також використовуються для ненадійного доступу.

4. Шлюз еволюціонованих пакетних даних (ePDG), який виконує функцію MAG у надійній мережі.

5. Шлюз бездротового доступу WAG (Wireless Access Gateway) - це маршрутизатор, який використовується для керування пакетами даних у ePDG. WAG гарантує, що пакет даних надсилається до EPC і що пакет даних надходить до UE лише з ePDG.

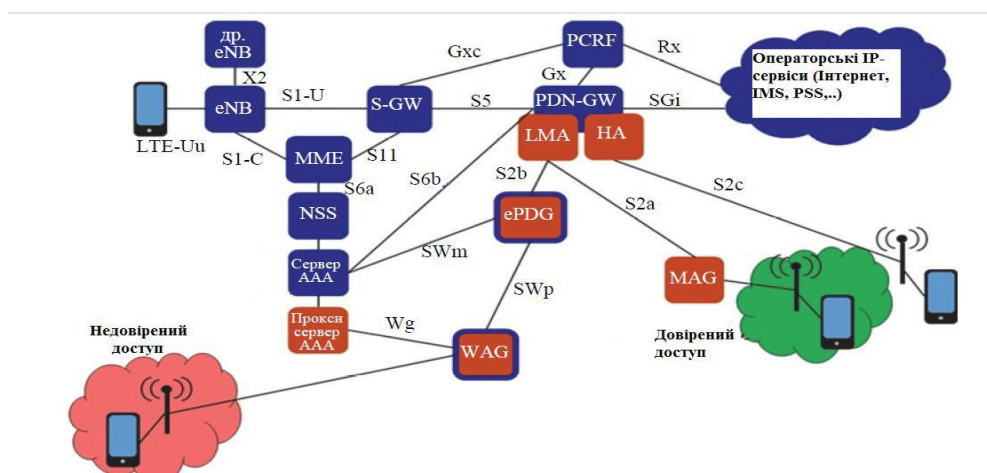


Рисунок 3.8 Структура об'єднаної мережі LTE + Wi-Fi

Інтерактивно використовуйте мобільний проксі-протокол IP версії 6 PMIPv6 (Proxymobile IPv6) на інтерфейсах S2a та S2b та версію 4 DSMIPv6 (подвійний стековий мобільний IPv6) на інтерфейсі S2c, використовуючи протокол версії 6 IP. Протокол PMIPv6 забезпечує взаємодію між MAG і LMA для надійного доступу, а також розглядає використання WAG і ePDG для надійного доступу (крім того, тунельне з'єднання організовано між UE і ePDG за допомогою протоколу безпеки IPsec).

Протокол DSMIPv6 підтримує функцію одночасного використання IPv4 та IPv6 для формування тунелю. Не має значення, який тип доступу (надійний чи ненадійний) використовується для належної роботи протоколу.

Робота протоколу DSMIPv6 набагато простіша: протокол є спільним для обох Wi-Fi-доступів і не вимагає багатьох інших елементів. Однак реалізація цього протоколу вимагає від UE його підтримки.

Оцініть ефективність впровадження розвантаження Wi-Fi.

Згідно з мобільним звітом Ericsson, на малюнку 3.9 показано розподіл видів трафіку станом на лютий 2015 року. Завантаження та оновлення відео, аудіо та програм ми розглядаємо як "інтенсивний" трафік. Забезпечений трафік може бути розвантажений у мережі Wi-Fi.



Рисунок 3.9 Розподіл трафіка



Давайте оцінимо ефективність використання технології Wi-Fi 802.11n для досягнення розвантаження мереж LTE у центрі Києва. Для того, щоб оцінити пропускну здатність та пропускну здатність мережі без використання розвантаження Wi-Fi, ми використовуємо дані середньої ефективності спектру стільники LTE та обчислюємо середню пропускну здатність базової станції LTE (eNB):

$$R_{FDD} = S_{FDDaverage} * W, \text{ Мбит/с};$$

Де  $S_{FDDaverage}$ , середня спектральна ефективність, біт/с/Гц;

W- ширина каналу, МГц.

Далі обчислимо сумарну пропускну здатність мережі LTE у напрямку до абонента:

$$R_{NW} = R_{eNB} * N_{eNB}, \text{ Гбіт/с};$$

Де  $R_{eNB}$  – середня пропускну здатність eNB, Мбіт/с;  $N_{eNB}$  - число eNB.

