

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему «**ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МОБІЛЬНОГО
ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ В УКРАЇНІ**»

Виконав: студент групи 6 курсу, групи АРДМ-61
спеціальності 172 Телекомунікації і
радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Стадник Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дакова Л.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

Київ – 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖ 5G	5
1.1. Мережі 5G: теоретико-концептуальні засади та сутність	5
1.3. Ризики використання 5G	21
2. СВІТОВИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ МЕРЕЖ 5G	25
2.1. Роль мегаполісів у розвитку мереж 5G	25
2.2. Можливості розвитку 5G в контексті впровадження технологій 5G у мобільні пристрої	38
2.3. Майбутні тренди розвитку мереж 5G	41
3. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ ТА ЇХНІЙ ПОТЕНЦІАЛ У РОЗВИТКУ 5G	44
3.1. Побудова архітектури мереж 5G.....	44
3.2. Поточний стан розвитку мереж зв'язку в Україні	52
3.3. Перспективи впровадження мереж 5G в Україні.....	58
ВИСНОВКИ.....	62

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що зріст користувачів персональних комп'ютерів і смартфонів у 2010рр. призвів до стрімкого розвитку галузей, які потребують стабільного та високошвидкісного інтернет-з'єднання. Поширення інфокомунікаційних технологій набуло сьогодні характеру глобальної інформаційної революції, яка диктує умови розвитку засобів та характеру комунікацій. Результатом цієї революції є становлення суспільства нового типу, в якому інформація й знання є головним ресурсом подальшого розвитку, що відкривають для науки принципово нове поле досліджень.

Необхідність актуалізації дослідження мереж 5G зумовлюється з одного боку, стрімким розвитком технологій, які викликають потребу у мережах нового покоління, та стабільно стійкою тенденцією недовіри громадян до нових технологій, з іншого. Причини такого стану знаходяться у недосконалості комунікаційних зв'язків із суспільством, що іноді унеможлиблює адекватне реагування на його запити. Між тим саме розвиток мереж 5G сприятиме розвитку саме тих напрямків, яких бракує інформаційному суспільству — інтернету речей, невідкладної медичної допомоги найвищого рівня, системи віддаленого навчання, відеоігор тощо.

Потенціал мережі 5G спроможний перевести інфокомунікаційні технології на новий рівень розвитку. Вже на цьому етапі спостерігається стрибок у технологіях швидкого обміну даними, створення унікального фото- та відеоконтенту завдяки впровадженню технології 5G у смартфони різних виробників. Це означає більше залучення людей в життя суспільства. Потреба громадянського суспільства у мережах нового покоління позитивно впливає на способи їхнього впровадження у міську середу. Саме тому міста, які вже мають успішний досвід користування 5G, мають надсучасний вигляд.

Поки що дослідження мереж 5G проводять здебільшого зарубіжні дослідники. А предметне поле дослідження даної проблематики в Україні ще тільки формується,

внаслідок чого різноманітні аспекти розвитку мереж, що відображають новий рівень технологічного розвитку, досліджені поки що недостатньо. Ще не остаточно визначено теоретико-методологічні принципи таких досліджень. Уже накопичено значний емпіричний матеріал з дослідження впливу 5G на розвиток міст та великих підприємств, вивчається проблематика вивільнення частот, достатньо досліджень стосовно використання 5G в смартфонах різних виробників. Однак вкрай мало наукових публікацій про вплив економічної боротьби між Сполученими Штатами Америки на китайським гігантом Huawei на стан розвитку мереж 5G. Висновки про стан торгових війн роблять скоріш журналісти авторитетних видань, ніж науковці, хоча саме це протистояння стало поштовхом для розвитку інших компаній з виробництва мережевого обладнання та пригорнуло увагу громадськості до проблематики розвитку мереж 4G та 5G в світі.

Існують певні нароби у вивченні специфікацій та стандартів 5G. Цими питаннями займаються Зайді С. (США) [13] та Іпран М., Шакір М. [12] (Індія), що зосереджуються на теоретичному обґрунтуванні стандартів зв'язку; Лей В., Сяо В., Йонг В. [16] (Південна Корея) та Марш П. [14] (Велика Британія), які спеціалізуються на вивченні проблематиці впровадження мереж 5G, зокрема, в комерційні структури; Ху Фей [5] (КНР), що займаються питаннями множинного доступу до мереж 5G. Великою проблемою залишається відсутність перекладів більшості зарубіжних праць з дослідження мереж 5G.

Вивченням питання оцінки якості зв'язку активно займаються Варрал Г. [9] (США) – з точки зору розвитку міжнародних протоколів 5G; Дальман Е. [4] (Німеччина) робить акцент на складових частинах мереж; з точки зору існуючих специфікацій – Хольма Х., Тоскала А., Накамура Т. [22] (Фінляндія) та Зайді С. [13] (США). Виклики безпеці 5G вивчають такі дослідники, як Дж.Родрігез [3,17] (США), який також приділяє увагу перспективам розвитку 5G у мобільних пристроях.

Ю.Пенттінен [19,21] (Фінляндія) більшу увагу приділяє проблематиці безпеки мереж під час пристосування до вимог стандартизації.

Серед дослідників відмінностей мережі 5G в різних регіонах можна виділити Прасау Р. [8] (США). Питаннями перспективи використання 5G в різних сферах займаються Лібхарт Р., Пірсканен Дж. [10]. Напрямок “інтернету речей” та ролі 5G у його розвитку активно займаються Мавромустакіс М., Масторакіс Г., Баталлі Й [2] (Греція).

Однак проблемне поле мережевого аналізу стосовно консолідації існуючого досвіду та перспектив розвитку залишається практично недослідженим. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба в розробці методологічного інструментарію, необхідного як для теоретичного осмислення, так і для практичного обґрунтування дослідження ролі мережі 5G у розвитку перспективних напрямків.

Мета роботи – дослідження світового досвіду впровадження технології мобільного зв'язку 5G в світі та його застосування в умовах України.

