

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Пояснювальна записка**

до бакалаврської роботи

на тему: “ Дослідження технічних аспектів побудови мережі доступу на  
основі технології 4G ”

Виконав: студент 4 курсу, групи  
ТСД-48  
спеціальності

---

172 Телекомунікації і радіотехніка

---

(шифр і назва спеціальності)

КОШИК Є.М.

---

(прізвище та ініціали)

Керівник

---

(прізвище та  
ініціали)

Рецензент

---

(прізвище та  
ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_

Київ - 2021

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
<u>1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G.....</u>	<u>10</u>
1.1. Стільниковий зв'язок 5G .....	10
1.2. Безпека мережі.....	13
1.3. Нарізка мережевих ресурсів (Network Slicing) .....	15
<u>2. НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕХОДУ ДО 5G.....</u>	<u>16</u>
2.1. Загальна необхідність.....	16
2.2. Переваги та перспективи впровадження.....	25
2.3. Практичні переваги .....	33
<u>3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ АСПЕКТІВ ПОБУДОВИ 5G .....</u>	<u>35</u>
3.1. Архітектура мережі .....	35
3.2. Побудова мережі .....	54
3.3. Частоти.....	66
ВИСНОВКИ .....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ .....	70

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Wi-Fi	Wireless Fidelity	Технологія бездротової локальної мережі
IoT	Internet of things	Концепція обчислювальної мережі фізичних предметів ( «речей»).
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	Стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії з низькими обсягами обміну даними.
IEEE 802.11		Набір стандартів зв'язку для комунікації через бездротову локальну мережу
PHY	Physical layer	Абревіатура для фізичного рівня моделі OSI
CSMA/CA		Мережевий протокол прослуховування
CSMA/CD		Прослуховування та виявленням колізій
RTS	Request to Send	Запит на відправку
CTS	Clear to send	Рішення відправки
ACK		Автономна система керування
AP	Access Point	Точка доступу
BSS	Basic Service Set	Основна зона обслуговування
DS	Distribution System	Система розподілу
ESS	Extended Service Set	Розширена зона обслуговування
AES		Симетричний алгоритм блочного шифрування
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol	Протокол інтеграції тимчасового ключа у протоколи захищеного бездротового доступу
ISO/OSI	open systems interconnection	Базова Еталонна Модель Взаємодії Відкритих Систем
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Метод модуляції сигналу, який використовується в бездротових мережах.
FHSS	Frequency Hopping	Метод передачі інформації по радіо,

	Spread Spectrum	особливість у частій зміні несучої частоти
SS	Spread Spectrum	Зниження рівня випромінювання.
LLC	Logical Link Control	Підрівень управління логічним зв'язком - за стандартом IEEE 802
Ad-Hoc		З'єднання (точка-точка)
MN	Mesh network	Mesh-мережі
BLE	Bt. Low Energy	Bluetooth с низким енергоспоживанням
LTE-M	enhanced Machine Type Comm.	Покращена комунікація типу машини
MIMO	multiple in/out	Системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами.
M2M		Технологія надійні передачі даних
ZigBee		Бездротовий стандарт передачі даних
WirelessHart		Технологія для бездротових пристроїв
MiWi		Пропріетарний бездротової протокол
6LoWPAN	Low power Wireless Personal Area Networks	Стандарт взаємодії по протоколу IPv6 поверх малопотужних бездротових персональних мереж стандарту IEEE 802.15.4
LPWAN	Low-power Wide-area Network	Бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на дальні відстані, розроблена для розподілених мереж телеметрії, межмашинного взаємодії та інтернету речей
PLC	programmable logic controller	Програмований логічний контролер
CS	Carrier sense	Імовірнісний мережевий протокол каналного рівня
B2G	Government-to-Business	Взаємовідносини між державою і бізнесом

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Існуюча тенденція використання технології стільникового зв'язку, приводить до того, що користувачі мають безпосередній безпроводовий високошвидкісний доступ до Інтернету. Різкий зріст придбаних приладів для використання удома, або у інших містах безпосереднього скупчення людей, дозволяє користувачам мати постійний доступ до мережі інтернет залежно від покриття та стабільності стільникового зв'язку.

Все більше з'являється приладів які використовують інтернет з'єднання. Побутові прилади оснащуються процесорами, та програмним забезпечення з підтримкою бездротового зв'язку, що в свою чергу дозволяє користувачу керувати приладами, та об'єднувати їх у суцільну екосистему. Прилади побутового призначення, системи безпеки, системи доступу до мережі інтернет, кліматичні системи та інші – мають змогу керуватися за допомогою мобільних пристроїв через спеціальне програмне забезпечення, та потребують інтернет з'єднання.

Оскільки стандарти з'єднання стільникового зв'язку розвиваються, у зв'язку з цим можна вважати, що технологія 5G має перспективне призначення у використанні у майбутньому і може розглядатися як абсолютна альтернатива іншим видам сучасних технологій с доступом до мережі інтернет..

**Мета та задачі дослідження.** Метою бакалаврської роботи є доведення ефективності використання технології 5G, та її переваги над іншими бездротовими та безпроводовими технологіями. Об'єднання у суцільну ланку усіх пристроїв IoT за допомогою програмного забезпечення та мобільного пристрою.

*Об'єкт дослідження* – процеси, системи та пристрої використовуючі технології 5G

*Предмет дослідження* – принципи, моделі та методи використання технології 5G.

Оскільки пристрої з доступом до інтернет мають розповсюджений

характер у різних сферах побуту, що впливають на повсякденність, доведення ефективності використання технології 5G, дозволить у розгорнутому вигляді побачити усі перспективні ланки цього напрямку.

**Методи дослідження.** За допомогою теоретичних методів досліджуємо ефективність використання технології 5G, та переваги використання у сучасному житті людей та повсякденні. За допомогою методів дедукції та фактів досліджуємо поетапне зростання необхідності у реалізації та використанні технології 5G. За допомогою методу аналітичного узагальнення, робимо висновки стосовно розвитку, перспектив та використання технології 5G і на далі у майбутньому.

**Структура і обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з .. найменувань. Загальний обсяг роботи .. сторінки. Робота містить .. малюнків, .. таблиць, .. додатків.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

## 1.1 Стільниковий зв'язок 5G

5G (від англ. Fifth generation - п'яте покоління), IMT2020 / 5G - п'яте покоління стільникового зв'язку, що діє на основі стандартів телекомунікацій, наступних за існуючими стандартами 4G / IMT-Advanced. Телекомунікаційний стандарт зв'язку нового покоління.

Технології 5G повинні забезпечувати вищу пропускну здатність у порівнянні з технологіями 4G, що дозволить забезпечити більшу доступність широкопasmового мобільного зв'язку, а також використання режимів «device-to-device» (букв. «Пристрій з пристроєм», пряме з'єднання між абонентами), наднадійні масштабні системи комунікації між пристроями, а також менший час затримки, швидкість інтернету 1-2 Гбіт/с, менша витрата енергії батарей, ніж у 4G-обладнання, що сприятливо позначиться на розвитку «Інтернету речей».

### 1 Вимоги до стандарту

- Якість зв'язку
- Висока середня швидкість передачі даних - до 1 Гб / с
- Середня кількість одночасних підключень - 1 млн. На км<sup>2</sup>
- Затримка - до 1 мс
- Висока енергетична ефективність
- Безпека для здоров'я людини

За оцінками представників NGMN, 5G-мережі для бізнес-аудиторії і рядових користувачів повинні бути розгорнуті у 2018 році. Так що поряд з перерахованими якісними характеристиками, 5G-мережі створять нові можливості для користувачів, такі як «Інтернет речей», а також широкопasmові медіасервіси і зв'язок в реальному часі в районах природних катастроф. Оскільки базові станції та мобільні пристрої зажадають для 5G-стандартів нових і більш швидких процесорів та програмних додатків, провідні виробники

носіїв інформації, чипмейкери, такі як «Advanced Semiconductor Engineering» (ASE) та «Amkor Technology, Inc.», готують виробництво відповідної продукції.

Федеральна комісія зі зв'язку США (FCC) напередодні виходу на ринок 5G-технологій почала перегляд діючих 4G-стандартів, затверджених ІТУ-Т. Так, своїм рішенням 14 липня 2016 року FCC схвалила спектр частот для 5G, що включає частоти 28 ГГц, 37 ГГц та 39 ГГц.

У досвідчених мережах швидкість передачі даних доходить до 25 Гбіт/с (5G), рекордна швидкість передачі даних, яка склала 35 Гбіт/с, була досягнута у Росії під час тестування технології 5G.

## **2 Технології 5G**

Однією з ключових технологій для реалізації мереж стільникового зв'язку 5G є використання в складі базових станцій багатоелементних цифрових антенних решіток з кількістю антенних елементів 128, 256 і більше. Відповідні системи отримали найменування «Massive MIMO».

Для підвищення спектральної ефективності, поряд з просторовим мультиплексуванням, в 5G можуть використовуватися різновиди технології N-OFDM-сигналів.

## **3 Історія та впровадження**

У червні 2015 року МСЕ розробив план розвитку технології і визначив її назву - «ІМТ-2020». Швидкісний інтернет за технологією 5G.

- 1 жовтня 2018 року компанія Verizon запустила мережу 5G в США. У США адміністрація президента Д. Трампа планує націоналізувати 5G-мережі для більшого контролю, а також для захисту від іноземного впливу.
- 5 квітня 2019 року Південна Корея стала першою країною, яка запустила комерційні послуги п'ятого покоління 5G. Стандарт спочатку з'явився в найбільших містах, зокрема, в Сеулі, і за 2019 рік розширено до 85% міст.
- З 17 квітня 2019 р зв'язок 5G працює в Женеві, Лозанні, Берні, Цюриху та ін. Містах Швейцарії. До кінця 2019 року компанія Swisscom має намір



охопити послугами 5G 90% населення країни.

- 23 квітня 2019 року було оголошено, що компанія China Unicom запустила тестову мережу зв'язку 5G в семи містах Китаю.

#### **4 Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДКР)**

- PG 5D MCE-R
- Stanford CIS
- US SWARN
- NYU Wireless
- WIN LAB
- 5G UK
- 5G PPP
- METIS
- IMT-2020 (5G) Promotion Group
- 5G Forum
- MOST 863
- WISDOM
- 2020 and beyond
- НІІТС

Основні стандартизуючі організації мереж 5-го покоління: 3GPP, ETSI, IETF, ITU, 5GPPP, NGMN і IEEE.

Великий внесок у розробку стандартів вносять великі оператори зв'язку.

#### **5 Апаратне забезпечення**

Виробники мережного обладнання та кінцевих споживчих пристроїв (базових станцій та абонентських терміналів), що підтримують роботу мереж 5-го покоління. В кінці 2018 року Intel представила модем XMM 8160 з підтримкою мобільних мереж п'ятого покоління поряд з 5G-модемами від Qualcomm X50, Huawei Balong 5000 і MediaTek Helio M70. Samsung Exynos Modem 5100, представлений в серпні 2018 року, є першим в світі модемом 5G,

повністю відповідним специфікаціям стандарту 3GPP Release 15 (Rel.15) для мобільних мереж 5G New Radio (5G-NR).

## **6 Вплив на людину**

Відомо, що міліметрові хвилі при підвищенні потужності чинять негативний вплив на живі організми. Однак, поки що не проводилося надійних досліджень впливу на людину випромінювання мереж стандарту 5G. Тим самим відсутність достовірних досліджень не може спростувати побоювання людей про небезпеку технології або підтвердити їх.

### **1.2 Безпека мережі**

За повідомленням від 13 листопада 2018 роки команда дослідників з Швейцарії, Франції та Великобританії виявила проблеми з протоколом безпеки 5G, відомим як Authentication and Key Agreement (АКА). Недоліки були розкриті завдяки використанню інструменту Tamarin, який вважається найбільш ефективним для вивчення криптографічних протоколів. АКА є стандарт, до якого причетний розробник комунікаційних протоколів 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Той тип АКА, який пов'язаний з 5G, повинен гарантувати, що пристрій і мережу 5G здатні аутентифікувати один одного, підтримуючи конфіденційний обмін даними та зберігаючи в секреті ідентичність і місцезнаходження користувача. Однак дослідники стверджують, що в нинішньому вигляді АКА може не виконувати цих функцій, оскільки викладені в ньому вимоги недостатньо точні.

Команда дослідників висловлює впевненість, що забезпечення безпеки 5G за допомогою АКА буде більш надійним, ніж для мережевих протоколів 3G і 4G. Проте, є недоліки. Зокрема, можливе виявлення місцезнаходження телефону в певному районі, хоча і без розкриття ідентичності власника. Більш того, через уразливість АКА може помилково стягуватися плата за використання мережі 5G іншим користувачем.

Дослідники рекомендують внести ряд виправлень. Наприклад, надати

безпеки АКА необхідні властивості, які зараз відсутні, і модифікувати компонент підтвердження ключа. На їхню думку, АКА не забезпечує адекватного захисту особистих даних від активних атакуючих. Але виправити цей недолік буде непросто.

Дослідники сподіваються залучити 3GPP до роботи над вдосконаленням АКА і завершити її перш, ніж почнеться широке поширення 5G.

Агентство Європейського Союзу з мережевої та інформаційної безпеки (European Union Agency for Network and Information Security, ENISA) також випустило доповідь, у якому попереджає, що виявлені недоліки протоколів сигналізації в мережах 2G, 3G і 4G можуть виникнути і в мережах 5G.

Дослідження компанії Ericsson показують, що до 2023 р може з'явитися 3,5 млрд. пристроїв інтернету речей (IoT).

Небезпечна мережа 5G представляє поле для все більш поширених атак завдяки своїй високій швидкості, яка збільшує кількість доступних об'єктів атаки. Неважко уявити собі, чим може обернутися масована DDoS-атака на підприємство, що використовує сенсори IoT, підключені до мережі 5G.

Компанія ARM, що розробляє архітектуру процесорів, створює набір ПО, який дозволить пристроям IoT працювати з чіпами SIM-карт, що зробить їх подібними смартфонам з тарифними планами на мобільний зв'язок. Тоді відпаде необхідність підключати пристрої IoT через Wi-Fi. Однак хакери можуть атакувати SIM-карти і приводити їх в непридатність. Вони здатні також при атаці SIM-карт поширювати шкідливий код за допомогою текстових повідомлень.

Поки рано говорити, чи будуть хакери використовувати уразливості SIM-карт, якщо вони з'являться в пристроях IoT, але така можливість є. У будь-якому випадку очевидно, що можливості, які надає 5G, можуть сприяти зусиллям хакерів з організації все більш руйнівних атак з використанням як вже відомих, так і нових методів.

### 1.3 Нарізка мережевих ресурсів (Network Slicing)

У 5G використовується така концепція, як «network slicing». Це, грубо кажучи, нарізка мережевих ресурсів під різні типи трафіку, причому для кожного «Слайса» (буквально - шматка мережі) може використовуватися своя технологія передачі даних. Завдяки гнучкості підходу можна задовольнити найрізноманітніші і навіть суперечливі вимоги користувачів різних типів. Для передачі веб-даних цілком підходить LTE - його потрібно тільки трохи доопрацювати, підвищити швидкість.