Розрахуємо усереднений трафік абонента в годину найбільшого навантаження (ГНН):

$$R_{BH} = \frac{T_m * N_{bit}}{N_d * N_{BH} * t_h}, \text{ кбіт/с}$$

Де  $T_m$  - величина трафіка використана користувачем за місяць (Б);

$N_{bit}$  – число біт в байті;  $N_d$  – число діб в місяці;  $N_{BH}$  – кількість годин найбільшого навантаження;  $t_h$  – число секунд в годині, с.

Усереднений трафік абонента на лінії «вниз» в ГНН:

$$R_{DL} = R_{BH} * S_{DL}, \text{ кбіт/с};$$

Де  $S_{DL}$  частка трафіку, що припадає на лінію «вниз».

Ємність мережі складе:

$$N_{sub} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$$

Використовуючи дані про стандарт 802.11n, подібні розрахунки проводились у мережах LTE із використанням розвантаження через Wi-Fi. Результати розрахунку наведені в таблиці. 3.3.

Таблиця 3.3 Оцінка ефективності застосування технології Wi-Fi offloading

Параметр	Без застосування Wi-Fi offloading	Із застосуванням Wi-Fi offloading		
		100ТД/км <sup>2</sup>	200ТД/км <sup>2</sup>	350ТД/км <sup>2</sup>
Середня пропускна здатність NB / ТД, Мбіт / с	51	97		
Середня швидкість передачі «Важкого» трафіку, Мбіт / с	1,7	9,7		
Площа покриття мережі LTE, км <sup>2</sup>	69			
Площа покриття мережі Wi-Fi для розвантаження мережі LTE, км <sup>2</sup> (з урахуванням поверховості забудови)	-	46	92	160
Максимальна ємність мережі, тис. чол.	38	7028	13987	24426

Відповідно до таблиці. 3.3 Внаслідок прийняття стандарту TD 802.11n середня швидкість передачі даних у мережі, яка використовує розвантаження Wi-Fi, вища. У сучасних системах радіодоступу можуть бути розглянуті умови поширення радіохвиль в каналі зв'язку, і може бути обрана найбільш відповідна схема модуляції та кодування MCS (схема модуляції та кодування) для адаптації до цих умов. Квадратурна амплітудна модуляція QPSK / 16QAM / 64QAM може поєднуватися з шумостійким кодуванням на різних швидкостях на різній відстані від TD. З метою підтримання якості послуг, що надаються, рекомендується розглянути можливість переміщення 30-метрового індикатора швидкості від TD. Співвідношення відкритої площі до площі забудови враховується при розрахунку, яке дорівнює 1: 3, тобто середньої кількості поверхів-5 поверхів. У майбутньому застосування нового стандарту 802.11ac збільшить швидкість передачі даних у мережі Wi-Fi до 2340 Мбіт / с на бездротовому інтерфейсі. Середня швидкість передачі "зайнятих" послуг визначається із розрахунку 10 активних користувачів на сектор eNB або TD Wi-Fi. "Зайнятий" трафік буде передаватися з більшою швидкістю, що покращить якість послуг, що надаються.

Покриття мережі LTE становить:

$$S_{LTE} = S_{eNB} * N_{eNB} \text{ (км}^2\text{)}$$

Де  $S_{eNB}$  – площа покриття трисекторного сайту, км<sup>2</sup>;  $N_{eNB}$  – число eNB.

Тоді необхідне число для покриття всього міста складе:

$$N_{eNB} = \frac{S_{LTE}}{S_{eNB}} = \frac{S_K}{S_{eNB}}$$

Площа центру Києва становить  $S_K = 69$  км<sup>2</sup>, враховуючи поверхню будинку, площа покриття становить 153 км<sup>2</sup>. Розраховане за середнім рівнем розвитку міста, площа покриття земель трьох секторів становить  $S_{eNB} = 0,54$  км<sup>2</sup>.