Об'єкт дослідження - процеси розгортання та впровадження мобільних мереж п'ятого покоління.

Предмет дослідження - мобільні системи та мережі нового покоління.

Для досягнення мети були виконанні низки задач:

- розкрив сутність, структуру, цілі та механізми формування й реалізації мереж 5G у світі та в Україні;
- проаналізував стан дослідження мереж 5G та сегменту мобільного ринку, в який вже впроваджено 5G станом на 2022р. у світі та в Україні;
- зробив аналіз впливу конфлікту між Сполученими Штатами Америки та китайською компанією Huawei у розвитку 5G в ряді країн;
- проаналізував перспективи розвитку мереж 5G в Україні з огляду на вторгнення Російської Федерації 24 лютого 2022 року.

1. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖ 5G

1.1. Мережі 5G: теоретико-концептуальні засади та сутність

Для дослідження можливостей мереж 5G спочатку необхідно простежити їхній розвиток.

Мобільна мережа уявляє собою канал зв'язку між тим, хто передає інформацію, та тим, хто її отримує. Для його формування використовують радіостанції, що за зовнішнім виглядом нагадують бджолині соти. Вони обслуговують невеликі площі та дають можливість абонентам мережі спілкуватися між собою навіть у процесі руху. Саме через подібність таких ретрансляторів до стільників і з'явилась назва «стільниковий зв'язок».

Мережі 1G почали своє поширення ще в 1980х роках та були спрямовані на передачу ще аналогового звукового сигналу. Серед особливостей мереж першого покоління можна відзначити:

- більшу схильність до шуму і спотворень;
- застосування частотної модуляції для передачі мовних сигналів;
- уразливість до прослуховування розмови іншими користувачами;
- неможливість з'єднання з іншими абонентами у разі використання різного обладнання;
- діапазон частот – 800-900 МГц;
- високу потужність рухомої станції 1G — 3–5 Вт.

За часів 1G ніхто не думав про послуги передачі даних – це були суто аналогові системи, задумані та розроблені виключно для здійснення голосових викликів та деяких інших скромних можливостей. Модеми існували, проте через те,

що бездротовий зв'язок більш схильний до шумів і спотворень, ніж звичайна провідна, швидкість передачі даних була неймовірно низькою. До того ж вартість хвилини розмови в 80-х була такою високою, що мобільний телефон міг вважатися розкішшю.

Основним недоліком роботи мережі 1G можна назвати низьку ємність через нераціональне використання виділеної смуги частот. Тому з середини 1980х рр. розробники почали створювати нові мережу зв'язку.

Перша мережа, що використовувала стандарт 2G, почала свою роботу у 1991р. Оскільки зв'язок став цифровим, в роботі мережі відбулись деякі принципові зміни:

- швидкість передачі даних стала вищою – до 14.4 кБіт/с, що відповідає рівню швидкості стаціонарних модемів у 1990ті рр;
- захищеність розмов зросла у порівнянні з мережами першого покоління;
- більша продуктивність порівняно з 1G завдяки підтримці технології CSD по передачі даних у цифровому вигляді;
- можливість надсилання коротких текстових повідомлень (СМС).

Переломним моментом у розвитку стільникового зв'язку можна назвати 1997 рік, коли було створено першу мережу GSM. Безперервна передача інформації вже здійснювалась зі швидкістю до 100 кБіт/с. Це дозволило операторам сотового зв'язку брати плату за трафік, а не за час перебування на лінії. Обмін даними почав здійснюватись як з користувачами всередині мережі, так і з зовнішніми мережами.

Наступним логічним кроком у розвитку технології GPRS стала поява мережі 2,75G (EDGE). Вона відрізнялась від своєї попередниці як способом кодування, так і швидкістю передачі інформації – до двох разів швидше.

У 2000 р. Міжнародний Союз електрозв'язку затвердив специфікацію нового покоління мережі 3G. Вона мала забезпечити легкий перехід до мереж наступного покоління. Для цього стандарт UMTS ставав топовим вибором для операторів GSM,

а стандарт CDMA2000 забезпечував зворотну сумісність. CDMA2000 запропонував власну технологію безперервної передачі даних, так звану 1xRTT. Слід зазначити, що хоча й офіційно CDMA2000 стала стандартом 3G, швидкість передачі даних лише трохи більша, ніж GPRS — близько 100 кБіт/с.

Стандарт EDGE - Enhanced Data-rates for GSM Evolution – став кроком GSM-операторів апгрейду установок 2.5G без додаткових інвестицій в існуючу матеріальну базу. За допомогою телефонів, які підтримували EDGE, можливо було отримати швидкість, що вдвічі перевищувала швидкість GPRS.

Дослідники розділились у висновках, куди варто віднести EDGE. З одного боку, він не є таким швидким, як стандарти наступного покоління як стандарти наступного покоління 3G - UMTS або EV-DO. При цьому набагато більша швидкість, ніж у GPRS, не дає віднести його до 2.5G. Тому погодимося із усередненою думкою, що EDGE можна назвати технологією 2.75G.

Стандарти та специфікації для технології 3G розроблялися протягом 15 років, і технічні специфікації були опубліковані під загальною назвою IMT-2000. 3G було виділено телекомунікаційний спектр у діапазоні від 400 МГц до 3 ГГц, і стандарти були широко прийняті як урядами держав, так і телекомунікаційними компаніями.

Спочатку технологія 3G була розроблена як загальний стандарт для застосування в Європі. Тринадцять країн співпрацювали та ділилися знаннями, щоб зробити цю інновацію успішною.

Перший глобальний докомерційний запуск мережі 3G відбувся в Японії компанією NTT Docomo в 1998 році під брендом FOMA. Перший комерційний запуск технології відбувся 1 жовтня 2001 року тією ж компанією NTT Docomo в Японії. Однак після першого запуску технологія впроваджувалася повільно. Це можна пояснити декількома факторами:

- занепокоєння щодо відсутності безпеки мережі;
- висока вартість розгортання;
- необхідність встановлення нових вишок зв'язку, оскільки попередні вежі 1G призначалися для роботи в аналогових мережах;
- потужність обробки трафіку перевищувала необхідну.