Для передачі даних з маленькою затримкою буде використовуватися спеціальний «слайс», який називається «ultra-reliable low latency communication». Він дозволяє передавати дані з вкрай низькою затримкою. Якщо в LTE мінімальна тривалість передачі одна мілісекунда, то тут мінімальна тривалість передачі триватиме частки мілісекунди, а надійність буде дуже високою, до 99,999%.

Окремий «слайс» в рамках 5G відведено IoT. Він дозволяє передавати дані великим числом пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Крім того, буде «слайс» для високошвидкісної передачі даних в міліметровому діапазоні, тобто в діапазоні частот від 30 до 300 ГГц. Наприклад, в звичному діапазоні 2-5 ГГц ширина використовуваного частотного каналу, в якому передаються дані, відносно невелика і складає одиниці, рідше - десятки МГц. У діапазоні 40-70 ГГц доступного для використання спектра істотно більше, що дозволить збільшити ширину частотного каналу до сотень і тисяч МГц і більше. Таким чином, міліметровий діапазон - це практично «еквівалент нескінченності» для операторів (в сенсі обсягу доступних каналних ресурсів). Проблема полягає в тому, що доводиться передавати дані тільки пристроїв, які знаходяться у прямій зоні видимості, інакше якість сигналу різко падає.

У певному сенсі 5G стане «лишковим пирогом», що поєднує різні технології, використання кожної з яких буде визначатися в залежності від вимог конкретного користувача.

## 2 НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕХОДУ ДО 5G

### 2.1 Загальна необхідність

Витрати на пропуск зростаючого трафіку по мережах операторів зв'язку за станом на 2019 рік не покривається доходами від традиційних послуг. Пошук нових послуг, т.зв. «Killer application» традиційних телеком-платформ зазвичай не дає очікуваних результатів.



Рис.2.1 - Розрив доходів операторів зв'язку

Тим часом, основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G.

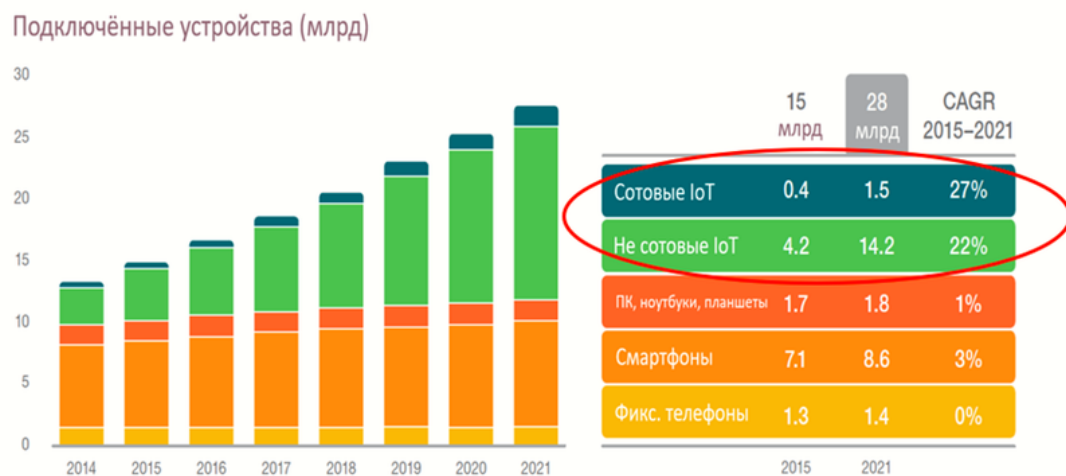


Рис. 2.2 - Зростання числа підключених до мережі пристроїв

Тому, мережі 5G можна вважати однією з необхідних складових частин цифрової трансформації і цифрової економіки.

### **Стандартизація:**

Стандартизація технологій та рішень 5G повинна завершитися до 2021 року, тому терміном 5G поки позначаються лише фрагментарні рішення, які в майбутньому увійдуть до складу повномасштабного рішення IMT2020. Такі рішення вже розгортаються в різних країнах, проте вони поки носять локальний і тестовий характер, і не надають весь планований функціонал мереж стандарту IMT2020.

### **Основні стандартизуючі організації 5G:**

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - альянс з семи організацій, які розробляють різні стандарти телекомунікацій, в які, в свою чергу входять інші партнери. Завдання 3GPP - формулювання технічних вимог, оцінка пропозицій, і остаточне прийняття стандартів. В середині 2017 року було ухвалено версію загального стандарту «Release 15», в даний час розробляється «Release 16», яка повинна бути прийнята у 2019 г. Крім розробки загальної архітектури, 3GPP також розробляє стандарти радіо-технологій 5G New Radio (NR) для нових частотних діапазонів, що виділяються під 5G.

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який є членом 3GPP, і найбільш активно працює в області розробки стандартів 5G.

IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення модернізації IP-протоколу для підтримки віртуалізації втраченого зв'язку із мережею NFV (Network Function Virtualization). Наприклад, IETF розробила технологію зчипки функцій сервісів SFC (Service Function Chaining), яка комбінує віртуалізовані компоненти архітектури 5G, наприклад, базові станції, шлюзи послуг та пакетів даних в єдиному маршруті. Це дозволяє динамічне створення і зчеплення віртуальних мережевих функцій VNF (Virtual Network Functions). IETF працює в тісній взаємодії з 3GPP.

ITU (International Telecommunication Union) - агентство ООН, розташоване в Женеві, яке займається стандартизацією широкого спектра телекомунікаційних технологій. Зокрема, воно координує роботу по спільному використанню спектру радіочастот, в тому числі для мереж 5G.

Крім цих трьох основних координуючих організацій, є ряд інших, в яких ведеться планомірна практична робота з розробки стандартів IMT2020 (5G).

5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership), вважається одним з провідних партнерств по стандартизації 5G. Організація ставить амбітні цілі щодо розробки вимог до мережі 5G, наприклад, захоплення ємності мережі в 1000 разів, зниження енергоспоживання призначених для користувача пристроїв на 90%, істотне скорочення часу створення нових сервісів і послуг, повне і безпечне мережеве покриття і з нехтуючи малою затримкою передачі даних, та ін.

NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance. Альянс мобільних мереж наступного покоління займається стандартизацією повного спектру рішень 5G. У альянс входить керівництво провідних американських операторів: AT & T, U.S. Cellular і Verizon.

Крім зазначених, існують галузеві та регіональні організації, такі як 5G Americas, Small Cell Forum, які також вносять великий внесок у розробку та стандартизацію рішень 5G.

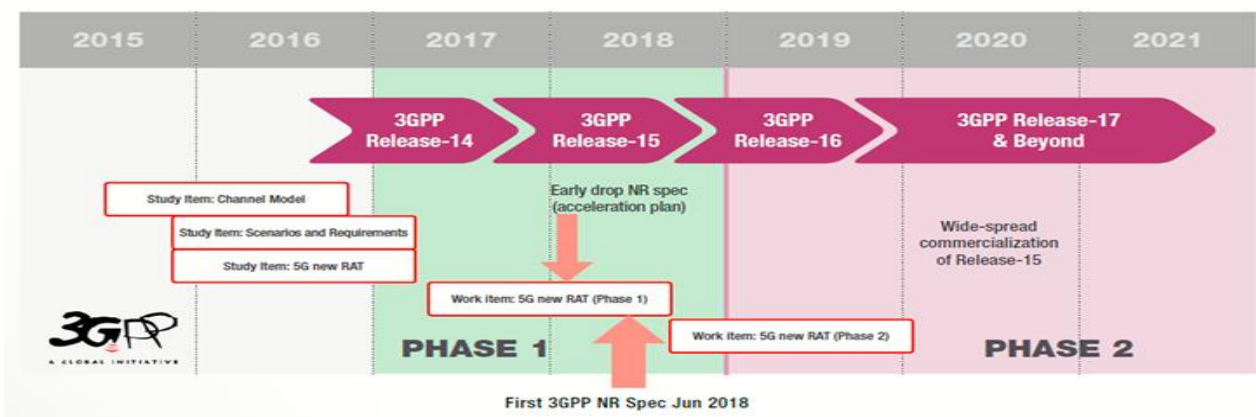


Рис. 2.3 - Дорожня карта стандартизації 5G в 3GPP

## Detailed Timeline & Process For IMT-2020 in ITU-R

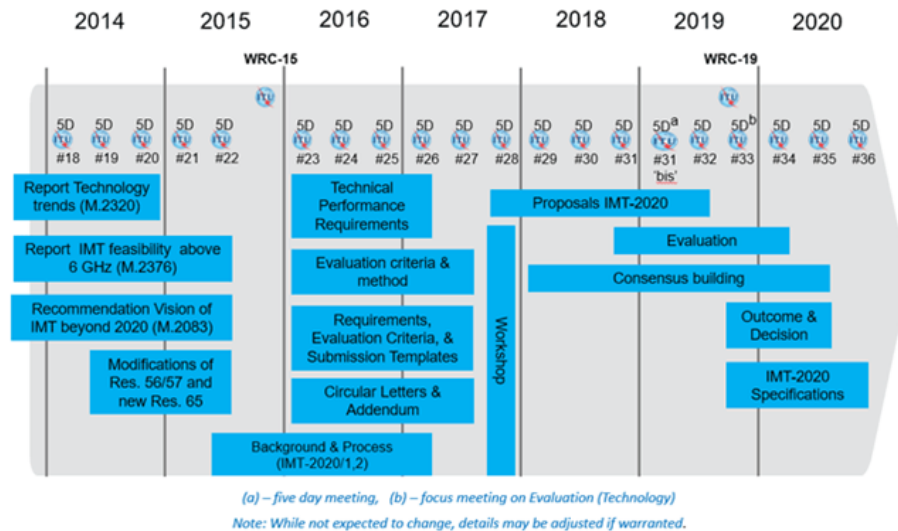


Рис. 2.4 - Запланований графік стандартизації 5G в ІТУ

Великий внесок у розробку стандартів вносять також і великі оператори зв'язку, такі як AT & T, Verizon та ін. Вони координують свою роботу з ETSI і ІТУ, але іноді випереджають ці організації. Тому вирішення цих операторів часто лягають в основу стандартів ETSI і ІТУ.

Мережі мобільного зв'язку попередніх поколінь мали такі призначення і функціонал:

- 1G: Послуги передачі мови по аналоговій мережі
- 2G: Послуги передачі мови по цифровій мережі, низько-швидкісні послуги передачі даних (GPRS, EDGE)
- 3G: Високошвидкісні послуги передачі даних (HSPA), з можливістю передачі голосу по мережі IP, мобільний доступ до інтернет МВВ (Mobile Broadband).
- 4G: Мобільний широкопasmовий доступ МВВ на базі LTE, LTE-A, передача голосу (VoLTE)

Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Основними функціональними особливостями мереж 5G є наступні:



- Вдосконалений мобільний широкопосмуговий доступ eMBB (enhanced MBW)
- наднадійність комунікації з низькою затримкою ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication)
- Масивні між-машинні комунікації Massive IoT / IIoT, mMTC (massive Machine Type Communication)

На основі цих трьох основних видів функціоналу будується все різноманіття послуг і можливостей мереж ІМТ2020 (5G), найбільш характерні з яких показні на малюнку нижче:



Рис. 2.5 - Вдосконалений мобільний широкопосмуговий доступ

**Гігабайти в секунду.** Мережі 5G здатні значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу (RAT), і за допомогою залучення нових спектрів радіочастот 5G NR (New Radio). Користувач отримує практично необмежену смугу пропускання, як для домашнього використання різних сервісів, так і для цілей підприємств (Immersive Telepresence, Industrial IoT та ін.)

**Розумний будинок.** Цілий спектр різних сервісів інтернету речей (IoT)

буде доступний для вирішення «Розумний будинок» (Smart Home) і «Розумна будівля» (Smart Building): відеоспостереження, управління та автоматизація побутової техніки, управління системами безпеки, сховища контенту, кліматична техніка тощо.

**Розумне місто.** Рішення «Розумне місто» - це горизонтальне і вертикальне масштабування функціоналу і спектра сервісів «Розумного будинку». Основні сервіси «Розумного міста»: Безпечне місто, електронний уряд «e-Government», електронна охорона здоров'я «e-Health», електронна освіта «e-Education», електронний банкінг «e-Bank», електронний збір свідчень ЖКГ «Smart Meters», розумні електромережі «Smart Grid», тощо .

Нові відео-послуги 4K / 8K: Об'ємне відео, екран надвисокої чіткості (UHD), можливість ефекту присутності.

**Робота в хмарі.** Сервіс дає можливість не тільки зберігати дані в хмарному сховищі і витягувати їх звідти, а й використовувати прикладні програми, які працюють безпосередньо з хмари. Причому, з можливістю їх використання на будь-якому пристрої і з будь-якого місця. Крім того, є можливість використання інтерфейсів прикладного програмування API, через які хмарні сервіс-провайдери можуть надавати свої послуги абонентам оператора мережі 5G.

**Доповнена і віртуальна реальність (AR / VR).** Сервіс віртуальної реальності VR (Virtual Reality) занурює людину в інший світ, впливаючи на його органи чуття, перш за все зір (VR-окуляри). Сервіс доповненої реальності AR (Augmented Reality) комбінує для користувача реальну середу з віртуальними предметами. Ці сервіси придатні не тільки для розваги, ігор, віртуального спілкування в режимі «телеприсутності», але також можуть істотно поліпшити процес навчання, коли студенти за допомогою VR-окулярів можуть, наприклад, наочно бачити внутрішню будову людини на лекції з анатомії, майстер в цеху може вивчити порядок складання складного агрегату тощо.

**Промислова автоматизація.** Мережа 5G, укупі з технологією інтернету речей IoT, за допомогою промислових датчиків IIoT (Industrial Internet of things), а також за допомогою штучного інтелекту (Artificial Intelligence) здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. При цьому стає можливим в режимі реального часу аналізувати великі обсяги різнорідних даних і на основі отриманих висновків і з використанням машинного та глибокого навчання (Machine learning, Deep learning).

**Бізнес-критичні додатки (Mission Critical Applications).** До цих програм можуть ставитися, наприклад, електронна медицина (e-Health), зв'язок при надзвичайних ситуаціях (Mission Critical Communication), тактильний інтернет (Tactile Internet) та інші.

**Безпілотний транспорт (Driverless Vehicles).** Безпілотний транспорт може виступати як частина послуги «Розумне місто», однак, може надаватися на власній платформі. У нього входять не тільки безпілотні автомобілі (driverless cars), але також і безпілотні трактори для «розумного сільського господарства» (Smart Agriculture), безпілотні поїзда для метро і приміських залізниць, дрони і інші види громадського і спеціального транспорту. Крім того, на платформі 5G можлива реалізація систем допомоги водієві ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems).

На відміну від мереж попередніх поколінь, спектр послуг яких був жорстко обмежений і дещо розширено в 4G, послуги платформи 5G носять синергетичний і масштабований характер, і не обмежені одноразовим заданим функціоналом. Фактично, 5G грає роль платформи для режиму розробки нових послуг і додатків (DevOps), коли нові функції створюються розробниками (Development) в тісній координації з командами, які відповідають за їх впровадження і експлуатацію (Operation).

В цілому, можна сказати, що мережа 5G вбирає в себе не тільки мобільні, але також і фіксовані послуги зв'язку, а також високошвидкісний доступ в інтернет з малою затримкою і крім того, спеціалізовані та корпоративні мережі

для вертикальних галузей економіки.