Отже, кількість eNB, необхідних для покриття центру міста, буде  $N_{eNB} = 130$ , але ця кількість eNB не може забезпечити пропускну здатність 700 000 людей

у центрі міста (Таблиця 2). Згідно з результатами розрахунку, коли щільність становить 350 ТД / км<sup>2</sup> с, Wi-Fi зможе покрити центр Києва, забезпечуючи широкопasmовий доступ до Інтернету не тільки для мешканців, але і для персоналу робочого та пішохідного центрів. Таким чином, загальна кількість туристів і туристів становить приблизно. Крім того, пропускна здатність цієї мережі LTE + Wi-Fi перевищила в 10 разів попит у центрі міста (табл. 2). У зв'язку з цим на першому етапі впровадження технології рекомендується розгортати мережі Wi-Fi там, де ресурсів не вистачає та переповнені. Потреби користувачів продовжуватимуть зростати в геометричній прогресії. Тому до 2022 року мережі Wi-Fi на рівні оператора потрібно буде використовувати для повного покриття центру Києва, тобто в розгортанні 350 ТД / км<sup>2</sup>(рис. 3.10).

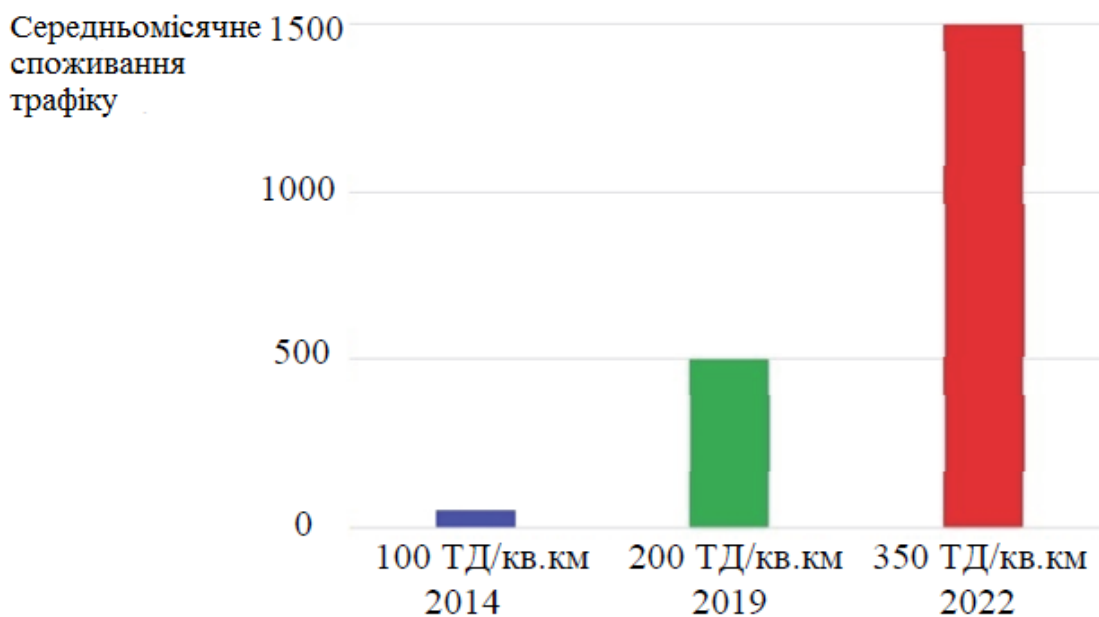


Рисунок 3.10 Оцінка ефективності впровадження технології розвантаження через Wi-Fi

Моделювання процесу переходу UE від LTE до мережі Wi-Fi.

Розглянемо площу 1 км<sup>2</sup>. Базова станція eNB розташована в центрі сайту. За середніх умов розвитку міст радіус ста eNB становить 0,53 м. Ми вивчаємо поведінку користувачів UE у комірці. Передплатники розподіляються на сайті випадковим чином відповідно до єдиного правила розподілу. Кількість

користувачів на площі 1 км<sup>2</sup> дорівнюватиме 1000. Кількість TD Wi-Fi в цій області буде різною для того, щоб дослідити кількість користувачів, які переходять з LTE на Wi-Fi, щільність TD на 1 км<sup>2</sup>. Для того, щоб визначити пікові зміни швидкості передачі даних у мережі LTE, коли деякі користувачі переходять до мережі Wi-Fi, припустимо, що в зоні покриття eNB є 20 активних користувачів. Відповідно до таблиці. 3.3 Середня пропускна здатність eNB становить 51 Мбіт / с, а середня смуга пропускання Wi-Fi 802.11n TD - 97 Мбіт / с. Приклад зони дослідження, розподілу користувачів по ній, зона обслуговування становить 1 eNB, а щільність становить 100 TD / км<sup>2</sup>. Показано на рис. 3.11.