Проте паралельний розвиток мереж 2G приніс деякі необхідні зміни – покращену чіткість дзвінків, збільшення обсягу трафіку, зниження потреб у електроенергії та витонченіші телефони. Це стало фундаментом для впровадження 3G.

Вирішальним кроком до глобального впровадження технології 3G став інтернет-бум 1998 року. За цей час попит на мобільний Інтернет різко зріс, і ринок прийняв 3G. Швидкість передачі даних у 3G із CDMA2000 або WCDMA досягала 2 Мбіт/с для користувача, що йде або стоїть на місці, і до 384 Кбіт/с для пристрою в транспортному засобі, що рухається. Це дозволило користувачам мобільних телефонів здійснювати відеодзвінки та високошвидкісний доступ до Інтернету навіть у дорозі.

Згодом технологія 3G почала широко застосовуватись і впроваджуватися в різних країнах світу. Японія була першою країною, яка запровадила широко поширену мережеву систему 3G. Непал був першою країною Південно-Східної Азії, яка запровадила 3G. Згодом мережа 3G була прийнята телекомунікаційними компаніями в країнах Європи, Азії, Америки та Африки.

3G приніс із собою революцію у світі телекомунікацій. Швидше підключення до Інтернету через мобільні пристрої дозволило користувачам здійснювати відеодзвінки під час руху. Користувачі отримали постійний доступ до електронної пошти, можливість відправляти зображення та відео через свої мобільні пристрої так само швидко, як і через настільні комп'ютери.

Мобільний зв'язок третього покоління будується на основі пакетної передачі даних. Мережі третього покоління 3G працюють на межі дециметрового та сантиметрового діапазону. Вони дозволяють організовувати відеотелефонний зв'язок, дивитися на мобільному телефоні фільми та різний контент.

До 3G належать 5 стандартів сімейства IMT-2000 (UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA (власний стандарт Китаю), DECT і UWC-136). Найбільшого поширення у світі набули два стандарти – UMTS (або WCDMA) та CDMA2000 (IMT-MC), в основі яких лежить та ж сама технологія CDMA. Ці стандарти працюють на частоті 900 МГц та 2100 МГц залежно від вибору оператора послуги.

Технологія CDMA2000 забезпечила еволюційний перехід від вузькосмугових систем з кодовим поділом каналів IS-95 (американський стандарт цифрового стільникового зв'язку другого покоління) до систем CDMA «третього покоління» і набула найбільшого поширення на Північноамериканському континенті, а також у країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону.

Технологія UMTS (Universal Mobile Telecommunications System — універсальна система мобільного електрозв'язку) розроблена для модернізації мереж GSM (європейського стандарту стільникового зв'язку другого покоління), і набула розповсюдження здебільшого у країнах Європейського Союзу.

Робота зі стандартизації UMTS координується міжнародною групою 3GPP (Third Generation Partnership Project), а стандартизації CDMA2000 — міжнародною групою 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2), створеними та співіснуючими в рамках ІТУ.

Мережами 3G забезпечується надання двох основних послуг: передачі даних та передачі голосу. Відповідно до регламентів ІТУ (International Telecommunications

Union — Міжнародний союз електрозв'язку), мережі 3G мають підтримувати такі швидкості передачі:

- для абонентів з високою мобільністю (до 120 км/год) – не менше 144 кбіт/с;
- для абонентів з низькою мобільністю (до 3 км/год) – 384 кбіт/с;
- для нерухомих об'єктів - 2048 Кбіт/с.

У мережах з кодовим поділом каналів, у тому числі й 3G, є важлива перевага — покращений захист від обривів зв'язку в русі, за рахунок використання так званого м'якого хендовера. У міру віддалення від однієї базової станції клієнта "підхоплює" інша. Вона починає передавати дедалі більше інформації, тоді як перша станція передає дедалі менше, поки клієнт взагалі залишить її зону обслуговування. При хорошому покритті мережі вірогідність обриву повністю виключається системою подібних «підхоплень». Це відрізняється від поведінки систем з частотним і тимчасовим поділом каналів (GSM), в яких перемикання між станціями «жорстке» і може призводити до затримок передачі і навіть обривів з'єднання.

З середини 2000х років розпочались роботи з дослідження та впровадження вдосконаленої системи 3G. Це був HSDPA, або високошвидкісний пакетний доступ вниз. Він покращив існуючу технологію 3G до категорії високошвидкісного пакетного доступу та запропонував нові версії, такі як 3.5G, 3G+ і Turbo 3G. Ці версії забезпечили вищу швидкість передачі даних і ємність і проклали шлях до наступного покоління технологій 4G.