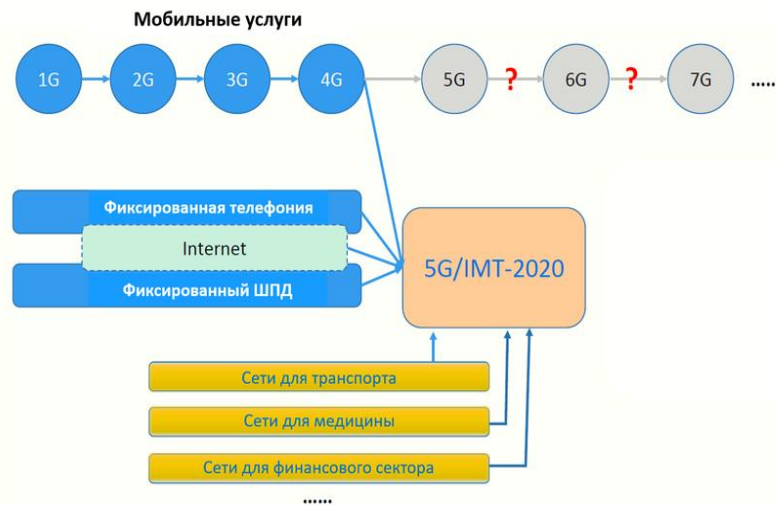


Рис. 2.6 - Універсальність платформи 5G / IMT2020

За рахунок мереж п'ятого покоління також можна буде поліпшити якість використання вже існуючих сервісів, де задіяні великі обсяги трафіку.

Теодор Сайзер (Theodore Sizer), віце-президент по розробці бездротових технологій в Bell Labs відзначав, що в мережах 5G буде працювати безліч найрізноманітніших пристроїв. Смартфони і планшети нікуди не дінуться, але, крім них, в мережі з'явиться цілий «зоопарк» різних пристроїв, включаючи камери відеоспостереження, погодні датчики, датчики «розумних» електричних мереж, «розумні» будинки та автомобілі.

Також можна буде використовувати на новому рівні додаток віртуальної і доповненої реальності, відзначають в SK Telecom. Наприклад, включати елементи доповненої реальності в освітній процес, створюючи віртуальні музеї та моделі всесвіту в класах.

У проектах «розумних міст» 5G дозволить в режимі реального часу передавати інформацію з набагато більшого числа сенсорів на різних об'єктах. Старший директор Qualcomm з продуктового менеджменту мобільних технологій Санджив Атали (Sanjeev Athalye) відзначає, що можна буде розгорнути тисячу сенсорів замість сотні, для обслуговування яких буде достатньо меншої кількості базових станцій, ніж при існуючих нині мережах.

Це можуть бути, наприклад, сенсори моніторингу стану об'єктів житлово-комунального господарства, сенсори «розумного освітлення» або сенсори звуку, встановлені з метою безпеки та дотримання порядку в місті. В останньому випадку сенсори можуть фіксувати підозрілі або занадто гучні звуки, і дана інформація буде автоматично передаватися в служби охорони правопорядку.

Нові сервіси з використанням 5G можуть бути реалізовані і в медицині. Наприклад, для організації віддаленого моніторингу стану пацієнтів. Лікар зможе своєчасно отримувати інформацію з спеціальних сенсорів і стежити за станом пацієнтів цілодобово.

Завдяки дуже низьким затримкам передачі даних 5G також відкриє більше можливостей для віддаленого проведення операцій з використанням робота. Такий сервіс особливо актуальний для невеликих населених пунктів, де немає хірургів на місцях: керуючи маніпуляціями робота, операцію може провести фахівець, який перебуває в абсолютно іншому місці. За рахунок 5G такий сервіс можна буде розгорнути у бездротових мережах.

Низька затримка даних, яку здатні забезпечити мережі нового покоління, важлива і для розгортання «розумних» мереж електропостачань. Використання датчиків дозволить миттєво виявляти пошкодження на лінії електропостачань і блокувати поширення наслідків пошкодження далі по лінії. Таким чином, пошкодження торкнеться меншого числа споживачів електроенергії.

У великих виробничих компаніях, у сфері з продажу, логістиці 5G дасть можливість використовувати більше промислових роботів, що виконують різні функції замість людей, а також дронів. Останні вже зараз використовуються на деяких виробництвах, але найчастіше виходять із використанням мереж Wi-Fi. 5G дозволить охопити більшу дистанцію, ніж мережі Wi-Fi, а завдяки низьким затримкам - підвищити стабільність роботи таких систем. Проект розгортання системи доставки товарів за допомогою дронів є, наприклад, у Amazon.

У приклад сервісів, для яких буде мати перевагу 5G, можна привести і

міські системи відеоспостереження. 5G допоможе спростити їх розгортання і використання. Зараз трафік з тисяч камер в містах, в основному, передається по фіксованим мережам. Розгорнути таку інфраструктуру - непросте завдання, оскільки потрібно укласти безліч проводів. За допомогою 5G можна буде отримувати відео високої роздільної здатності без використання проводів.

Ще один приклад - сервіс моніторингу транспорту в компаніях. З появою мереж нового покоління оператори, які виступають провайдерами такого сервісу, зможу знизити його вартість. Це стане можливим за рахунок того, що вартість однієї базової станції 5G буде нижче вартості станцій для існуючих мереж, а також за рахунок того, що одна базова станція зможе одночасно обслуговувати більшу кількість пристроїв, відповідно, для сервісу потрібно менше базових станцій.

## **2.2 Переваги та перспективи впровадження**

### **Переваги мережі 5G:**

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

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

Якщо оперувати конкретними числами, то вони наступні:

- низька затримка для забезпечення передачі критично важливої інформації від датчиків класу critical IoT: до 0,5 мс (для сервісів наднадійного між-машинного зв'язку - URLLC) і до 4 мс (для сервісів посиленого широкопasmового мобільного зв'язку - eMBB);
- massive IoT (масове підключення пристроїв Інтернету речей). Загальна

кількість підключених або доступних абонентських терміналів на одиницю площі ( $\geq 1$  млн. / Км<sup>2</sup>);

- високі швидкості: до 20 Гбіт/с по лінії «вниз» (тобто до абонента) і до 10 Гбіт/с по лінії «вгору» (в зворотному напрямку);
- підтримка мобільності абонента, який пересувається зі швидкістю до 500 км/г.

### **Необхідність вже зараз такої швидкості:**

Давайте подивимося на сервіси, які входять в наше життя та стають все більш затребуваними:

- відео 360 градусів;
- віртуальна і доповнена реальність;
- відео з роздільною здатністю 4K і 8K;
- тактильний інтернет;
- розумні і безпечні міста і підприємства;
- 5G буде затребуваний на транспорті, який все більше оснащується телеметричними системами, а в майбутньому повинен ставати безпілотним;
- також 5G буде сприяти появі нових сервісів, наприклад голографічних дзвінків.

Крім цього, драйверами зростання споживання мобільного трафіку є:

- популяризація хмарних технологій - моделі «online» сховищ даних абонента на численних розподілених в мережі Інтернет серверах;
- «online» гри і їх оновлення;
- збільшення кількості пристроїв;
- зростання обсягу споживання відео-послуг та збільшення дозволу відео-зображення, про які було сказано раніше.

Головне - абоненту надати канал. Як показує практика, яка б ширина каналу не була, він його займе. Але в першу чергу 5G буде затребуваний для В2В сегменту.

## **У 5G будуть досягнуті такі пікові швидкості 10-20 Гбіт/с:**

**Massive MIMO**, а також адаптивні методи формування та відстеження променя (beamforming).

Дані рішення необхідні для забезпечення надійного та стійкого мобільного широкосмугового зв'язку у більш високочастотних діапазонах. До класу Massive MIMO відноситься система з числом керованих антен  $> 8$ . При цьому кожна «керована антена» може являти собою групу випромінюючих елементів.

**New Radio (NR)**. На відміну від радіо-інтерфейсу LTE, де під несучі LTE практично завжди розділені інтервалом 15 кГц, в 5G NR відстань між під несучими частотами може змінюватися. Так 5G NR під несучі можуть бути розташовані з інтервалом 15 кГц  $\times$  2n. Максимальна відстань між під несучими в 5G NR дорівнює 240 кГц. Це дозволить гнучко налаштувати поведінку мережі при наданні різних типів послуг, які мають різні вимоги до затримок. Крім цього, у Release 16 планується розглянути альтернативні варіанти радіо-інтерфейсу для мереж 5G, що дозволить підвищити ефективність використання дорогоцінного частотного спектра.

**Більш широкий частотний спектр**, який буде виділений в високочастотних діапазонах.

Це максимальні значення швидкості, які є цільовими для стандарту 5G. На підсумкову призначену для користувача швидкість, яку буде отримувати абонент, впливає безліч факторів:

- кількість абонентів в секторі базової станції;
- категорія використовуваного абонентом обладнання;
- віддаленість від обслуговуючої базової станції;
- рельєф місцевості і / або стіни і навіть вікна будівель;
- та інше.



## **У 5G з'являться інноваційні технології:**

**Network slicing ( «мережева нарізка»).** Це означає, що інфраструктура мережі 5G може бути «логічно» нарізана на «мережеві шари» - «слайси» для різних бізнес-додатків і для різних технологій радіо-доступу.

Ці мережі можуть бути окремо оптимізовані під різні вимоги швидкостей передачі даних. Так для перегляду відео 4K буде важлива швидкість, але затримки через інерційність сприйняття зорового апарата не будуть критичними. Для передачі даних, критичних до затримок, буде використаний спеціальний «слайс», який називається «ultra-reliable low latency communication». До таких типів даних слід віднести: тактильний інтернет, онлайн-ігри та ін.

**D2D (Device-to-Device).** Це безпосередня взаємодія «пристрій-пристрій» без участі базової станції.

D2D, зокрема, необхідна для взаємодії безпілотного автомобіля з дорожньою інфраструктурою та іншими автомобілями. Крім цього, технологія D2D буде використовуватися в рамках концепції «public safety» (громадська безпека) при безпосередній взаємодії двох абонентських терміналів спеціального призначення при розгортанні в умовах надзвичайної ситуації.

Доповнять вищевказані технології наступні рішення:

**Віртуалізація мережевих функцій (Network Functions Virtualization, NFV).** Передбачає використання технологій віртуалізації для відділення функцій логічних мережевих елементів від апаратної інфраструктури мережі зв'язку. При використанні NFV в телекомунікаційних мережах відбувається виконання мережевих функцій з використанням спеціалізованих програмних моделей, які виконуються на серверах або віртуальних машинах в телекомунікаційних мережах.

**«Fog computing» (туманні обчислення).** Розгортання мікро-ЦОД максимально близько до місця генерації трафіку (Mobile Edge Computing), зокрема, безпосередньо на базових станціях.

### **Промування специфікації мереж 5-го покоління:**

У грудні 2017 р 3GPP погодило першу версію стандарту 5G Release 15 - для варіанта застосування non-standalone (тобто разом з мережею LTE). Специфіковано кілька сценаріїв такої взаємодії.

У червні 2018 р 3GPP випустив другу версію Release 15, вже для самостійного застосування (standalone mode).

Автономної (Standalone) архітектурою мереж 5G є архітектура, в рамках якої реалізовано безпосереднє підключення базових станцій до ядра мережі нового покоління (NGC) за допомогою інтерфейсів площини управління (NGC) та площини користувача (NG-U).

А в липні 2019 р 3GPP обіцяє випустити Release 16, який буде включати в себе всі аспекти 5G: не тільки послуги поліпшеного мобільного ШПД (eMBB), але також високонадійні комунікації з низькою затримкою (URLLC) та масові між-машинні комунікації (mMTC).

### **Що заважає розвитку мереж 5G:**

Існує три основні чинники, що заважають більш стрімкого розвитку мереж п'ятого покоління:

- невизначеність з частотними діапазонами і, відповідно, відсутність мережевої інфраструктури та абонентського обладнання;
- відсутність нормативно-правової бази, що регулює роботу мереж 5G;
- запуск та найбільш ефективна комерціалізація 5G повинні відштовхуватися від найбільш актуальних для абонентів і бізнесу варіантів використання нових мереж (use cases). Чим раніше вони будуть позначені і визначені в якості технологічної стратегії, тим швидше будуть розвиватися мережі 5G.

### **Слід очікувати створення українського телекомунікаційного обладнання для мереж 5G:**

Для початку необхідно визначитися, що є вітчизняною промисловістю і вітчизняним телекомунікаційним обладнанням, зокрема? Необхідні нормативні

акти, в яких будуть чітко прописані критерії віднесення продукції, що виробляється до вітчизняної. Інакше туди потраплять усі світові виробники з тим чи іншим рівнем локалізації у нас в країні.

Проте, українські телекомунікаційні компанії закривають частину потреб операторів за певними напрямками. Зокрема, обладнання та програмне забезпечення (ПО) транспортної мережі, центри обробки даних (сервери, системи зберігання даних), ПО віртуалізації (NFV / SDN) і ін.

Запуск і розвиток мережі 5G - недешево задоволення, зокрема, в зв'язку з використанням більш високих частотних діапазонів. Так, базових станцій буде потрібно багато. Можуть бути різні підходи щодо скорочення вартості розгортання мереж 5G.

Побудувати частину інфраструктури за рахунок інфраструктурного оператора. Зокрема, немає сенсу прокладати кабель в метро всім операторам. Зворотний бік запуску всієї інфраструктури на базі єдиного інфраструктурного оператора - це відсутність конкуренції по радіо-покриттю мережі. Всі оператори будуть забезпечувати однаковий рівень сигналу 5G на всій території присутності інфраструктурного оператора. В рамках такого рішення оператори мобільного зв'язку зможуть конкурувати один з одним тільки послугами, які надаються. Також виникнуть проблеми з точки зору агрегації вже наявного у операторів частотного спектра зі спектром, який вони отримують для розвитку мереж 5G. Тому інфраструктурний оператор доречний для розгортання близько 40-50% мережевої інфраструктури і в основному у низькочастотних діапазонах, де немає можливості виділити всім операторам необхідні для 5G смуги частот. Більш того, це питання слід вирішувати відразу ж на декількох рівнях: профільні відомства та організації, акціонери стільникових операторів спільно з профільними технічними фахівцями виходячи з технологічної стратегії розвитку, яку визначить для себе оператор.

Передбачати спеціальні місця для розміщення обладнання зв'язку при будівництві нових будівель.

Побудувати рівноправний доступ усіх операторів до внутрішньо-будинкової інфраструктури.

Однозначно в першу чергу мережі 5G будуть запущені в великих містах. Це дасть «value» (прибуток) та імідж для компаній-операторів мобільного зв'язку. Проте, дуже небажано поглиблювати і без того значний цифровий розрив між сільською і міською місцевістю. Доступ до інформації дає можливість розвитку людей.

До 2023 року, згідно з прогнозом компанії Ericsson, в мережах 5G буде зареєстрований 1 млрд підключень. А послуги на базі 5G до цього часу стануть доступні для 20% світового населення.

Одне з найцінніших, що є у оператора - це частотний ресурс.

У 2019 відбудеться чергова всесвітня конференція радіозв'язку (ВКР-19), яка проходить один раз в чотири роки. Найбільш ймовірними для узгодження є смуги радіочастот: 24,25-27,5 ГГц, 37-43,5 ГГц.