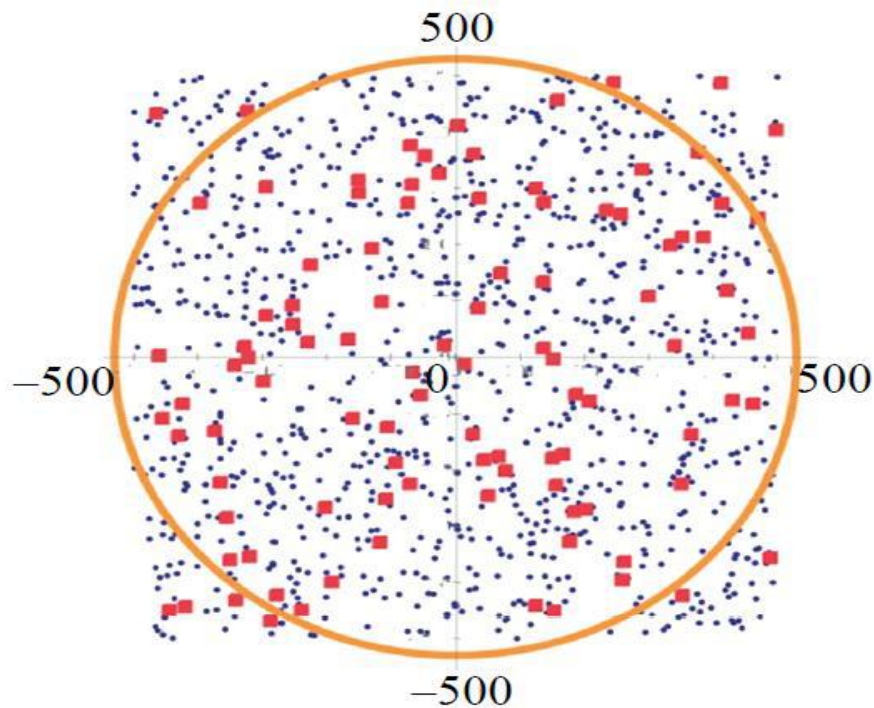


Рисунок 3.11 Розподіл абонентів і точок доступу на місцевості, де точками позначені абоненти, квадратами - точки доступу, коло - межа зони обслуговування eNB

Якщо UE знаходиться в області стільникового з поточним ІД-кодом, UE приєднується до TD. Ця область буде колом, описаним шестикутником, що оточує зону обслуговування антени eNB. Радіус цієї області  $r = 0,53$  м. Відповідно до розташування кожного користувача, UE, підключений до TD, може бути кількісно

визначений, беручи до уваги, що UE знаходиться в діапазоні Wi-Fi TD, який становить 30 м, показано на рис. 3.12.