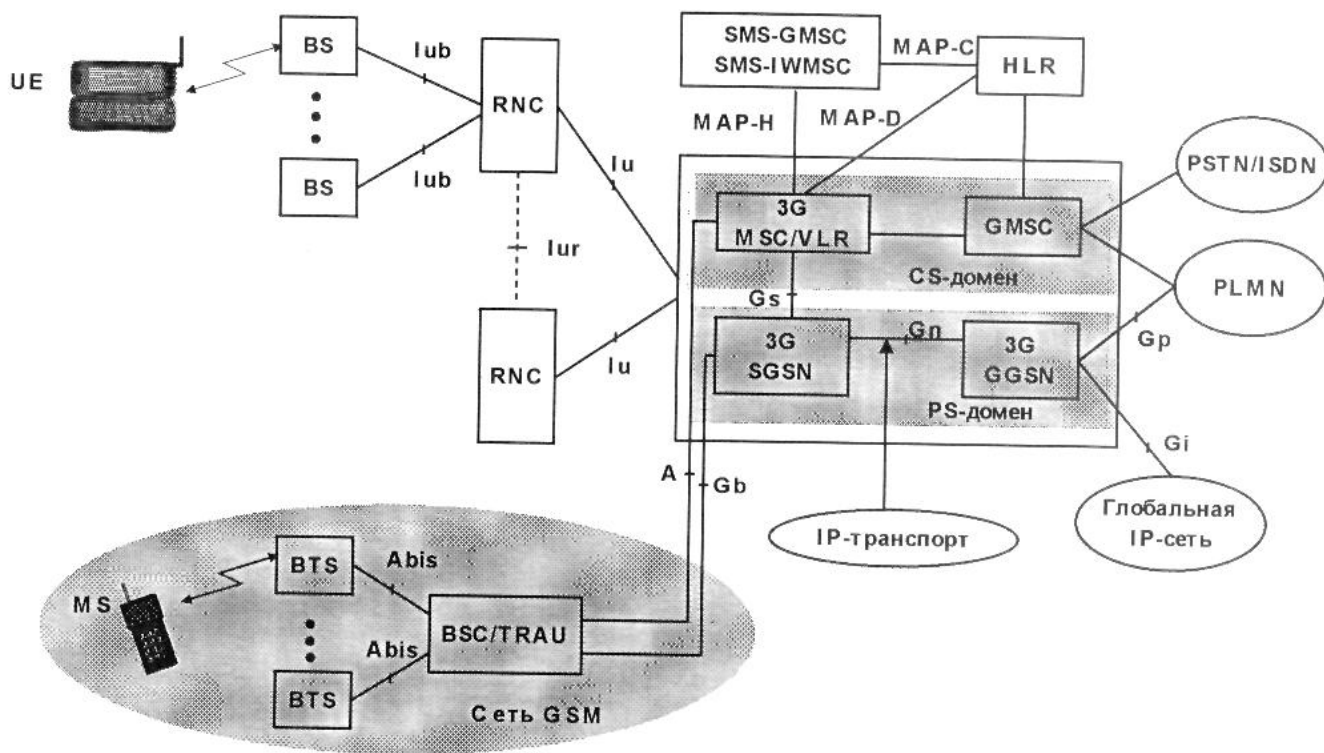


Рис.1.1. Система архітектура мережі 3G (UMTS)

Інновація 4G, яка вважається технологією четвертого покоління широкопasmової стільникової мережі, принесла з собою вищу швидкість Інтернету. Його поява зробила смартфони порівнянними з ПК щодо швидкості потокової передачі, завантаження мультимедіа та ігрових можливостей. Смартфони навіть замінили використання комп'ютерів на робочому місці.

Технологія 4G революціонізувала спосіб використання наших мобільних телефонів і дала нам доступ до більшої мобільності телекомунікацій. Доступ до файлів у дорозі, високоякісні відеочати під час транспортування, завантаження та завантаження файлів миттєво – усе це феноменально змінило спосіб роботи в усьому світі. Крім того, технологія 4G також дає нам можливість мати альтернативний зв'язок із фіксованим доступом до Інтернету та дає операторам можливість

пропонувати підключення до Інтернету без необхідності прокладання кабелю «останньої милі».

Вперше комерційно запущений як стандарт Long Term Evolution (LTE) у 2009 році в Осло та Стокгольмі, 4G з тих пір пройшов довгий шлях і змінив світ телекомунікацій на краще.

Спочатку концептуалізована Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США (DARPA), нова технологія 4G мала на меті усунути існуючий концентратор і слабкі місця поширених мереж 2G і 3G. Вони розробили початкові версії з використанням наскрізного IP (Internet Protocol) і розподіленої архітектури. Ідея полягала в тому, щоб реалізувати однорангову мережеву систему, в якій кожен мобільний пристрій діяв би як маршрутизатор і приймач для інших в одній мережі.

Ще одна значна зміна, яка знаменує еволюцію технології 4G, — це ексклюзивне використання вузлів комутації пакетів як для передачі даних, так і для послуг голосового виклику. Це означало, що нові мережі 4G розгортають IP-телефонію замість традиційних голосових дзвінків. Також технологія 4G дозволила появи VoLTE (голос через LTE) та IoT (Інтернет речей).

4G забезпечує максимальну швидкість завантаження близько 100 Мбіт/с у реальних сценаріях, що робить його більш ніж у 20 разів швидшим, ніж 3G.

Всесвітня сумісність для мікрохвильового доступу або WiMAX – ця технологія підтримується стандартами IEEE. WiMAX бере свій початок у галузі бездротового широкопasmового доступу. Існує певна розбіжність думок щодо того, чи можна класифікувати WiMAX як технологію 4G; однак він забезпечує швидкість мережі, порівнянну з LTE.

Специфікації технології 4G встановлені Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU). Він визнає протоколи LTE-Advanced і WiMAX2 належними технологіями 4G у своєму звіті за жовтень 2010 року під назвою «Звіт ITU-R M.2134».

Особливості технології 4G такі:

- висока мобільність – технологія 4G дозволяє користувачам підтримувати якість зв'язку навіть під час руху в транспортному засобі зі середньою швидкістю до 100 км/год. Це дозволяє створити надійну мережу;
- вища пропускна здатність – це означає вищі швидкості як для висхідної, так і для низхідної лінії зв'язку. Пропускна здатність значно вища, ніж у попередніх показниках 3G;
- вузли комутації пакетів – на відміну від технології 3G, яка використовує гібрид комутації пакетів і комутації каналів, 4G використовує лише вузли комутації пакетів. Це призводить до більшої швидкості передачі, меншої затримки та значного покращення якості мережі;
- спектр 4G фрагментований, і зазвичай використовуються діапазони 700 МГц, 1700-2100 МГц, 1900 МГц і 2500-2700 МГц.

Всесвітній доступ, портативність послуг і масштабовані мобільні мережі – технологія 4G дозволяє користувачам підтримувати свій профіль у різних мережах по всьому світу.

З моменту свого комерційного запуску близько десяти років тому технологія 4G отримала широке поширення в усьому світі. Зараз більшість мобільних пристроїв у розвинених країнах і країнах, що розвиваються, працюють у мережах 4G.