Діапазони 70/80 ГГц також можуть бути узгоджені на ВКР-19.

Узгодження смуги 31,8-33,4 ГГц для 5G на ВКР-19 практично не має шансів, оскільки забезпечення сумісності з діючими службами проблематично.

Що стосується більш низьких частот, то для 5G також немає остаточного рішення по діапазонах частот і ширини смуги. Велику частину діапазону 3,4-3,8 ГГц займають військові.

Союз LTE запропонував використовувати для 5G не стандартний для Європейського регіону діапазон частот 4,4-4,99 ГГц. Це дозволить збільшити частотний спектр для розгортання мереж мобільного зв'язку нового покоління. Проте, комерційне обладнання для цього частотного діапазону відсутнє.

Очікується, що за підсумками ВКР-19 державною комісією з радіочастот буде прийнято рішення по частотах з урахуванням концепції розвитку 5G. Очікується, що в верхніх частотних діапазонах розподіл частот між усіма зацікавленими операторами буде реалізовано на підставі торгів.

Оператори з впровадженням ще і мереж 5G будуть змушені справлятися з

управлінням цілого спектру технологій: 2G, 3G, 4G, 5G. Має сенс відмовитися від застарілих і неперспективних технологій.

Першим кандидатом на вибування мусить технологія 3G, оскільки технологія 2G в діапазоні 900 МГц буде жити довго в зв'язку з тим, що має фрагментований спектр і там працюють і будуть якийсь час продовжувати працювати абоненти: старі термінали і M2M-датчики.

У даний час все частіше порушується питання про перспективи технології Wi-Fi напередодні запуску мереж мобільного зв'язку 5G. Існує думка, що настане захід ери технології Wi-Fi, коли мережі 5G забезпечуватимуть людей високошвидкісним інтернетом з низькими затримками.

Вже зараз в більшості випадків мережі LTE забезпечують високі швидкісні показники. Деякі люди вже перестають використовувати Wi-Fi вдома. Але це далеко не всі люди.

Для того, щоб Wi-Fi втратив актуальність, поступившись дорогою виключно мобільних мереж, потрібно, щоб відбулося кілька подій:

- мережі мобільного зв'язку скрізь повинні забезпечувати однакову якість обслуговування абонентів;
- оператори мобільного зв'язку повинні надати тарифи, які дозволять абонентам викачувати необхідний обсяг трафіку, аналогічний обсягам через мережі Wi-Fi.

Таким чином, у кожної технології своя ніша. Одна (Wi-Fi) - забезпечує локальне покриття, гарантуючи певні швидкісні показники абоненту. Інша - забезпечує глобальне покриття в майже будь-якій точці карти світу, де б ми не знаходилися.

Більш того, технології можуть взаємно доповнювати один одного. Зокрема, 3GPP специфіковані такі рішення, як Wi-Fi Offloading, LWA (LTE-WLAN aggregation), LAA (Licensed Assisted Access) і eLAA (Enhanced Licensed Assisted Access). Дані технологічні рішення дозволяють задіяти або точки доступу Wi-Fi для розвантаження радіо-інтерфейсу операторів мобільного

зв'язку, або використання неліцензійних частотних діапазонів Wi-Fi для мереж LTE.

### 2.3 Практичні переваги

Платформа мережі 5G надає для операторів значні переваги, що виражаються перш за все, в розширенні функціональних можливостей та пропускної здатності мережі (performance) і підвищенні задоволеності користувачів (User Experience).

На рисунку 2.7 показані основні параметри мережі IMT2020 (5G), в порівнянні з показниками IMT-Advanced (4G), які дозволяють цього досягти.



Рис. 2.7 - Основні параметри мережі IMT2020

Пікова швидкість: мережа 5G забезпечує в 20 разів більшу швидкість в порівнянні з 4G, тобто, близько 20 Гбіт/с.

Швидкість на користувача (середня) при цьому може досягати 100 Мбіт/с і більше.

Ефективність використання спектра, кількість інформації, яку можна передати на одиницю частотного діапазону, в мережі 5G буде принаймні в 3 рази вище, ніж в 4G.

Мобільність користувача, швидкість, з якою може переміщатися користувач з терміналом 5G по площі покриття мережі без втрати зв'язку між

базовими станціями, в мережі 5G досягає 500 км/год, що дає можливість користуватися послугами 5G в швидкісних поїздах.

Затримка в мережі 5G знижується до 1 мс і менше, в той час як в мережі 4G можна досягти мінімум 10-мілісекунди затримки. Це дозволяє використовувати технологію 5G для критичних комунікацій і відеоспостереження, послуг тактильного інтернету, AR/VR тощо.

Щільність терміналів в мережі 5G підвищується на порядок і може досягати декількох мільйонів пристроїв на 1 квадратний кілометр, тобто, на 1 квадратному метрі поверхні можуть розташовуватися кілька десятків або навіть сотень мініатюрних пристроїв (наприклад, сенсорів IoT).

Енергоефективність мережі 5G на порядок краще, ніж в мережі попереднього покоління.

Ємність трафіку на одиницю площі, тобто швидкість передачі даних квадратний метр площі покриття мережі, в 5G на два порядки вище, ніж в мережі 4G.

На рисунку 2.8 показані співвідношення за ступенем важливості для основного функціоналу 5G (вдосконалений мобільний широкополосний доступ eMBB, наднадійні комунікації з низькою затримкою, масивні між-машинні комунікації) параметрів мережі 5G, показаних на попередньому малюнку.

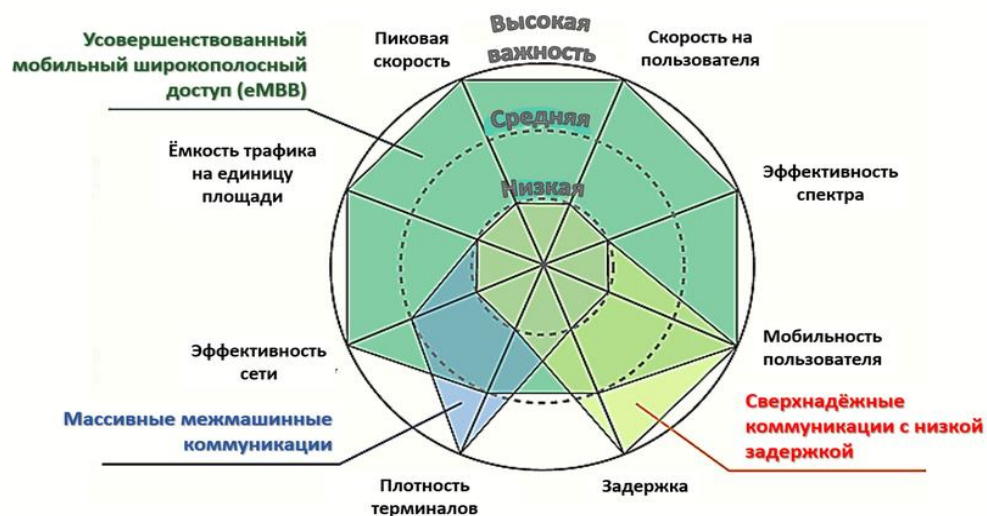


Рис. 2.8 - Співвідношення за ступенем важливості для функціоналу 5G

## 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ АСПЕКТІВ ПОБУДОВИ 5G

### 3.1. Архітектура мережі

Архітектура мережі 5G розробляється для підтримки обміну всілякими даними і надання різних послуг з використанням таких технологій як, мережева віртуалізація (NFV - Network Function Virtualization) та програмно-визначені мережі (SDN - Software Defined Networking).

Основою "фішками", що характеризують мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління є:

- понад-широкосмуговий мобільний доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB),
- ультра-надійний зв'язок з низькими затримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC),
- масове підключення різних датчиків та пристроїв зі світу "Інтернету речей" (massive Machine Type Communications, mMTC).

Рекомендація 3GPP TR 38.913 визначає наступні ключові показники мереж 5G:

- пікова швидкість передачі даних на лінії вниз (Downlink) 20 Гбіт/с (спектральна ефективність 30 біт/с/Гц);
- пікова швидкість передачі даних на лінії вгору (Uplink) 10 Гбіт/с (спектральна ефективність 15 біт/с/Гц);
- мінімальна затримка у підсистемі радіо-доступу для сервісів URLLC - 0,5 мс, для сервісів eMBB - 4 мс;
- максимальна щільність підключених до мережі в міських умовах пристроїв зі світу "Інтернету речей" - 1 000 000 пристроїв/км<sup>2</sup>;
- автономна робота пристроїв зі світу "Інтернету речей" без підзарядки акумулятора протягом 10 років;
- підтримка мобільності при максимальній швидкості пересування об'єктів 500 км/год.



Дані показники є часом несумісними і навіть взаємовиключними. Тому у різних пристроїв у різні моменти часу будуть доступні тільки певні сервіси з певними показниками (у рамках концепції Network Slicing).

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають у наступному:

- Поділ мережевих вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площині користувача» (UP - User Plane) і елементи, що забезпечують роботу протоколів «площині управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість в частині масштабування і розгортання (допускаючи централізоване і децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів).
- Поділ мережевих елементів на мережеві шари (Network Slicing), ґрунтуючись на послуги, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів.
- Реалізація мережевих елементів у вигляді віртуальних мережевих функцій - VNF (Virtual Network Functions).
- Підтримка одночасного доступу до централізованих і локальних служб, що дозволяє реалізовувати концепції хмарних (fog computing) і прикордонних (edge computing) обчислень.
- Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN - Access Network) - 3GPP (New Radio - NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN - Core Network).
- Підтримка єдиних алгоритмів і процедур аутентифікації (в не залежності від типу мережі доступу).
- Підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відділений від ресурсу зберігання.
- Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) в гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлена

двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережим функціям отримувати доступ до їх сервісів.
- частиною інтерфейсу, яка показує взаємодію між сервісами мережевих функцій, як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF і SMF).

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати тільки сервіс-орієнтовані інтерфейси для їх взаємодії.

Мережа 5G включає в себе наступні основні програмні модулі і мережеві функції (NF):

- функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- функція управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository);
- система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF - Policy Control Function);
- функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function);
- сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function);
- прикладна функція (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function);

- функція взаємодії з не-3GPP мережею доступу (N3IWF - Non-3GPP InterWorking Function);

### Програмні модулі або мережеві функції мережі 5G:

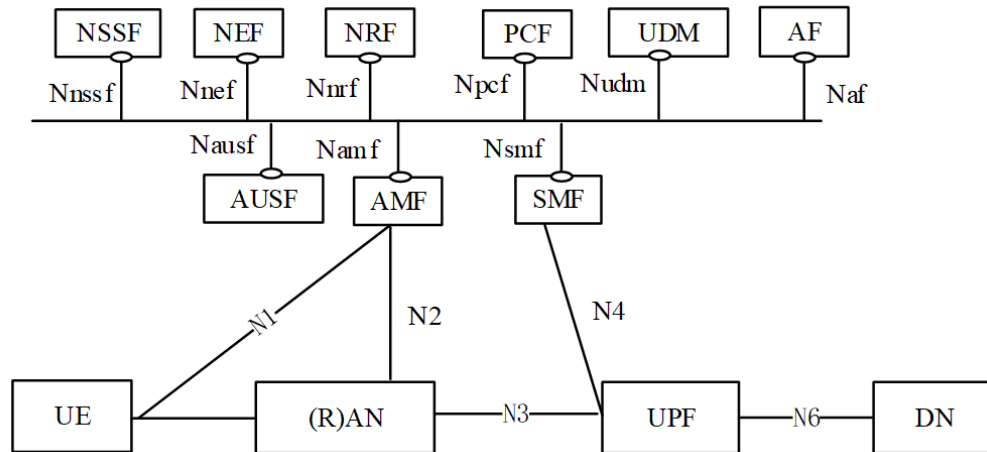


Рис. 3.1 – Програмні модулі 5G

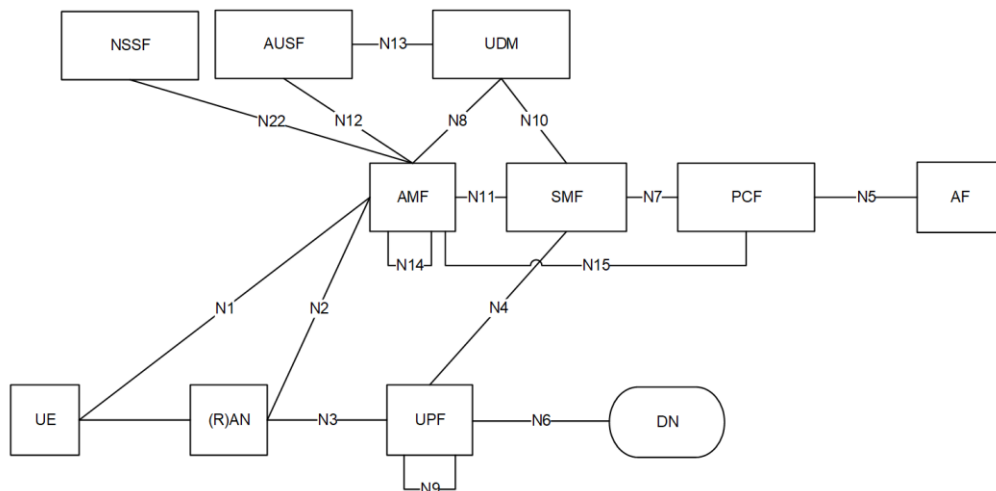


Рис. 3.2 – Мережеві функції 5G

### Функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function):

Функція управління доступом і мобільності (AMF) забезпечує:

- організацію інтерфейсів площини управління N1, N2;
- організацію обміном сигналізації NAS через інтерфейс N1, шифрування і

- захист цілісності сигналізації NAS;
- управління реєстрацією призначене для користувача терміналу (UE) в мережі і контроль можливих станів реєстрації (RM-DEREGISTERED, RM-REGISTERED);
- управління з'єднанням призначене для користувача терміналу (UE) з мережею та контроль можливих станів сполуки (CM-IDLE, CM-CONNECTED);
- управління доступністю для користувача терміналу (UE) в мережі в стані CM-IDLE;
- управління мобільністю призначене для користувача терміналу (UE) в мережі в стані CM-CONNECTED;
- передачу коротких повідомлень між обладнанням користувача (UE) і SMF;
- управління службами визначення місця розташування;
- передачу повідомлень між UE і функцією управління місцем розташування LMF (Location Management Function), а також між RAN і LMF;
- виділення ідентифікатора потоку даних EPS (Evolved Packet System) для взаємодії з EPS;
- взаємодія з невизначеними стандартами 3GPP мережами доступу за допомогою модуля взаємодії N3IWF (Non-3GPP InterWorking Function).

Також AMF може включати в себе під-функції управління безпекою, у т.ч. якірна функція безпеки (SEAF), функція управління контекстом безпеки (SCMF) та функція управління політикою безпеки (SPCF).

Незалежно від кількості мережевих функцій в мережі доступу 5G є тільки один екземпляр інтерфейсу сигналізації NAS між призначеним для користувача обладнанням і мережею, який термінується на одній з мережевих функцій, яка в свою чергу реалізує щонайменше, захист сигналізації NAS і управління мобільністю.