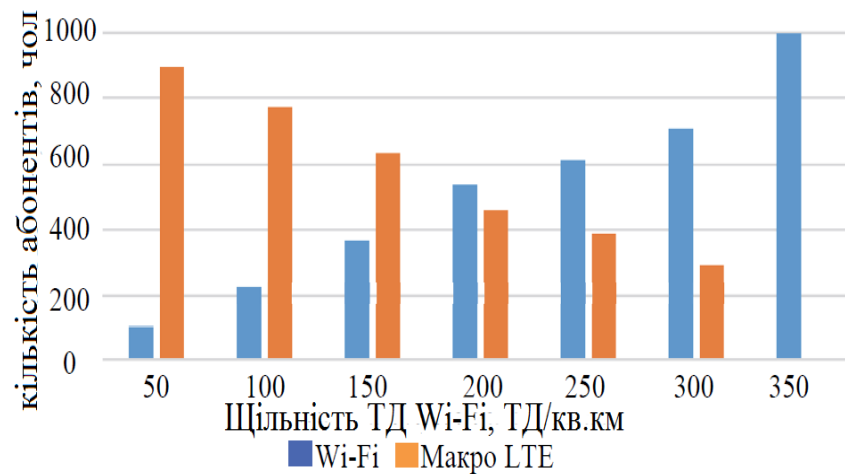


Рисунок 3.12 Кількість UE, переведених в мережу Wi-Fi

Навіть кількість абонентів, що передають у мережу Wi-Fi зі швидкістю 200 TD / км<sup>2</sup>, перевищує кількість, що залишилася в мережі LTE. Мережа Wi-Fi повністю накладається на мережу LTE зі швидкістю 350 TD / км<sup>2</sup>. Отже, всі користувачі цього оператора знаходяться в межах рівня оператора Wi-Fi. На малюнку. На малюнку 3.13а показано взаємозв'язок між середньою швидкістю передачі даних та щільністю TD в мережі LTE.

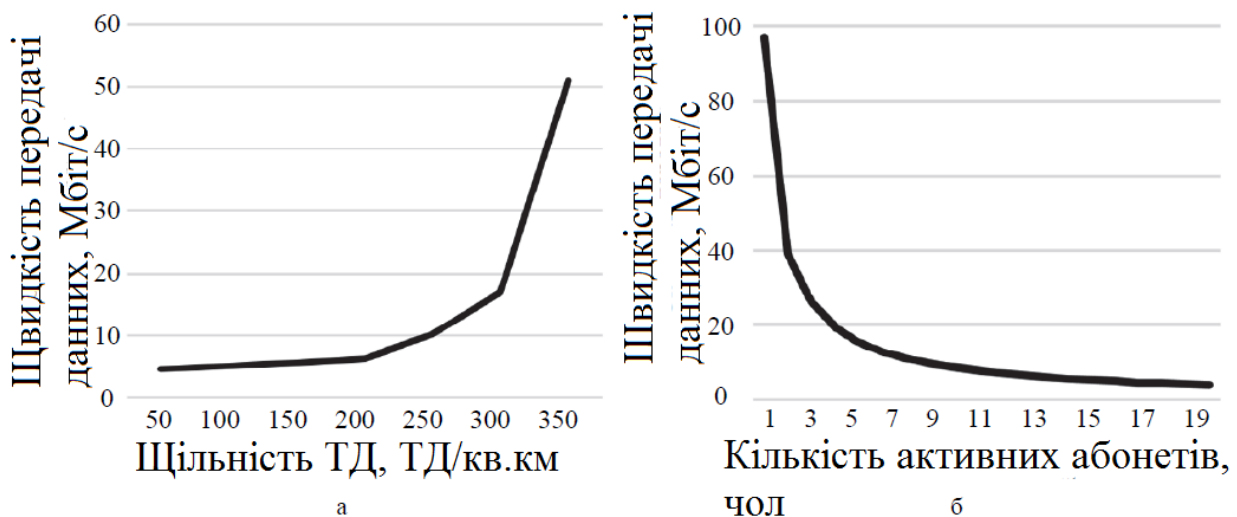


Рисунок 3.13 Залежність середньої швидкості передачі даних: в мережі LTE від щільності точок доступу (а); в мережі Wi-Fi від кількості абонентів (б).

Швидкість передачі даних у мережі LTE значно зростає із збільшенням щільності TD: чим вища щільність, тим більша ймовірність того, що активні користувачі потраплять у зону покриття TD Wi-Fi. При щільності 350 TD / км<sup>2</sup> швидкість передачі даних у мережі LTE становить 51 Мбіт / с, а якщо не використовується технологія розвантаження через Wi-Fi, вона становить лише 2,6 Мбіт / с.

На рисунку 3.13 (b) показано взаємозв'язок між швидкістю передачі даних користувача TD у мережі Wi-Fi та кількістю користувачів, підключених до TD. Щільність 350 TD / км<sup>2</sup> може забезпечити передачу до мережі Wi-Fi усіх 20 активних користувачів, коли це необхідно. Навіть якщо ми припустимо, що всі 20 абонентів передаються до мережі Wi-Fi через TD, швидкість передачі даних кожного з них становитиме 3,9 Мбіт / с (рис. 3.13, b). Якщо ці користувачі перебувають у макромережі LTE, швидкість становитиме 2,6 Мбіт / с. Тому в межах швидкості передачі даних TD Wi-Fi найменш вдалий варіант частоти звернень усіх користувачів збільшиться в 1,5 рази. Згідно з малюнком 2, у всіх інших випадках швидкість буде вищою, рис. 3.13. Існування повного покриття не завжди передбачає передачу всіх абонентів до мережі Wi-Fi, оскільки необхідно враховувати конкретне значення та тип навантаження на eNB та TD. У майбутньому, коли навантаження збільшується, Wi-Fi TD може бути перевантажений. Хоча абонент буде знаходитися в зоні покриття TD, користувач все одно буде підключений до мережі через eNB. . Виходячи з цього, одним із подальших дослідницьких завдань у цій галузі є використання таких правил, як Spillover, Weighted Round Robin та використання черг з меншим навантаженням (спочатку найменше навантаження).