У 2018 році ринок обладнання 4G оцінювався в 40 415,4 млн доларів США. Прогнозується, що до 2026 року ця цифра досягне 185 050,8 мільйонів доларів США. Можна сказати, що 4G є, мабуть, однією з найбільш швидко зростаючих технологій у світі.

Хоча 4G широко визнано надійним телекомунікаційним рішенням, ця технологія не позбавлена недоліків. Одна з головних проблем цієї системи полягає в тому, що важко зробити високі бітові швидкості доступними для користувачів, які знаходяться в відкритих позиціях між базовими розташуваннями. Це призводить до більшої затримки та проблем із передачею мережі, що впливає на якість. Поточне

дослідження стосується цієї конкретної проблеми та прокладає шлях до останнього покоління телекомунікаційних мережевих технологій – системи 5G.

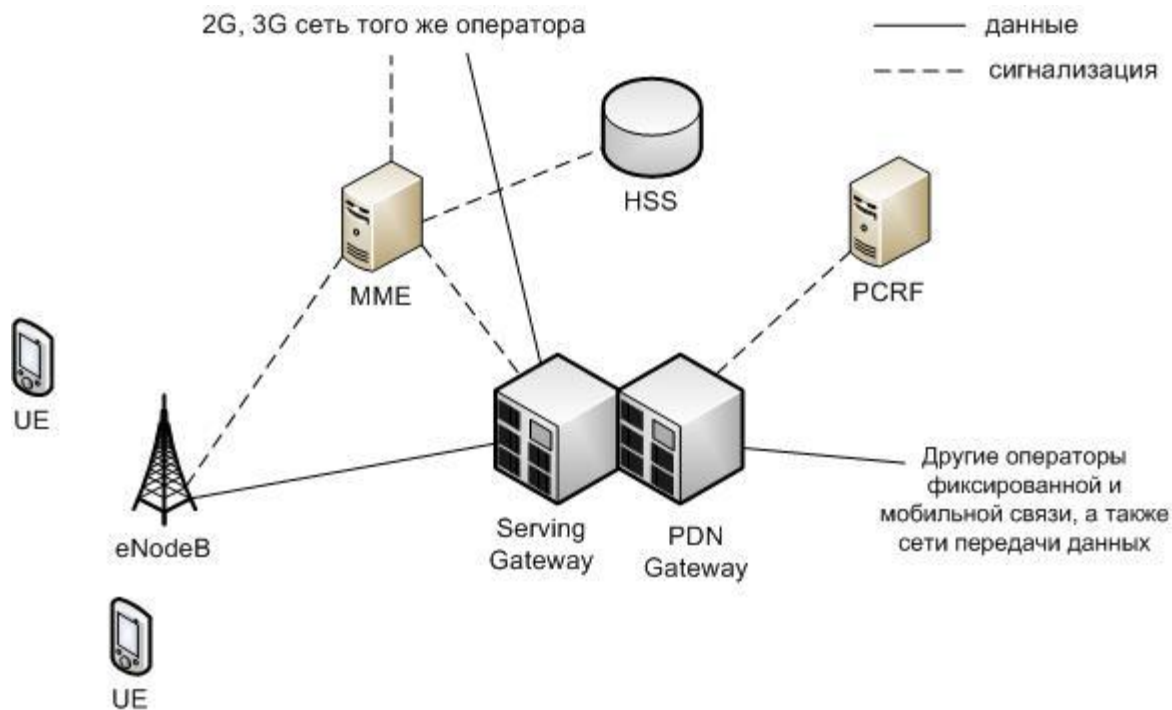


Рис.1.2. Структура мережі 4G (LTE)

З кожним роком збільшується кількість підключених до Інтернету пристроїв, а значить, і підвищуються вимоги абонентів до швидкості доступу. Розробники телекомунікаційного обладнання та оператори зв'язку повинні відповідати новим вимогам та мають суттєво вплинути на архітектуру мереж і регламенти взаємодії. Так з'являються мережі п'ятого покоління (5G), які є наступним етапом еволюції мереж четвертого покоління. Є цілий ряд параметрів, який дозволяє відокремити його від попередника. Щоб розглянути їх, необхідно визначити основних розробників міжнародних стандартів мереж п'ятого покоління. Найчастіше це міжнародні організації, головними серед яких є:

- 3GPP

організація, яка була створена ще для стандартизації технології 3G, стала одним з найважливіших гравців індустрії. Для розробки стандартів бездротового зв'язку їй вдалося об'єднати міжнародні організації і великі корпорації мобільного зв'язку. [14]

- ITU-R

підрозділ ООН, що займається комунікаційними технологіями. Він контролює процес стандартизації технологій радіозв'язку, здійснює управління міжнародним радіочастотним спектром. [15]

Робота над 5G почалася в 2015 році, коли ITU-R був сформульований стандарт IMT-2020 року, що містить ключові вимоги до технології нового покоління. У порівнянні з попереднім стандартом IMT-Advanced, актуальним для 4G, вони виглядають наступним чином:

Таблиця 1.1.

Параметри мереж 4G та 5G

Параметри для порівняння	4G	5G
Пікова швидкість завантаження	1 Гбіт/с	20 Гбіт/с
Швидкість завантаження для користувачів	10 Мбіт/с	100 Мбіт/с
Затримка	10 мс	4 мс (1 мс для URLLC)
Максимальна швидкість переміщення без втрати сигналу	350 км/год	500 км/год

Параметри мереж 4G та 5G

Щільність підключення	100000 пристроїв/км ²	1000000 пристроїв/км ²
Трафік на одиницю площини	0,1 Мбіт/с/м ²	10 Мбіт/с/м ²

В цей час 3GPP зайнялися розробкою технології радіодоступу (Radio Access Technology) нового покоління – 5G New Radio або 5G NR. Також вони відповідають за розробку стандартів і специфікацій, які визначають майбутній вигляд технології і нового покоління мобільного зв'язку в цілому.