### **Функція управління сесіями (SMF - Session Management Function):**

Функція управління сесіями зв'язку (SMF) забезпечує:

- управління сесіями зв'язку, тобто створення, зміна та звільнення сесії, включаючи підтримку тунелю між мережею доступу (AN) і UPF;
- розподіл і управління IP-адресами терміналів користувачів (UE);
- вибір використовуваного шлюзу UPF;
- організацію взаємодії з функцією управління політиками (PCF);
- управління роботою шлюзу UPF, у тому числі управління застосуванням політик якості QoS;
- динамічну настройку терміналів користувача за допомогою протоколів DHCPv4 (сервер і клієнт) і DHCPv6 (сервер і клієнт);
- проксіг ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC 1027 і/або в IETF RFC 4861 [54] для Ethernet фреймів (SMF відповідає на ARP запити, надаючи MAC-адресу, відповідною IP-адресою, відправленому у запиті) ;
- контроль збору тарифікаційних даних і організація інтерфейсу з системою білінгу;
- безшовність (безперервними) надання послуг SSC (Session and Service Continuity);
- взаємодія з гостьовими мережами в рамках процедур роумінгу.

### **Функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function):**

Функція передачі даних користувачів (UPF) забезпечує:

- інтерфейс підключення до зовнішніх мереж передачі даних, у т.ч. до глобальної мережі Інтернет;
- маршрутизацію та передачу пакетів даних користувачів;
- буферизацію пакетів і ініціацію повідомлення терміналів користувачів (UE) про наявність даних для передачі по лінії вниз (DL);
- маркування пакетів даних відповідно до необхідних параметрами QoS;
- діагностику пакетів інформації (наприклад, виявлення додатків на основі

шаблону потоку даних) і застосування мережевих політик відповідно до цілевказівки, сформованими PCRF;

- надання звітів про використання трафіку;
- проксіг ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC 1027 і/або в IETF RFC 4861 для Ethernet фреймів.

Також UPF є якірною точкою для підтримки мобільності як всередині однієї, так і між різними технологіями радіо-доступу (якщо є).

### **Модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management):**

Модуль управління даними користувачів (UDM) забезпечує:

- управління даними профілів користувачів, включаючи зберігання і модифікацію переліку доступних користувачам послуг та відповідних їм параметрів;
- управління ідентифікаторами користувачів (SUPI);
- генерацію облікових даних аутентифікації 3GPP АКА;
- авторизацію доступу на основі даних профілю користувача (наприклад, обмеження роумінгу);
- управління реєстрацією користувача (тобто, зберігання обслуговуючого AMF);
- підтримку безперервності обслуговування/сеансу зв'язку, тобто зберігання призначених SMF/DNN для поточних сеансів зв'язку;
- управління доставкою SMS повідомлень.

При цьому кілька різних UDM можуть обслуговувати одного і того ж користувача для різних транзакцій.

### **Уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository):**

UDR здійснює зберігання різних абонентських даних і має прикладні інтерфейси Nudr з прикордонними елементами доступу UDM FE, PCF FE, NEF FE.

### **Система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data**

**Storage Function):**

Концепція побудови на опорній мережі 5GС передбачає розподіл мережевих функцій NF (Network Function) і систем зберігання даних, породжуваних і оброблюваних цими функціями (Storage). При цьому визначені системи зберігання і обробки як структурованих, так і неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function), тобто даних, які або не мають чітко визначену структуру, або даних, структура яких не відома сховищу. Мережеві функції NF взаємодіють з системами зберігання даних USDF - через інтерфейс N18.

Одним з кейсів застосування UDSF є збереження модулями управління доступом і мобільністю (AMF) поточних контекстів зареєстрованих користувальницьких терміналів (UE). Дана інформація може бути використана для забезпечення відсутності обривів абонентських сесій як при плановому виведенні з сервісу одного з AMF групи моделей (AMF Set), так і при виникненні аварійної ситуації. В обох випадках резервний AMF підхопить сервіс, використовуючи контексти, збережені попередником в UDSF.

Найбільш типовою реалізацією є поєднання на одній фізичній платформі системи зберігання неструктурованих даних (UDSF) та уніфікованої бази даних (UDR). Типова структура організації UDR/UDSF приведена на рисунку 3.3.

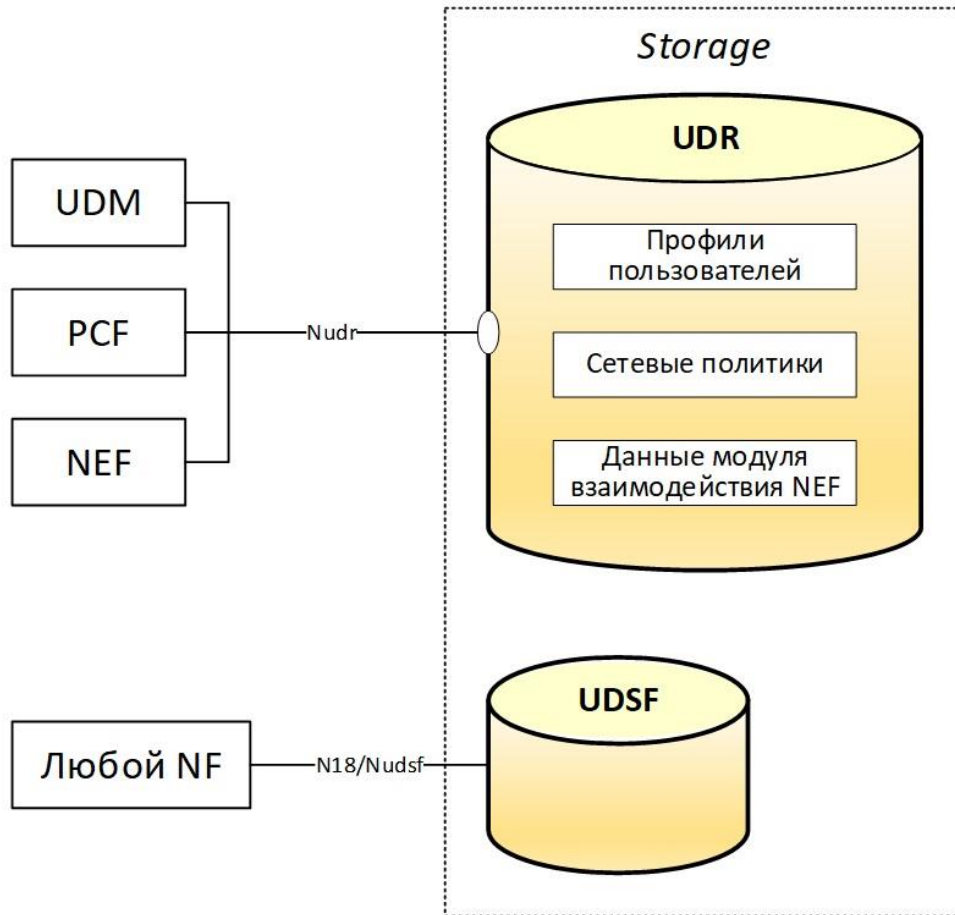


Рис. 3.3 - Типова структура організації UDR/UDSF

**Функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function):**

Функція вибору мережевого шару (NSSF) забезпечує:

- вибір необхідного набору мережевих шарів (Network Slices) в процесі реєстрації користувача терміналу в мережі (в залежності від типу послуги, що надається, типу обладнання абонентського терміналу, його місця розташування і т.д.);
- визначення модулів AMF, які будуть використовуватися для обслуговування призначеного для користувача терміналу або, на основі конфігурації, визначення переліку модулів AMF, шляхом запиту в NRF;
- зберігання інформації про доступність мережевих шарів (NSSAI - Network Slice Selection Assistance Information).

**Функція управління політиками (PCF - Policy Control Function):**

Функція управління політиками (PCF) в реальному часі формує і призначає



призначеним для користувача терміналів ті чи інші політики, включаючи параметри якості обслуговування (QoS) і правила тарифікації. Так, для передачі того чи іншого типу трафіку можуть динамічно створюватися віртуальні канали з різними характеристиками. При цьому до уваги можуть прийматися вимоги сервісу, запитуваної абонентом, його профіль, місце розташування, рівень завантаження мережі, обсяг спожитого трафіку і т.д.

PCF звертається до UDR, що знаходиться в тій же PLMN, що і PCF.

### **Функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function):**

NEF дозволяє організувати безпечну взаємодію зовнішніх платформ і додатків з опорною мережею 5G. Для вирішення даного завдання NEF:

- Дозволяє платформам і додаткам підписуватися на певні події, які генеруються різними елементами мережі, і надалі отримувати повідомлення про виникнення таких подій, наприклад:
- Loss of connectivity - детектування мережею втрати пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);
- UE reachability - відновлення пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);
- Location Reporting - звіти про місцезнаходження (детектується AMF);
- Change SUPI-PE association - зміна терміналу абонентом мережі/зміна зв'язки IMSI - IMEI (детектується UDM).

Повний перелік подій наведено в таблиці 4.15.3.1-1 рекомендації 3GPP TS 23.502.

- Дозволяє здійснювати оновлення інформації по конкретним UE в мережу 5G.
- Дозволяє управляти параметрами QoS і правилами тарифікації (PCC) з конкретних UE.

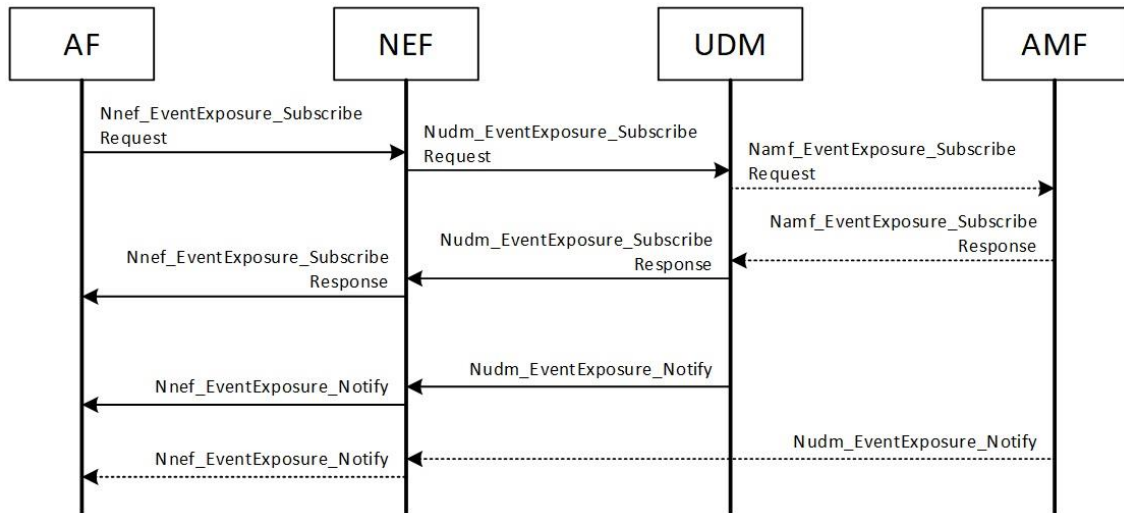


Рис. 3.4 - Перелік подій 3GPP TS

Для взаємодії з різними елементами, платформами і додатками (або мережевими функціями NFs) NEF може підтримувати підмножину прикладних програмних інтерфейсів API. Безпека взаємодії забезпечується за допомогою реалізованих NEF механізмів безпеки, включаючи процедуру перевірки і авторизацію відповідних платформ і додатків. Таким чином, функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками є логічним продовженням елемента SCEF архітектури вузько-смугового інтернету речей (NB-IoT), анонсованого в релізі 13 3GPP.

NEF може зберігати інформацію, отриману від NFs, у вигляді структурованих даних в UDR, використовуючи стандартний інтерфейс Nudr, і в подальшому переробити її для трансляції іншим NFs, або з метою аналізу.

### **Сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function):**

Сховище мережевих функцій (NRF) є еволюційним розвитком сервера доменних імен DNS. Забезпечує зберігання профілів всіх розгорнутих на мережі примірників мережевих функцій і вибір одного або декількох екземплярів в рамках процедури "NF Discovery Request" процесу управління абонентськими сесіями. При цьому кожна послуга мережі дозволяє при включенні "прописати" в NRF свій статус, а також свої функціональні

можливості і підтримувані опції.

Профіль примірника NF, підтримуваний в NRF, включає наступну інформацію:

- ідентифікатор екземпляра мережевих функцій;
- тип мережевих функцій;
- ідентифікатор PLMN;
- ідентифікатори, пов'язані з мережевим шаром, наприклад, S-NSSAI, NSI ID;
- FQDN або IP-адресу мережевої функції;
- інформація про ємності мережевих функцій;
- інформація про дозволені сервіси;
- імена підтримуваних сервісів;
- інформація про точки обміну інформацією для кожної підтримуваної служби;
- ідентифікація збережених даних;
- інші параметри сервісів, наприклад, DNN (Data Network Name), параметри інтерфейсів для повідомлень;
- рівень PLMN (NRF налаштований для роботи на всій PLMN);
- рівень мережевих шарів спільного використання (NRF налаштований таким чином, що він належить кільком мережевим верствам);
- рівень мережевих шарів певного використання (NRF налаштований з приналежністю до S-NSSAI);

При організації роумінгу кілька NRF можуть бути розгорнуті в різних мережах:

- NRF (и) в гостьовій PLMN (відомі як vNRF), сконфігуровані для роботи у гостьовій PLMN;
- NRF (и) у домашній PLMN (відомі як hNRF), сконфігуровані для роботи у гостьовій PLMN, з яким взаємодіє vNRF через інтерфейс N27;

#### **Прикладна функція (AF - Application Function):**

Прикладна функція (AF) мережі 5G взаємодіє з опорною мережею і, як

приклад, може вирішувати такі завдання:

- управління маршрутизацією трафіку;
- надання доступу до модуля забезпечення взаємодії з елементів мережі (NEF);
- взаємодія з функцією управління політиками.

Залежно від конкретного впровадження на мережі оператора зв'язку, окремим зовнішніх платформ і додатків може бути дозволений прямий (безпосередній) доступ до мережевих функцій 5GC. Інші системи будуть здійснювати доступ до мережевих функцій 5GC через прикладні програмні інтерфейси API, що надаються модулем забезпечення взаємодії мережевих функцій.

### **Управління і розділення користувальницької площини CUPS (control and user plane separation):**

У відповідності до архітектурного SDN для мереж 5G було визначено розділення шлюзової передачі даних на дві складові - плоскітне управління (SMF) і розподіл користувальницького трафіку (UPF) - управління та поділ планів користувачів (CUPS). При цьому об'єктивність обчислюється, що концепція CUPS відтворює 14 3GPP для мереж 4G-LTE, де передбачено розділення SGW на C-SGW (площину управління) і U-SGW (площина користувача), а PGW відповідно - на C-PGW і U-PGW.

Спрощення архітектури UPF у порівнянні з PGW мережею 4G-LTE дозволяє знизити вартість розробки та виробництва самих вузлів, так і затрат на їх експлуатацію. У кінцевому рахунку, це відкриває напрям до "побічних обчислень" (краю обчислень) за рахунок можливості встановлювати в мережі велику кількість голосів, розміру їх у безпосередній близькості до мережі доступу. Однак такий підхід створює проблему мобільності, оскільки переміщення користувальницьких терміналів з активною передачею даних буде супроводжуватися частою зміною UPF. 3GPP репрезентує дану проблему шляхом введення нової функціональності - безперервності абонентських сесій та послуг - SSC (Session and Service Continuity).