### **3.4 Висновок до розділу 3**

Найбільш перспективною технологією розвантаження мереж LTE є технологія Wi-Fi. У цій статті проаналізовано можливі методи вирішення проблеми мережевої перевантаженості, доведено переваги технології Wi-Fi та побудована мережа LTE + Wi-Fi, в якій структура мережі LTE додає такі компоненти, як MAG, LMA, ePDG та WAG . Результати, отримані в результаті розрахунку та моделювання, доводять ефективність впровадження технології за рахунок збільшення швидкості передачі даних, збільшення клієнтської бази та усунення проблеми радіопокриття. Ці фактори роблять технологію розвантаження LTE через Wi-Fi привабливою для мобільних операторів.



## ВИСНОВКИ

Досліджено питання по впровадженню, та вдосконалення пропускної здатності мереж LTE.

В ході дослідження було виявлено, що за для вирішення проблеми перевантаження базових станцій, для збільшення швидкості передічі даних, та запобіганню великого браку ресурсів, слід використовувати спільну роботу таких стандартів, як LTE-LAA і WIFI, в спільному каналі на діапазоні 5 ГГц, де саме в структуру LTE-LAA були включенні новітні техногічні рішення для організації доступу до мережі, а саме FBE, LBE, LBT і CCA.

Також було проведено оцінку ефективності впровадження технології LAA. З розрахунків, які були проведенні під час дослідження слідує те, що потужність стандарту LTE-LAA значно більша, оскільки при її роботі використовується агрегація ліцензованого носія LTE, з допоміжними носіями на частотах 5 ГГц.

Під час дослідження спільного інснування двох технологій LTE і WIFI, були представленні результати розрахунків, саме ефективності використання частотного ресурсу в рамках мереж LTE і WIFI, залежність максимально допустимих втрат на лінії щодо завантаження стільників.

Згідно з цим дослідженням, ми можемо зробити висновок, що при постійному зростанні трафіку поступове впровадження цієї технології може успішно вирішити проблеми перевантажень базових станцій та недостатніх мережевих ресурсів мобільних операторів у великих містах.

Результати показують, що використання неліцензійного радіочастотного спектру в діапазоні частот 5 ГГц в мережі LTE + LAA може значно збільшити швидкість передачі даних.

Також описано побудову мережі LTE + Wi-Fi, в якій такі компоненти, як MAG, LMA, ePDG та WAG, додані до структури мережі LTE.