Поширена думка, що новий стандарт зв'язку забезпечить загальне охоплення, збільшення швидкості з'єднання, а діапазон частот становитиме 3-4 ГГц.

Однак слід розуміти, що перехід в діапазон більш високих частот безпосередньо не пов'язаний зі збільшенням швидкості. Спектр набагато ширше, ніж вищезгаданий діапазон 3,4-3,8 ГГц. Це означає, що 5G буде використовувати навіть такі "непопулярні" частоти, як 700 МГц, а також забиратися вище – аж до 70 ГГц.

Потужності, які існують на даний момент, не здатні забезпечити істотне зростання параметрів. Для збільшення швидкостей в мережі 5G необхідний розвиток інфраструктури в діапазоні міліметрових хвиль. Вони найбільш короткі і швидко гаснуть, проте саме вони забезпечують швидкості до декількох гігабіт на секунду. [8]

Основна причина переходу в нові діапазони – нестача частот в спектрі нижче 6 ГГц. Щоб надати операторам вільні частоти, а разом з ними і більш широкі смуги, які б дозволили передавати все більше даних, і розробляється нове покоління мобільного зв'язку.

В рамках 5G NR виділяється два діапазони. Перший включає в себе традиційні частоти нижче 6 ГГц. Завдяки рефармінгу (заміні) частот частина діапазонів попередніх поколінь будуть передані під потреби 5G. Однак він неоднорідний в різних регіонах світу. Так, в Європі і США планується використовувати діапазон 3,4-3,8 ГГц, і найбільш серйозні розробники технологій орієнтуються саме на нього. В той же час країни Азії планують використовувати 4,4-4,99 ГГц.

Другий же забезпечує принципово нові частоти міліметрового діапазону. Починаючись з позначки в 24 ГГц, він підіймається близько 50 ГГц і вище в залежності від країни і оператора. Ці частоти мають малу дальність поширення і проникаючу здатність. Їхнє функціонування забезпечать не традиційні базові станції, а так звані small cells – численні малі стільники. [19]

Рефармінг частот застосовувався і до появи мереж 5G, однак вимагає більш докладного розгляду саме в контексті зв'язку нового покоління. Кожне наступне покоління мобільного зв'язку відрізняється від попередніх не просто зміною діапазону, але і новими технологіями кодування. Однак можливість роботи на основі інфраструктури минулого покоління зберігається. Виходить, що станції, які вже використовувалися для LTE або навіть для GSM, продовжать функціонувати на тих же частотах, але тепер будуть передавати дані на основі технологій 5G.

Таким чином, рефармінг частот на початковому етапі дозволяє економити на обладнанні, забезпечуючи при цьому оптимальне покриття для мереж нового покоління. Початковий етап їх запуску на існуючому обладнанні, що обслуговує мережі 4G — це фаза NSA (Non-standalone, що не автономний). У міру підготовки необхідної інфраструктури з'явиться можливість Використовувати SA (Standalone, автономними) мережами 5G, що підтримують повний спектр переваг нового покоління. [3]

Стандарт зв'язку 5G, підготовлений ІМТ-2020 року, передбачає три основні сценарії використання мережі:

1. eMBB — Enhanced Mobile Broadband (поліпшена мобільний широкосмуговий зв'язок) являє собою звичайний користувальницький інтернет, але більш швидкий і якісний. Швидкість всередині приміщень зможе досягати 1 Гбіт/с, а на вулиці — до 300 Мбіт/с. Однак такі швидкості стануть можливі тільки на етапі установки досконаліших антен, що працюють в міліметровому діапазоні. Передбачається поставити їх на стовпах, деревах, стінах будівель, що можливо через невеликі розміри антен.

2. URLLC — Ultra Reliable and Low Latency Communications (наднадійні комунікації з низькою затримкою) припускають підключення, в яких важлива не стільки швидкість, скільки низька затримка. Це актуально для автономного транспорту, якому в критичній ситуації для прийняття рішення може знадобитися менше мілісекунди. В даний час йде дискусія про заміну подібними технологіями супутникової навігації.

3. mMTC — massive Machine Type Communication (масові міжмашинні комунікації) міжмашинні комунікації або M2M, а також IoT (інтернет речей) — окремий сегмент споживачів зв'язку 5G. Він характеризується підключенням великої кількості пристроїв, найчастіше промислових, з низьким енергоспоживанням. Для таких мереж головною вимогою є стабільність і надійність підключення. Прикладом можуть служити вимірювальні пристрої, датчики, сенсори, об'єкти інфраструктури розумного міста. [10,15] Для кожного з шарів підходить певний спектр частот і інфраструктура.

Радіохвилі в діапазоні низьких частот, до 1 ГГц, завдяки своїй проникаючій здатності добре працюють в закритих приміщеннях. Вони забезпечать роботу систем IoT, розумних будинків, M2M. Також частота 700 МГц може використовуватися для забезпечення зв'язком віддалених населених пунктів.

Середній спектр або mid-band frequencies (1-6 ГГц) поєднує в собі оптимальну ємність і покриття для первинного впровадження eMBB, а далі — URLLC і mMTC.

Міліметрові хвилі (> 24 ГГц) реалізують всю повноту можливостей 5G. Пріоритетна сфера застосування — високонавантажені зони трафіку (хот-споти), масові скупчення користувачів. [25]

1.2. Сфери застосування 5G

Роль зв'язку п'ятого покоління відриває нові додаткові можливості, які тісно пов'язані з повсякденним життям людини.