### Мережеве нарізування Network Slicing:

Network Slicing передбачає поділ фізичної архітектури 5G на безліч віртуальних мереж або шарів. Кожен мережевий шар включає в себе функції рівня управління, функції рівня користувальницького трафіку і мережу радіодоступу (5G-NR, або non-3GPP). Базуючись на архітектурі NFV/SDN, кожен шар має свої характеристики і націлений на вирішення того чи іншого бізнес-завдання. 3GPP визначає три стандартних мережевих шарів:

- понад-широкосмуговий доступ (eMBB, Enhanced Mobile Broadband) - користувачі глобальної мережі Інтернет, камери відеоспостереження, ...
- ультра-надійність і низькі затримки (URLLC, Ultra Reliable Low Latency Communication) - транспорт без водія, доповнена і віртуальна реальність, ...;
- інтернет речей (IoT, Internet of Things) - мільйони пристроїв, що передають малі обсяги даних від випадку до випадку.

Кожен оператор може визначати додаткові мережеві шари, наприклад, виділений мережевий шар для критичних комунікацій, для внутрішньо-корпоративного зв'язку і т.д.

Конкретний термінал (UE) може обслуговуватися одночасно одним або декількома мережевими шарами (максимум - 8). При цьому модуль AMF є загальним для всіх верств, а от інші елементи (у т.ч. SMF, UPF) можуть відрізнятися. Також різні шари можуть включати в себе різні мережі радіодоступу, або єдину мережу, але з відмінними характеристиками. І, як один з бізнес-кейсів, мережеві шари можуть мати розрізнятися параметрами безпеки.

При реєстрації в мережі в рамках процедури встановлення RRC з'єднання (і далі - в повідомленні NAS) термінал (UE) передає список запитуваних мережевих шарів (S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information). На першому кроці, на підставі отриманих від UE даних, списку мережевих шарів, що містяться в UDM профілі користувача і розташуванні абонента здійснюється вибір елемента AMF, який може забезпечити

необхідний набір послуг. Вибір AMF здійснюється із залученням модуля вибору мережевого шару (NSSF) та сховища мережевої функції (NRF).

На другому кроці призначається модуль управління сесіями (SMF) і далі - шлюз передачі користувальницького трафіку (UPF). Призначення SMF/UPF може відбуватися відповідно до статичних налаштувань, або - через репозиторій мережевої функції - NRF.

### **PDU сесії:**

В архітектурі 5G взаємодія користувальницьких терміналів (UE) з мережами передачі даних (Data Network) здійснюється в рамках PDU сесій (PDU Session-s). UE може мати одночасно кілька створених PDU сесій для зв'язку з різними мережами передачі даних і отримання різних сервісів. При цьому різні сесії можуть організовуватися через різні мережеві функції відповідно до концепції Network Slicing. PDU сесії створюються тільки за запитом користувача терміналу. Однак, архітектура 5G дозволяє прикладній функції (AF) ініціювати на UE процедуру запуску сервісу (Application Triggering). Ініціація зазначеної процедури здійснюється шляхом направлення UE в тілі короткого SMS повідомлення команди "Application trigger message", отримавши яке відповідний додаток, встановлений на призначеному для користувача терміналі, може запросити створення PDU сесії (Пункт 4.13.2 рекомендації 3GPP TS 23.502).

На відміну від мереж 4G-LTE в мережах 5G створення сесій повністю контролюється SMF і здійснюється в рамках сигнального діалогу NAS SM між UE і SMF (при цьому AMF, термінуючого інтерфейсу N1 (NAS), здійснює лише прозору трансляцію трафіку NAS SM). У процесі свого існування PDU сесія може бути переміщена між 3GPP і non-3GPP технологіями доступу.

Кожна PDU сесія характеризується наступними атрибутами:

- S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information) - фактично тип або ідентифікатор мережевого шару;
- DNN (Data Network Name) - ім'я зовнішньої мережі передачі даних,

- фактично аналог імені точки доступу мереж 2.5G / 3G / 4G-LTE (APN);
- PDU Session Type - тип PDU сесії;
- SSC mode - режим роботи функції безшовних абонентських сесій та послуг;
- PDU Session Id - унікальний для даного UE ідентифікатор PDU сесії;
- User Plane Security Enforcement information - інформація забезпечення безпеки користувача трафіку, включаючи шифрування і контроль цілісності.

### **Тип PDU сесії (PDU Session Type):**

3GPP визначає 5 можливих типів PDU сесій - IPv4, IPv6, IPv4v6, Ethernet та неструктурований тип (Unstructured). Перші три типи мережу 5G отримала в спадок від технологій попередніх поколінь (2.5G/3G/4G-LTE). Їх використання передбачає призначення призначеного для користувача терміналу (UE) для кожної PDU сесії відповідної адреси (IPv4 або IPv6). Крім цього, мережа може визначити UE адреси DNS серверів, P-CSCF (для IMS сесії), MTU та GPSI (Generic Public Subscription Identifier - публічний ідентифікатор підписки користувача, наприклад, MSISDN).

Тип PDU сесії «Ethernet» не використовувався мережами попередніх поколінь. Даний тип передбачає обмін Ethernet фреймами між призначеним для користувача терміналом (UE) і мережею відповідно до MAC адресами джерела і одержувача. Мережа 5G не призначить UE ні IP, ні MAC адреси, але при цьому UE може мати IP адресу або прописану статично, або призначену динамічно DHCP сервером, що знаходиться з ним в одному broadcast домені. Однак, дана IP адреса жодним чином не використовується мережею 5G і заголовок IP-рівня пакета пропускається мережею прозора. Допускається включення UE в режимі моста (bridge-a). У цьому випадку за UE може знаходитися локальна мережа (LAN) з декількома пристроями, що мають власні MAC адреси (ці пристрої не пізнані мережею 5G). При авторизації PDU сесії DN-AAA сервер може призначити SMF для даної сесії список дозволених MAC

адрес (до 16-ти) й усі ethernet фрейми, що направляються UE у висхідному каналі, повинні містити в якості адреси джерела (source MAC) тільки дозволені адреси. Фрейми, що не відповідають цій умові, будуть блокуватися.

Тип PDU сесії "Unstructured" орієнтований в першу чергу на пристрої з "світу Інтернету речей", передають і приймають non-IP дані. Для сесій цього типу 5GC організовує тунель між UPF і сервером додатків, в який і інкапсулюються неструктуровані дані, які генеруються в рамках даної сесії.

### **Режими роботи функції безшовних абонентських сесій і послуг (SSC mode):**

3GPP визначає три типи умов, які повинні використовувати безшовні абонентських сесії і послуги (SSC mode):

Режим 1 - зміна UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера не передбачається. Відповідно, протягом всієї сесії UE обслуговується одним шлюзом UPF і має незмінну IP адресу.

Режим 2 - передбачається можливість зміни UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера. При цьому спочатку завершується сесія з поточним шлюзом (UPF-old), а потім встановлюється сесія з новим шлюзом (UPF-new). Відповідно, можливий короткочасний розрив сесії і зміна IP адреси.

Режим 3 - також передбачається можливість зміни UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера. Але при цьому спочатку встановлюється сесія з новим шлюзом (UPF-new), а потім завершується сесія з поточним шлюзом (UPF-old). Відповідно, забезпечується безперервність сесії, але допускається зміна IP адреси.

### **Ідентифікатори користувачів:**

**Міжнародний постійний ідентифікатор підписки абонента - 5G SUPI (Subscription Permanent Identifier).** Призначається кожному абоненту мережі 5G і зберігається в уніфікованій базі даних UDM і USIM модулі користувача. В якості ідентифікатора SUPI може виступати міжнародний ідентифікатор мобільного абонента - IMSI (International Mobile Subscriber Identity), або



ідентифікатор доступу до мережі - NAI (Network Access Identifier), формат якого визначений RFC 4282.

**Постійний ідентифікатор обладнання користувача - Permanent Equipment Identifier (PEI).** В даний час 3GPP визначає тільки один можливий формат PEI - це IMEI (International Mobile Station Equipment Identity). IMEI є унікальний номер цифрової послідовності, і повинен призначатися всім призначеним для користувача терміналам (UE), що підтримують 3GPP технологію радіо-доступу, при їх виробництві.

При цьому потрібно розрізняти дві форми подання - власне IMEI, що складаються з 15-ти десяткових цифр і IMEISV (16 цифр). IMEI включає в себе наступні поля:

- TAC (Type Allocation Code) - 8 десяткових цифр;
- SNR (Serial Number) - 6 десяткових цифр;
- CD (Check Digit) / SD (Spare Digit) - одна десяткова цифра.

До складу IMEISV входять:

- TAC (Type Allocation Code) - 8 десяткових цифр;
- SNR (Serial Number) - 6 десяткових цифр;
- SVN (Software Version Number) - дві десяткові цифри.

TAC призначається асоціацією GSMA відповідно до рекомендації GSMA TS.06 і визначає код конкретної моделі призначеного для користувача терміналу.

SNR призначається виробником і визначає серійний номер пристрою.

CD являє собою контрольну суму, розраховану за алгоритмом Місяць.

SD - заповнювач, який використовується у відповіді призначеного для користувача терміналу (UE) при запиті ідентифікатора IMEI з боку мережі (встановлюється в значення 0).

SVN - номер програмної версії UE.

У більшості моделей мобільних телефонів вивести ідентифікатор IMEI на екран можна за допомогою комбінації \*#06#, набраної на клавіатурі пристрою.

**Прихований ідентифікатор користувача - SUCI (Subscription Concealed Identifier).** Являє собою зашифровану копію міжнародного постійного ідентифікатора підписки абонента на послуги (5G SUPI) і дозволяє уникнути передачу 5G SUPI по мережі у відкритому вигляді, навіть при первинній реєстрації користувача терміналу в мережі (Initial attach).

Для захисту SUPI використовується криптографічна схема, заснована на еліптичних кривих (Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme - ECIES). Публічний ключ, застосовуваний для шифрування SUPI, повинен зберігатися в захищеній пам'яті USIM карти; закритий ключ - у функціональному елементі вилучення ідентифікатора користувача (SIDF). При цьому частина SUPI, що містить мобільний код країни (MCC) і мобільний код мережі (MNC) та задіяна для маршрутизації сигнального трафіку не шифрується. 3GPP допускає можливість шифрування SUPI в призначеному для користувача терміналі та USIM модулі. Мережа оператора зв'язку і призначений для користувача термінал також повинні підтримувати так звану нульову схему (null-scheme) при якій захист публічного ідентифікатора користувача не здійснюється.

**Глобальний тимчасовий унікальний ідентифікатор абонента 5G-GUTI (5G Globally Unique Temporary Identifier).** Призначається модулем управління доступом та мобільністю (AMF) незалежно від типу мережі доступу (3GPP, non-3GPP). При "виході в ефір" призначений для користувача термінал повинен використовувати саме 5G-GUTI (за винятком первинної реєстрації в мережі - initial attach, а також інших випадків, коли валідний 5G-GUTI відсутній).

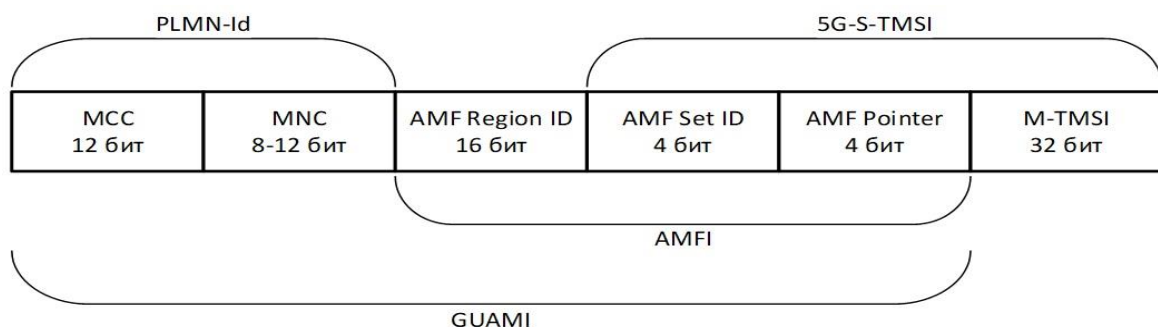


Рис. 3.5 - Формат 5G-GUTI

- GUAMI (Globally Unique AMF Identifier) - глобальний (на міжнародному рівні) ідентифікатор модуля управління доступом і мобільністю AMF;
- MCC - мобільний код країни;
- MNC - мобільний код мережі;
- AMF Region ID - ідентифікатор регіону, який обслуговується модулем AMF;
- AMF Set ID - унікальний ідентифікатор групи модулів AMF всередині регіону;
- AMF Pointer - унікальний ідентифікатор модуля AMF всередині групи AMF Set ID;
- AMFI - унікальний (в межах мережі) ідентифікатор AMF;
- 5G-TMSI (5G Temporary Mobile Subscription Identifier) - тимчасовий ідентифікатор мобільного абонента мережі 5G (унікальний в межах AMF);
- 5G-S-TMSI - унікальний (в межах регіону) тимчасовий ідентифікатор мобільного абонента мережі 5G.

### **3.2. Побудова мережі.**

Так як мережі п'ятого покоління будуть функціонувати на основі четвертого покоління, то спочатку потрібно пояснити, як функціонує мережа LTE Advanced, потім - вивести припущення про архітектурні відмінності мереж п'ятого покоління.

Мережа LTE складається з двох систем - базової мережі, System Architecture Evolution або Evolved Packet Core, що складається з блоків управління мобільністю (Mobility Management Entity), блоків користувальницької суті (User Plane Entity), службових і пакетних шлюзів, та мережі радіо-доступу (evolved UMTS Terrestrial radio access network, E-UTRAN), що складається тільки з базових станцій. У попередньому поколінні зв'язку в архітектуру мережі радіо-доступу входить контролер радіомережі,

Radio Network Controller, до функції якого входив процес встановлення і переривання з'єднань абонентів, процес хендовера (передачі абонента від однієї базової станції до іншої), шифрування даних користувачів, визначення рівня контролю якості. У мережах LTE всі ці функції покладені на базові станції.

Всі елементи мереж LTE з'єднуються між собою за допомогою інтерфейсів (інтерфейс - комплекс стандартизованих зв'язків, що з'єднують різне обладнання, наприклад, інтерфейсами називають сполучні кабелі материнської плати комп'ютера і периферійних пристроїв - RS-232, USB, HDMI). Інтерфейс, що з'єднує базові станції називається X2 і відповідає за утримання абонента в мережі при переході від однієї базової станції до іншої. Базові станції з'єднуються з блоком управління мобільністю за допомогою інтерфейсу S1; власне інтерфейс ділиться на два типи: S1-C, передає службову інформацію для базової станції через шлюз Serving GW; S1-U, передає призначену для користувача інформацію через пакетний шлюз Packet Data Network GW. Також, крім S1, існують інші інтерфейси, такі, як: S2 (для з'єднання з мережами, у яких 3GPP є розробником), S3 (з'єднує вузол пакетної мережі для абонентів мереж другого і третього покоління і MME, відповідає за передачу службових даних між мережами LTE і попередніх поколінь), S4 (для з'єднання базової мережі SAE і вузла пакетної мережі попередніх поколінь SGSN, Serving GPRS Support Node), S5 (з'єднує базову мережу і пакетний шлюз Packet Data Network GW), S6 (з'єднує блок управління мобільністю та сервер абонентських даних, відповідає за аутентифікацію в мережі LTE ). Сукупність мережевого обладнання базової мережі, мережі радіо-доступу і сполучних інтерфейсів є фізична структура мереж LTE, LTE Advanced.