Результати, отримані в результаті розрахунків та моделювання за рахунок збільшення швидкості передачі даних, збільшення клієнтської бази, усунення проблеми радіохвильового покриття (середня швидкість передачі даних у мережах, які використовують розвантаження Wi-Fi, більша за рахунок того, що 802.11) показує ефективність технології . Використовуйте TD стандарт n).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. (<https://habr.com/company/beeline/blog/129694/>)
2. (<https://112.ua/statji/zachem-nam-nuzhna-4g-416630.html>)
3. (<https://www.tele2.lv/ru/chastnym-klientam/internet/polezno1/ckorost-peredachi-dannyh/>)
4. <http://internetua.com/zacsem-izmeryat-skorost-4g>
5. <http://www.etsi.org/images/files/ETSITechnologyLeaflets/ShortRangeDevices.pdf>
6. Mobile Broadband Evolution Towards 5G: 3GPP Rel-12 & Rel-13 and Beyond. 4GAmericas. June 2015.
7. 3GPP TR 36.889 v13.0.0 (2015-06). Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Licensed- Assisted Access to Unlicensed Spectrum. – Technical Report (Release 13). 2015.
8. ECC Report 192. The Current Status of DFS (Dynamic Frequency Selection) In the 5 GHz frequency range. – February 6, 2014.
9. CEPT Report 57. To study and identify harmonized compatibility and sharing conditions Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks in the band 5350-5470 MHz and 5725-5925 MHz ('WAS/RLAN extension bands') for the provision of wireless broadband services. Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate. – March 6, 2015.
10. ECC/DEC/(04)08. ECC Decision Of 09 July 2004 on the harmonized use of the 5 GHz frequency bands for the implementation of Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLANs). – Amended 30 October 2009.
11. ETSI EN 301 893 v1.8.1 (2015-03). Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive.– Harmonized European Standard. 2015.
12. Аль-Амері Х.А., Степутін А.Н. Особливості використання неліцензійного радіочастотного спектру в гетерогенних мережах стандарту LTE // Актуальні проблеми інфотелекомунікацій в науці і освіті. Зб. науч. с.: 39-44
13. Thalanany S., Irizarry M., Saxena N. License-Assisted Access Considerations. IEEE Communications Standards Magazine, June, 2017, pp. 106-112
14. 3GPP TR 36.889 v13.0.0 (2015-06). Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Licensed Assisted Access to Unlicensed Spectrum. - Technical Report (Release 13).

15. Maglogiannis V., Naudts D., Shahid A., Giannoulis S., Laermans E., Moerman I. Cooperation Techniques between LTE in Unlicensed Spectrum and Wi-Fi towards Fair Spectral Efficiency. Department of Information Technology, Ghent University, Belgium, 2017. 26 p
16. Alexandre K., Frank Y. LTE in Unlicensed Band: Medium Access and performance evaluation. IKT 590 Master Thesis in spring 2015, University of Agder, 2015. 80 p
17. Нікітіна А.В., Рижков А.Є. Мережі радіодоступу четвертого покоління. Стандарт LTE: технології та процедури. СПб .: СПбГУТ, 2012. 84 с.
18. IETF RFC 5944. IP Mobility Support for IPv4, Revised [Електронний ресурс]. 2010. Режим доступу: <http://www.ietf.org/proceedings/86/rfc/rfc5944.txt>
19. IETF RFC 5213. Proxy Mobile IPv6 [Електронний ресурс]. 2008. Режим доступу: <https://tools.ietf.org/html/rfc5213>
20. Тихвинський В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Мережі мобільного зв'язку LTE: технології та архітектура. М .: Еко-Трендз, 2010. 284с.
21. 3GPP Specification: 23.234. 3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking; SystemDescription [Електронний ресурс]. 2012. Режим доступу: <http://www.3gpp.org/DynaReport/23234.htm>
22. 3GPP Specification: 23.402. Architecture Enhancements for non-3GPP Accesses [Електронний ресурс]. 2013. Режим доступу: <http://www.3gpp.org/DynaReport/23402.htm>
23. 3GPP Specification: 24.303. Mobility Management based on Dual-Stack Mobile IPv6; Stage 3 [Електронний ресурс]. 2013. Режим доступу: <http://www.3gpp.org/dynareport/24303.htm>
24. Ericsson Mobility Report [Електронний ресурс]. 2015. Режим доступу: [www.ericsson.com/res/docs/2015/ericsson-mobility-report-feb-2015-interim.pdf](http://www.ericsson.com/res/docs/2015/ericsson-mobility-report-feb-2015-interim.pdf)
25. 3GPP Specification 25.912. Feasibility Study for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) [Електронний ресурс]. 2012. Режим доступу: <http://www.3gpp.org/DynaReport/25912.htm>
26. Варукіна Л. Вправа з планування радіомереж LTE, а також про технічні передумови об'єднання операторів [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.mforum.ru/arc/20110520\\_LTE\\_RNP\\_Varukina\\_180511.pdf](http://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf)
27. Gast M.S. 802.11ac: A Survival Guide. O'Reilly Media, 2013. 152 p.
28. Функція балансування навантаження (Load Balancing) між двома WAN-портами на ZyWALL [електро-тронний ресурс]. Режим доступу: <http://zyxel.ru/kb/1443>
29. [Електронний ресурс Вікіпедія] <https://uk.wikipedia.org/wiki/LTE>