До сфер застосування технології 5G можна віднести:

- концепція розумного будинку, інфраструктура розумного міста; виробничі та обчислювальні потужності

пристрої та системи об'єднуються в загальну мережу з дистанційним управлінням і контролем при мінімальних затримках. У першому випадку це можуть бути побутові прилади, клімат-контроль, системи екстреного оповіщення. Жителі міст матимуть можливість швидкого і легкого доступу до центрів надання державних послуг, міського транспорту. У промисловості 5G забезпечить ефективну систему з'єднання верстатів і вимірювальних приладів;

- безпілотний транспорт

для забезпечення безпеки вантажоперевезення; сільськогосподарська і промислова техніка, система міських таксі може працювати без участі людини в ролі обслуговуючого персоналу;

- хмарні технології

миттєве завантаження і зберігання даних, творення складних обчислень — завдяки швидкісній передачі даних звичайні користувачі зможуть здійснювати операції, що вимагають високої апаратної потужності, маючи під рукою лише мобільний інтернет;

- охорона здоров'я

поліпшення якості зв'язку з віддаленими населеними пунктами підвищить ефективність вирішення надзвичайних ситуацій. Під час складних операцій або

діагностики з використанням відеопотоку 5G забезпечить високу швидкість і роздільну здатність. А завдяки використанню фітнес-трекерів користувачі зможуть передавати свої біометричні параметри в безперервному режимі для зберігання і обробки;

- віртуальна і доповнена реальність (VR / AR)

розвиток 5G неминуче призведе до розвитку індустрії розваг і систем онлайн-навчання, а також дасть поштовх до розвитку тактильного інтернету.

Для впровадження standalone-мереж встановлюються нові типи станцій і передавальних пристроїв. Радіус покриття у таких станцій буде неминуче менше, адже в зв'язку нового покоління використовуються короткі хвилі. Короткохвильовий спектр не такий стійкий до перешкод, створюваних навколишнім середовищем. Тому необхідне використання більш щільної системи зв'язку, що складається з так званих small cells — малих сот. [18]

Їх простіше вписати в архітектуру міста, оскільки вони можуть приймати вид звичних оку простих об'єктів. Ці антени міліметрового діапазону видають швидко затухаючий сигнал, який має обмежену спрямованість — всього 4 градуси. Однак сигнал може зберігати силу і міняти напрямок, відбиваючись від аналогічних антен на своєму шляху. Тому для забезпечення стабільної роботи малих сот в будівлях, де конструкції не дозволяють сигналу вільно поширюватися, може бути застосована технологія розподілу антен. У технічному блоці буде встановлена базова станція. З'єднуючись за допомогою дротового зв'язку з антенами, вона зможе передавати сигнал в кожне приміщення.

В радіозв'язку існує поняття формування променя. Це процес спрямування руху та концентрації сигналу з певними параметрами в певному напрямку. В рамках 5G одним з практичних рішень для цього стане технологія Massive MIMO (Multiple-In Multiple-Out, безлічі входів і виходів). Вона допоможе уникнути надлишку повсюдної установки мікростільників. По суті, це станції, які складаються з великого

масиву антен. Вони можуть більш адресно спрямовувати сигнал і обслуговувати одночасно декількох користувачів, уникаючи перешкод та втрати якості сигналу.

Одним з ключових проривів мереж нового покоління можна назвати віртуалізацію. Завдяки таким концепціям, як SDN (Software Defined Networks, програмно-конфігурована мережа) і NFV (Network Function Virtualization, віртуалізація мережевих функцій), цілі класи функцій будуть доступні не на фізичному обладнанні, а на програмному рівні. [5]

Не менш важливу роль відіграє хмарна архітектура — C-RAN. Хмарні платформи можуть взяти на себе функції, які в минулих поколіннях зв'язку виконувало обладнання базових станцій. Це дозволить покращити інфраструктуру операторського обладнання і знизити витрати на його утримання. На забезпечення працездатності та охолодження хмарної платформи необхідні менші витрати енергії, ніж для базових станцій. C-RAN знає місцезнаходження всіх користувачів і може оптимально розподілити обмежені мережеві ресурси між ними.

1.3. Ризики використання 5G

Проте величезний потенціал мереж п'ятого покоління і майже необмежене підключення спричиняють багато проблем із безпекою. Можливості безпеки є критично важливим для 5G.

Мережі п'ятого покоління стали відповіддю на виклик забезпечення надійності з'єднань. У технічному документі Ericsson перераховано п'ять основних властивостей безпеки 5G: стійкість, безпека зв'язку, керування ідентифікацією, конфіденційність і гарантія безпеки. Згідно з документом, надійність 5G стала можливою завдяки набору функцій безпеки, які були створені з використанням принципів проектування системи, застосованих з урахуванням ризику.

Розрізання мережі дозволяє різним мережам і службам спільно використовувати ту саму інфраструктуру, але вони ізольовані та відокремлені одна

від одної. Нарізка мережі вирізняє (або, так би мовити, нарізає) певні типи мережевого трафіку відповідно до різних варіантів використання — будь то підприємство, споживач, IoT або громадська безпека. Архітектура безпеки 5G забезпечує значні переваги в продуктивності та різноманітність додатків, оскільки використовує нарізку мережі, хмарні ресурси, віртуалізацію та інші новітні технології. Однак завдяки цим доповненням і змінам необхідно усунути нові ризики безпеки та додаткові можливості для атак.

Завдяки мільйонам і навіть мільярдам підключених пристроїв 5G робить можливим більш масштабні та небезпечні атаки. Уразливі місця – поточні та майбутні – інтернет-інфраструктури лише посилюються. Ризик складніших бот-мереж, порушення конфіденційності та швидшого вилучення даних може зростати з 5G. За своєю сутністю пристрої інтернету речей не є захищеними; безпека часто не є вбудованою задумом. Кожен незахищений пристрій інтернету речей у мережах організації представляє ще одну потенційну діру, яку може виявити зловмисник.

З 5G наші мережі лише розширяться та стануть більш зручними для мобільних користувачів і пристроїв. Це означає набагато більше мережевого трафіку для керування. Але без надійного рішення безпеки глобальної мережі компанії не будуть спроможними отримувати видимість мережевого трафіку, необхідну для виявлення аномалій або атак.