Логічна структура мережі LTE розділена на дві частини: шар радіо-доступу, Access Stratum і шар без доступу, Non-Access Stratum. У шар радіо-доступу входить все обладнання мережі радіо-доступу та базової пакетної мережі, в шар без доступу входять способи контролю (або управління) мобільністю, EMM, EPC Mobility Management.

Мережі на основі LTE Advanced надають доступ до якісних послуг мережі - дзвінки, висока швидкість завантаження мультимедійних даних, безкоштовне використання (без урахування трафіку) деяких додатків (в основному це месенджери). На жаль, через велику кількість пристроїв і поліпшення якості (а значить, і розміру) мультимедійної інформації, мережі LTE скоро не зможуть справлятися з великим навантаженням. Зокрема, використовуваний LTE дециметровий спектр частот не зможе забезпечити доступ до ресурсів з необхідним рівнем якості (Qos) і тоді може просто статися відключення пристрою від мережі (відмова базової станції обслуговувати стільниковий телефон).

Саме з метою запобігання насичення смуги пропускання і в майбутньому звільнення дециметрового діапазону для пристроїв, які споживають мало ресурсів, до 2025 року в Європі планують перейти до впровадження мереж п'ятого покоління (5G). Кожне покоління стільникового зв'язку має відрізнятися від іншого: перше від другого - перехід від аналогових видів модуляції цифрових; другий від третього - появою додаткових послуг, таких, як високошвидкісний доступ до інтернет; четверте від третього - перехід від каналної комутації (розподілу даних, що надходять) до пакетної і впровадження IP-адресації, як в провідних мережах. П'яте покоління від четвертого повинно відрізнятися двома параметрами: використовуваної частотою спектра, тобто перехід до ультракоротких хвиль, а також зняття навантаження з базових станцій за рахунок передачі їх функцій віртуальним машинам. Включення віртуалізації і хмарних технологій в архітектуру 5G означає більш гнучке і швидке налаштування, а також більш дешеве розгортання, так як віртуальних машин може бути багато на одній фізичній машині. Під гнучким налаштуванням розуміється створення індивідуальних умов користування послугами зв'язку: особисті тарифні плани, налаштовані до потреби кожного абонента; управління обсягом даних, які споживаються всіма додатками.

Отже, відповідно до специфікації 3GPP TS 38.300 version 15.3. 1 Release 15, загальна будова мереж п'ятого покоління будуються на основі технології New Radio і будуть розділені на дві частини, як і у попереднього покоління: 5GC (Core Network) тобто базову мережу і NG-RAN (Next Generation Radio Access Network), то є мережа радіо-доступу наступного покоління. Базова мережа повинна складатися з двох основних пристроїв, які поділяють службові і призначені для користувача функції. Ці пристрої так і називаються, «функціями»: AMF (Access and Mobility Management Function), функція, що відповідає за надання доступу та управлінням підтримки сигналу мережі при переміщенні абонента; UPF (User Plane Function), що відповідає за передачу призначеного для користувача трафіку.

Додатково, в архітектуру мережі включені інші «функції»: SMF (Session Management function), функція управління сесіями, розподіляє IP-адреси для користувача пристроїв, управляє і стежить трафіком, що проходить через функцію користувальницької площині вибирає UPF для переміщення трафіку до місця призначення; AUSF (Authentication Server Function), функція сервера аутентифікації користувачького пристрою; UDM (Unified Data Function), являє собою сховище реєстраційних даних, відомостей про безпеку і різних підписках абонента; PCF (Policy Control Function), функція управління політиками, що контролює єдину політику поведінки мережі та політику поведінки кожної площині мережі (користувальницької і службової); AF (Application Function), функція додатків, що виконує запити до функції управління сесіями, також має доступ до управління зарядом батареї пристрою.

Мережа радіо-доступу складається з двох видів базових станцій: gNB, що працюють в мережі п'ятого покоління і ng-eNB, що працюють в мережі четвертого (E-UTRAN) або попереднього покоління. Обидва види базових станцій повинні з'єднуватися інтерфейсом Xn, а з'єднання базових станцій з функціональними блоками - інтерфейсом NG. Також, як і в мережах LTE, інтерфейс NG різниться для пристроїв, що взаємодіють один з одним. Всього в

специфікації 3GPP TR 23.799, випущеної в грудні 2016 року визначено 15 видів інтерфейсів NG, з нумерацією від 1 до 15. Приведемо тільки п'ять з них. Так, NG1 є «опорна точка» між призначеним для користувача пристроєм і AMF, NG2 - з'єднує базову станцію з AMF; також базова станція з'єднується по інтерфейсу NG3 з функцією площини користувача, яка, в свою чергу, з'єднується по інтерфейсу NG4 з функцією управління сесіями, а доступ до інтернет і до послуг оператора надається через інтерфейс NG6. Функція додатків AF з'єднується з функцією управління сесією через інтерфейс NG5.

Від мереж LTE в мережі 5G перейшли такі поняття, як площина користувача і контролю, тому інтерфейси NG, пов'язані з користувачем, так само, як і в LTE, позначають NG-U і, відповідно, NG-C для площині контролю, тому рівні протоколів (стеки) інтерфейсів також ділять тільки на призначені для користувача і службові. Інтерфейси площині користувача з'єднують базову станцію з UPF, а інтерфейси площині контролю (NG-C) - з AMF. Тут потрібно зауважити, що NG-U забезпечує негарантовану доставку (коли призначений для користувача пристрій посилає елемент даних протоколу (PDU) і не чекає у відповідь звіт про доставку; гарантована доставка - це підтвердження у вигляді звіту, що елемент даних отримано), що істотно заощаджує час передачі даних.

Інтерфейси Xn і NG повинні мати відкриті, доступні для всіх виробників специфікації для взаємодії з різними базовими станціями. Тут необхідно зазначити, що деякі групи вчених, що працюють над розробкою вимог і стандартів 5G, зокрема, форум NGMN (Next Generation Mobile Networks), в своїх звітах дотримуються думки про повну відкритість усіх технологій, тобто, усі пристрої мережі, починаючи з фізичного і закінчуючи прикладним рівнем мають бути доступні усім користувачам. Також NGMN вважає, що проектування і будівництво мережі 5G має проходити не кожним оператором окремо, а спільно всіма операторами регіонів.

Процес роботи в мережі п'ятого покоління приблизно такий: призначений для користувача пристрій виявляє мережу за допомогою вбудованої антени

(цей етап залишається незмінним ще з другого покоління і технології GSM), мережа, тобто AMF через базову станцію запитує службові дані телефону.

Користувача пристрій посилає свої реєстраційні дані через базову станцію в функцію доступу і управління мобільністю (AMF), ця функція зіставляє реєстраційні дані пристрою з сервером, на якому містяться дані всіх абонентів і якщо надані дані збігаються, доступ в мережу дозволяється. Після реєстрації для користувача пристрій отримує доступ до UPF, а через неї - до послуг мережі.

Ще одна відмінність мережі п'ятого покоління - віртуалізація послуг і обробка даних в хмарних операційних системах - додало ще одне поняття до визначення архітектури: крім «Plane» - «площину», з'явилося поняття «Slicing» - «зріз», що означає різні настройки (або характеристики мережі) для окремих користувачів і груп, а також для обладнання. Передбачається, що провайдер мережі 5G буде створювати спеціальні шаблони - віртуальні машини (NST, Network Slice Template), і користувачі зможуть оптимізувати для себе ці шаблони, тобто підключати необхідні послуги, орендувати програмне забезпечення. Архітектура зрізів не повинна бути відкритою, так як віртуальні машини, що працює віддалено (в «хмарі», тобто в Центрі Зберігання Даних провайдера 5G) можуть бути від різних виробників. Наприклад, найбільший постачальник дрютяної телефонії в Казахстані - АТ «Казахтелеком» використовує хмарні сервіси від компанії Microsoft (Hosted Lync, Hosted SharePoint, Hosted Exchange), а також віртуальний хостинг з операційними системами Windows (веб-сервер IIS) і Linux (веб-сервер Apache).

У 2016 році форум NGMN випустив документ «Description of Network Slicing Concept», «Опис концепції розбиття мережі», в якій логічна структура зрізів складається з трьох частин (від низу до верху): рівня ресурсів, рівня екземпляра мережевого сегмента та рівня екземпляра служби.

До рівня ресурсів відносяться всі фізичні і логічні ресурси. Фізичні ресурси - це всі компоненти, з яких складається мережа: базові станції, системи



зберігання даних, сервера, маршрутизатори, комутатори, навіть кросове (сполучне обладнання, таке, як мідний або оптоволоконний кабель є фізичним ресурсом). Логічні ресурси - це згруповані за певною ознакою або для будь-якої мети фізичні ресурси, наприклад, до логічних ресурсів, призначеним для віртуального хостингу (послуги, що надає місце для зберігання даних на постійно працюючому, тобто знаходиться в мережі, комп'ютері-сервері) відносяться : власне, комп'ютер-сервер з операційною системою, система зберігання даних - комплекс, що складається з декількох жорстких дисків, з'єднаних один з одним, комутатори, маршрутизатори і сполучні кабелі, а також програмне забезпечення на вимогу замовника. Мережеві функції не належать до ресурсів, вони входять до складу зрізу мережевого сегмента. У той же час план мережевого сегмента, який представляє собою опис структури і необхідних мережевих функцій відноситься до логічних ресурсів.

Примірник мережевого сегмента - це і є «Slice» - зріз, який представляє собою набір характеристик, параметрів, виділених ресурсів для розгортання послуг і служб, що надаються оператором мережі. Наприклад, зріз, призначений для обміну даними між машинами (датчиками, лічильниками) не вимагає системи зберігання даних, тільки сервер, комутатор і маршрутизатор, а також сполучні кабелі, тому що для передачі сигналу від пристрою до пристрою іноді досить одного біта даних - 0 або 1. Якщо згадати процедуру хендвера (переходу користувачького пристрою від однієї базової станції до іншої), то по ній відразу видно, що базова станція і призначений для користувача пристрій обмінюються між собою текстовими повідомленнями, які складаються з одного - двох слів (наприклад: NO REQUEST, NO RESPONSE і так далі). При цьому зріз для M2M (машина і машина) з'єднань повинен володіти надійно, тобто повідомлення обов'язково повинно бути доставлено і мати наднизьку затримку, тобто повідомлення повинно бути доставлено дуже швидко, наприклад, якщо програма дистанційного керування автомобілем посилає повідомлення на датчик автомобіля. Інший зразок зрізу - для надання

послуги інтернет-телебачення навпаки, потребує системи зберігання даних, декількох серверах, маршрутизаторах і сполучному обладнанні для забезпечення постійного доступу до мультимедійної послуги, яка також вимагає наднизької затримки, але при цьому для неї є необов'язковою надійність, так як втрата декількох пакетів даних може бути не помічена користувачем.

Мережевий сегмент може використовувати різні ресурси, складатися з декількох логічно завершених підмереж, при цьому мережі можуть використовувати ресурси не тільки свого зрізу, а й іншого. Мережевий сегмент необхідно розгортати на віртуальній машині, тому що, завдяки Гіпервізору (спеціальним програмам, що розділяють фізичні ресурси комп'ютерів-серверів на кілька логічних складових) масштабованість, тобто збільшення кількості зрізів (наприклад, один зріз - одна віртуальна машина) буде дуже простою процедурою.

Рівень примірника служби - це кінцевий сервіс або програма, яка надається користувачеві. Примірники служби давно стали частиною глобальної мережі. Класичний приклад такої служби - поштові сервіси, наприклад Gmail, яка завантажується через браузер і можливо відрізнити на вигляд від будь-якого іншого сайту, але вона використовує ті ж мережеві протоколи, що і Microsoft Outlook або інша автономна програма, встановлена на комп'ютері і при запуску зв'язуються з поштовим ящиком через поштові протоколи.

Мережа п'ятого покоління фізично повинна мати таку ж просту структуру, як і мережа LTE, тобто складатися тільки з базової мережі та мережі радіо-доступу. Але логічно 5G набагато більш складна за структурою: зберігся горизонтальний поділ на призначену для користувача і службову площину, додалося вертикальний поділ на зрізи, розширилася роль комп'ютерного контролю, додалися нові логічні елементи, такі, як функція контролю сесії або функція додатків.

Фізична структура мережі п'ятого покоління ще кілька років буде схожа

на попереднє покоління, тому що виробникам користувацького обладнання (телефони, планшети і так далі) необхідно забезпечити спадкоємність технологій, що гарантують роботу в різних мережах, тим більше що на загальній схемі пристрою мережі п'ятого покоління вказані два види базових станцій. Також про плавний перехід від одного покоління зв'язку до іншого свідчить той факт, що в специфікаціях 3GPP як спосіб модуляції використовується Non-OFDM, який вже впроваджений в мережах LTE Advanced.

П'яте покоління зв'язку надасть виробникам і приватним користувачам послуги, які не передбачалися в мережах LTE або не функціонували належним чином, такі, як взаємодія між машинами, тобто використання різноманітних датчиків.

На закінчення необхідно сказати, що для розгортання мереж п'ятого покоління найкращим чином підходить компанія, якій належать 100% акцій стільникового оператора, що надає послуги стільникового зв'язку LTE. Якщо Міжнародний союз електрозв'язку представить міжнародної громадськості затвержені специфікації 5G (IMT-2020) в грудні 2019 року, то компанії зможуть ввести в експлуатацію мережі п'ятого покоління до 2025 року.

### **Технології 5G New Radio (5G NR):**

Розробка 5G NR велася практично «з нуля», з урахуванням вимог до мереж 5G і з застосуванням кращих технологій, які будуть доступні до моменту повномасштабного розгортання мереж 5G. Таким чином, в 5G NR використовуються новітні технології модуляції, освіти форм хвиль (waveforms) і технологій радіо-доступу RAT (Radio Access Technology), які, у т.ч., забезпечуватимуть високу швидкість передачі даних і подовження терміну служби батареї призначених для пристроїв 5G.

Основні вимоги стандарту 3GPP. Джерело: ITU, Nokia, Qualcomm

Попередні вимоги до технології 5G NR з'явилися в стандарті 3GPP Release 15, затвердженому у грудні 2017, і очікується, що остаточний варіант

буде затверджений у грудні 2019 р.

Основні відмінні риси радіо-технології 5G NR - такі:

Додавання нових діапазонів радіо-спектра, згідно з вимогами до швидкості передачі сигналів, числа пристроїв, зростання трафіку численних додатків 5G. Нові діапазони 5G NR лежать в межах від 2,5 до 40 ГГц. Ведуться обговорення про використання спектра до 100 ГГц.

Оптимізована технологія OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів). Ця технологія вже була успішно застосована в 4G / LTE-A, а також в останніх версіях Wi-Fi.

Формування променів (Beamforming).

Це технологія, яка лише в останні роки перейшла від концепції до реалізації, і яка здатна реалізувати багато переваг 5G. Beamforming дає можливість направляти промінь радіохвиль від базової станції на певні пристрої, як рухомі, так і нерухомі, без впливу на інші промені, спрямовані на ті ж пристрої.

**MIMO (Multiple Input Multiple Output).** MIMO - Метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, який вже застосовувався в Wi-Fi і 4G, в 5G був значно вдосконалений, зокрема, у розрахованому на багато користувачів режимі MU-MIMO (Multi-User- MIMO) в базових станціях 5G gNodeB (gNB), антени яких складаються з матриці випромінюючих елементів. Це дає можливість посилювати рівень сигналу для конкретного користувача, в той же час мінімізуючи вплив даного сигналу на інших користувачів.

Технології спільного використання спектра (Spectrum sharing). Багато спектрів-радіочастот, відповідним чином розподілені, часто не використовуються ефективно. Для вирішення цього завдання були розроблені технології Spectrum sharing.

**Уніфікована між-частотна взаємодія (Unified design across**

**frequencies).** Оскільки у 5G NR додано безліч нових частотних діапазонів, важливо забезпечити інтерфейс взаємодії при переході каналу з однієї частоти на іншу при хендверів між базовими станціями.

**Маленькі стільники (Small cells).** Ущільнення мережевого покриття веде до того, що число базових станцій має збільшуватися. Тому було запропоновано рішення Small Cells - рішення недорогих, простих в установці і обслуговуванні базових станцій невеликої потужності. Їх можна розвішувати на щоглах вуличного освітлення, на стінах будинків та інших об'єктах. Мережа 5G здатна ефективно координувати їх роботу, перерозподіляючи навантаження між антенами.

При цьому можна використовувати розподілені антенні системи DAS (Distributed Antenna System) фактично «закриваючи» однією або декількома базовими станціями багатоповерхові будівлі. Невеликі антени з радіо-блоками можна розташовувати практично в кожному приміщенні, забезпечуючи найкращу якість зв'язку.

Єдину інфраструктуру базових станцій і DAS можуть використовувати кілька операторів зв'язку одночасно.

### **Архітектура опорної мережі (Core Network) 5G:**

Особливість архітектури мережі 5G полягає в тому, що традиційне поняття «архітектура мережі», заснованої на апаратних рішеннях, в мережі 5G втрачає актуальність.

Тому 5G частіше називають не мережею, а системою, або «платформою», під якою мається на увазі платформа програмна, а не апаратна. Якщо мережі 1/2/3 / 4G будувалися на базі апаратних рішень (обладнання), то платформа 5G будується на базі програмних рішень, зокрема, програмно-конфігуруються мереж SDN (Software Defined Network), а також віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization).

Функції 5G реалізуються у віртуальних програмних функціях VNF (Virtual Network Function), які працюють у інфраструктурі NFV. Різниця між

цими схожими за звучанням поняттями полягає в тому, що VNF - це функція, а NFV - це технологія. У свою чергу, NFV реалізується у фізичній інфраструктурі дата-центрів (data center, DC, центр обробки даних, ЦОД), на базі стандартного комерційного обладнання COTS (Commercial Off The Shelf). Устаткування COTS включає лише три види стандартних, щодо недорогих пристроїв - сервер (обчислювальний пристрій), комутатор (мережевий пристрій) і система зберігання даних (пристрій зберігання).

Таким чином, обладнання традиційних мереж мобільного зв'язку замінюється на програмні суті, працюють в дата-центрах на стандартних серверах і віртуальних машинах VM (virtual machines).

Для реалізації програмних функцій, крім віртуальних машин, також будуть використовуватися програмні контейнери (containers), а також програмна архітектура мікро-сервісів (microservice).

Розподілена архітектура мережі мобільного доступу D-RAN (Distributed RAN) в мережах 4G поступово еволюціонує до централізованої архітектури C-RAN (Centralized RAN).

В архітектурі 5G функції опорної мережі реалізуються в центральній хмарі Central Cloud (Cloud RAN), на віртуальних машинах VM.

Важливу роль у розвитку мереж 5G гратимуть також гранична хмара (Edge Cloud), зокрема, технологія MEC (Mobile Edge Cloud), а також «листо-туманне» (Fog Cloud).

Віртуалізація мережі на базі NFV/SDN необхідна також для дуже корисної функції 5G: логічної мережевої нарізки (Network Slicing).

Технологія Network Slicing дозволяє на базі єдиного обсягу (пулу) мережевих ресурсів виробляти логічний поділ мереж для різних типів послуг 5G, яким потрібні різні технології радіо-доступу RAT (Radio Access Technology), з різними характеристиками середовищ передачі даних. Це, наприклад, послуги:

- Високоякісне відео UHD

- Голосові послуги (5G Voice)
- Інтернет речей з великою кількістю датчиків, сенсорів і виконавчих пристроїв (Massive IoT)
- Інтернет речей для відповідальних додатків, таких, наприклад, як безпілотний транспорт (V2X), електронна медицина (Mission Critical IoT) і багато інших.

Всі ці послуги, що надаються на базі технології Network Slicing працюють на єдиній фізичній інфраструктурі дата-центрів центральної та граничної хмари, а також «туманні» інфраструктури (Fog Computing), необхідної для Massive IoT і промислового інтернету речей IIoT (Industrial IoT).

Це дає можливість багаторазового використання створеної колись програмно-апаратної інфраструктури, а також гнучке перепризначення її наявних ресурсів. Крім того, такий підхід дозволяє знизити не тільки капітальні витрати на будівництво мережі, а й операційні витрати на її обслуговування.

### **3.3 Частоти.**

Станом на 2019 рік 5G передбачається використовувати в різних спектрах радіочастот. Однак, в діапазоні до 6 ГГц, в тому числі виділеного під Wi-Fi діапазону 5 ГГц, поки існують серйозні проблеми з наявністю вільних частот. Виділення частот для 5G в спектрі до 6 ГГц вже погоджено на Всесвітній конференції радіозв'язку ВКР (WRC-15, World radiocommunication conference) в 2015 році. Діапазони більш високих частот будуть розподілятися на ВКР-19 в 2019 році.

Застосування низькочастотних ділянок спектра для мереж 5G дозволяє досягти оптимального покриття мережі без масивних інвестицій в розвиток мережевої інфраструктури.

Низькі частоти забезпечують гарне проникнення радіохвиль у приміщеннях, що дуже важливо для IoT. Особливо, важливий діапазон 700 МГц, призначений для систем зв'язку M2M, «розумного міста» і «розумних

будинків». Для особливо надійного підключення таких об'єктів, як, наприклад, самоврядні автомобілі, роботи, промислова автоматизація, можуть використовуватися діапазони 3,4-3,8 ГГц. Передбачається, що в епоху 5G операторам будуть виділятися суцільні частотні смуги по 300-400 МГц.

Високочастотний спектр необхідний мереж 5G для досягнення швидкості передачі даних до 20 Гбіт/с, зокрема, для надання послуг 3D-відео в форматі UHD, AR/VR, хмарні сервіси для роботи та ігор, голографічний зв'язок, тактильний інтернет та ін. Зокрема, для цього розглядається можливість використання діапазонів 24,25-27,5 ГГц і 37-43,5 ГГц.

Планований розподіл низькочастотного спектру 5G в різних країнах і регіонах світу відповідно до WRC-15 на рисунку 3.6

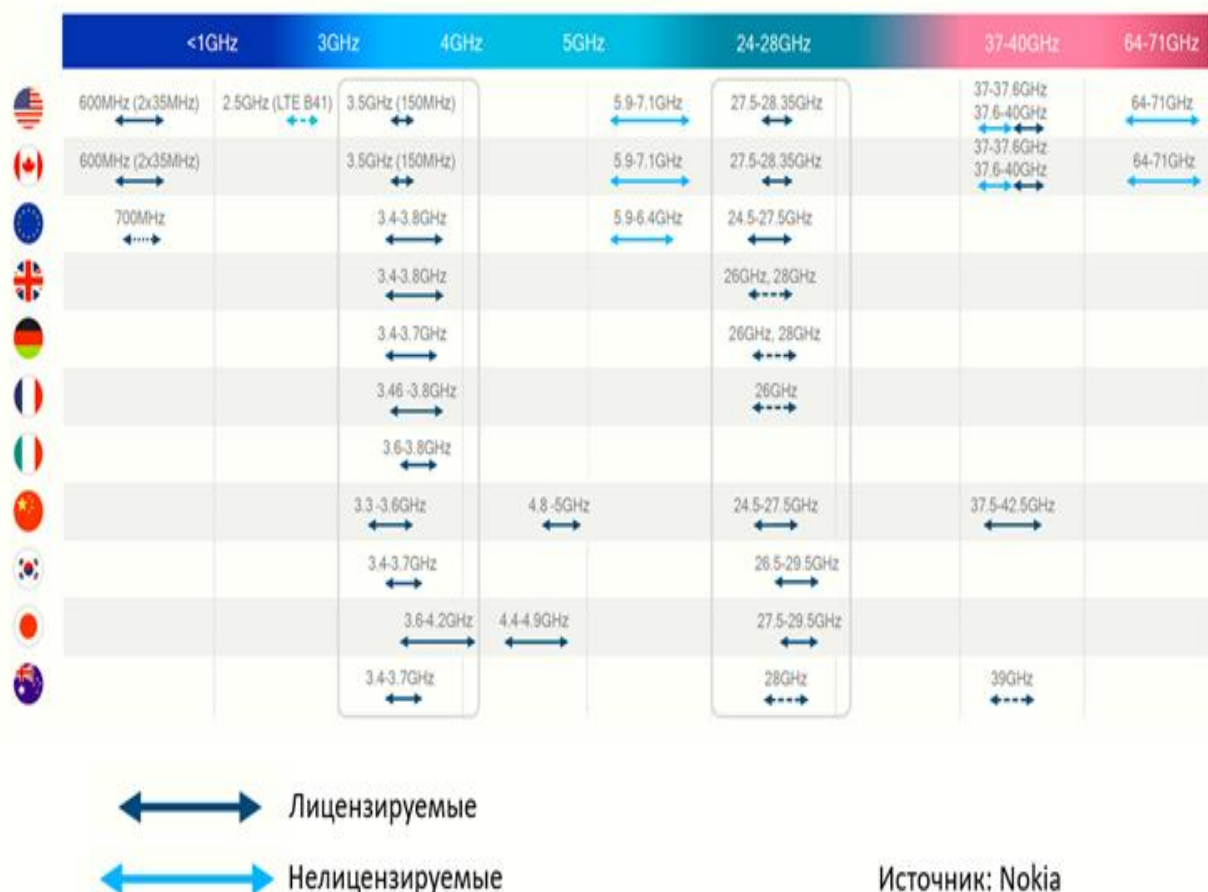


Рис.3.6 - Планований розподіл низькочастотного спектру 5G



## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі наведені результати, що відповідають меті дослідження, та в сумі є рішенням актуальної науково-практичної задачі – дослідження технічних аспектів побудови 5G.

В роботі, на підставі аналізу даних, отримані наступні результати:

Стільниковий зв'язок 5G, це технологія реалізація якої дозволить задовольнити цілий спектр потреб сучасного суспільства та компаній. Вимоги до стандарту, апаратне забезпечення та вимоги до безпеки, це ключові елементи розгляду впровадження технології 5G.

Є жорстка потреба у впровадженні технології 5G оскільки, витрати на пропуск зростаючого трафіку по мережах операторів зв'язку за станом на 2019 рік не покривається доходами від традиційних послуг. Основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G. Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Мережі 5G здатні значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу, і за допомогою залучення нових спектрів радіочастот. Цілий спектр різних сервісів інтернету речей буде доступний для вирішення. Мережа 5G, укупі з технологією інтернету речей, за допомогою промислових датчиків, а також за допомогою штучного інтелекту здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. За рахунок мереж п'ятого покоління також можна буде поліпшити якість використання вже існуючих сервісів, де задіяні великі обсяги трафіку. Також можна буде використовувати на новому рівні додаток віртуальної і доповненої реальності. Нові сервіси з використанням 5G можуть бути реалізовані і в медицині. Низька затримка даних, яку здатні забезпечити мережі нового покоління, важлива і для розгортання розумних мереж електропостачань. У великих виробничих компаніях, у сфері з продажу, логістиці 5G дасть можливість використовувати більше промислових роботів, що виконують різні функції замість людей. Спектр переваг над сучасними технологіями стільникового та інтернет зв'язку занадто великий. Мережа 5G забезпечує в 20 разів більшу швидкість в порівнянні з 4G.

Мережі п'ятого покоління будуть функціонувати на основі четвертого покоління. Розгляд алгоритмів побудови, протоколів та архітектури, дозволяє зробити висновок, що мережа 5G потребує лише затвердження схем та участі усіх операторів стільникового зв'язку для вирішення питання, від яких усі будуть у вигаді.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оліфер В., Оліфер Н. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Підручник для вузів. 5-е вид. 2016 р. — 992 с.
2. Вишне夫斯基 В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Енциклопедія Wimax. Шлях до 5G. – М.: «Техносфера», 2016 р., 472 с.
3. Шахнович И. В. Сучасні технології безпроводового зв'язку. — М.: «Техносфера», 2016 р., 288 с.
4. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Мережі стільникового зв'язку LTE: технології та архітектура. 2016 р., 284 с.
5. Гельгор О.Л. Технологія LTE стільникової передачі даних: 2017 р.
6. Шахнович І. Системи безпроводового зв'язку 5G: телекомунікаційна парадигма, яка змінить світ. 2017 р
7. 5G White Paper by NGMN Alliance 17th of February 2017 (довідковий документ форуму NGMN про влаштування мереж 5G):
8. Технічна специфікація 3GPP TS 38.300 version 15.3.1 Release 15 (ETSI TS 138 300 V15.3.1 (2018-10)) – 5G; NR; Overall Description; Stage-2:
9. Технічна специфікація 3GPP TS 23.501 version 15.4.0 Release 15 (ETSI TS 123 501 V15.4.0 (2019-03)) – 5G; System Architecture for the 5G System:
10. Технічна специфікація 3GPP TS 38.410 version 15.0.0 Release 15 (ETSI TS 138 410 V15.0.0 (2018-07)) – 5G; NG general aspects and principles:
11. Технічний звіт 3GPP TR 38.912 version 15.0.0 Release 15 (ETSI TR 138
12. Бакулін М.Г., Крейнделін В.Б., Панкратов Д.Ю. Технології в системах радіозв'язку на шляху до 5G. 2018р.- 280с.
13. Sundhar Kalyan, Miller Lawrence C. 5G для чайників. 2017р.
14. Роман Фішман. З впровадженням технологій 5G.2019р.
15. В.Крамолія. У чому небезпека інтернет-технології 5G?. 2018р.
16. Patrick Marsch. 5G Мобільні та бездротові комунікаційні технології. 2016р.
17. Журнал ЧП. Революція 5G. 2016р.
18. Дмитро Денісов. Технології 5G-мереж. 2016р.
19. Олексій Шалагінов. Мережі 5G в США. 2018р.
20. Мейк Котткамп. Випробування 5G NR. 2018
21. В.Тіхвинській. Які основні нові технології ляжуть в основу 5G? 2017р.
22. Олексій Миколаїв. Мережі 5G. 2019р.
23. А.Н.Степутін. Мобільний зв'язок 5G. 2017р.