Зараз і в осяжному майбутньому ланцюги постачання 5G обмежені. Існують уразливості, особливо коли пристрої поспішно надходять на ринок, що збільшує потенціал несправних і небезпечних компонентів. Порівняно з традиційними мобільними мережами 5G також більше залежить від програмного забезпечення, що підвищує ризик використання мережевої інфраструктури.

Окрім нарізки мережі, 5G пропонує кілька значних покращень безпеки порівняно зі своїми попередниками, такими як 4G і LTE. Завдяки цим вдосконаленням організації можуть отримати багато переваг. Тут необхідно

окреслити найвизначніші вдосконалення та пояснити, яку користь вони можуть принести.

По-перше, 5G краще захистить особистість. Вперше з'єднання захищено від шахрайських пристроїв, які можуть перехоплювати телефонні дзвінки, імітуючи вежі стільникового зв'язку – ідентифікатор із 5G зашифровано. Крім того, більш надійний алгоритм шифрування кодує трафік, коли голос і дані передаються від вашого пристрою до стільникової вежі. Це означає, що хакери з потужними комп'ютерами не захочуть витрачати час на розшифровку інформації.

5G також підходить для більш інтелектуального програмного забезпечення та «віртуального» обладнання. Замість спеціалізованого обладнання, яке може бути скомпрометовано, ваші дані можуть маршрутизуватися через віртуальні концентратори та комутатори, які можна швидко перемістити або змінити, якщо потрібно. І, нарешті, є периферійні обчислення — це все про те, де обробляються дані. За допомогою традиційних або хмарних обчислень дані можуть передаватися на віддалений сервер. Завдяки edge він обробляється набагато ближче до джерела, що дає змогу покращити виявлення загроз. Нижче на рисунку зображено приклад бізнес моделі операторської діяльності

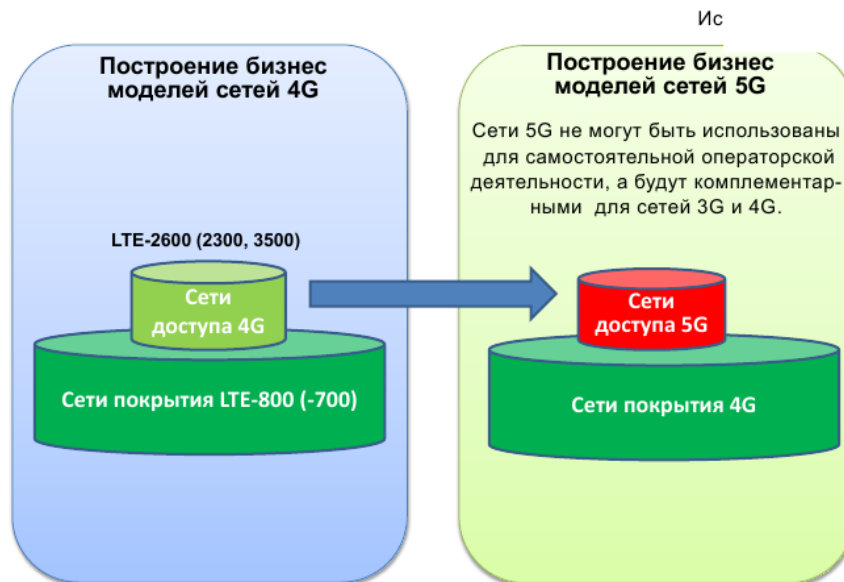


Рис.1.3. Бізнес-модель операторської діяльності

Завдяки цим удосконаленням стає можливим:

- швидке та безпечне ведення бізнесу за межами корпоративного офісу;
- безпечний доступ до програм і послідовний захист користувачів для альтернативних розгортань мережі;
- покращений захист від розширених мобільних загроз завдяки глибокому аналізу;
- швидке та безпечне розгортання мережевих альтернатив; безпечний доступ до програм.

Таким чином, мережі п'ятого покоління є логічним продовженням розвитку технології 4G і має значно більший перелік сфер застосування. Разом із тим, зміни та розвиток обумовлюють нові виклики і проблеми. Основними ризиками для розвитку мереж 5G стає питання безпеки даних користувачів, а також залучення чималих інвестицій

2. СВІТОВИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ МЕРЕЖ 5G

2.1. Роль мегаполісів у розвитку мереж 5G

На стан мереж 5G у світі на даний момент найбільш впливають наступні тенденції:

- залученість великих міст;
- конфлікт Сполучених Штатів Америки та китайською компанією Huawei;
- впровадження технологій 5G у мобільні пристрої.



Рис.2.1. Географія розповсюдження мереж 5G в світі



Рис.2.2. Кількість міст з сервісами 5G в трьох регіонах світу

Хоча на сучасному етапі можна констатувати доволі низьку стадію розвитку 5G в усьому світі, гонка за лідерство на цьому ринку вже отримала масштабне розповсюдження. Навіть зараз можна спостерігати суперництво між операторами зв'язку та цілими державами, які використовують різні технології, діапазони та технічні рішення, аби першими вийти на ринок 5G та довести свою перевагу.

Була виявлена кореляція між рівнем розвитку мереж 5G та розвитком міського середовища. На підставі 61 кейсу з 20 країн світу був зроблений висновок про те, що впровадження 5G відбувається паралельно з іншими перспективними технологіями та тестуються на великих об'єктах інфраструктури.

Тестування зазвичай відбувається на основі промислових об'єктів, медичних установ, транспорті та реалізації проектів розумного міста. Прикладами такого тестування можуть бути тестування 5G на металургійному заводі в Китаї чи в медичних центрах Південної Кореї.

Як правило, такі випробовування проводяться разом із іншими перспективними технологіями — в 50 з 61 випадків зустрічається використання таких технологій як віртуальна та доповнена реальність, периферійні обчислення, штучний інтелект, робототехніка та блокчейн.

Намітився ще один напрямок використання 5G в умовах пандемії Covid-19. Наприклад, для віддаленої діагностики та догляду за пацієнтами з коронавірусом, безконтактного вимірювання температури з використанням робототехніки.

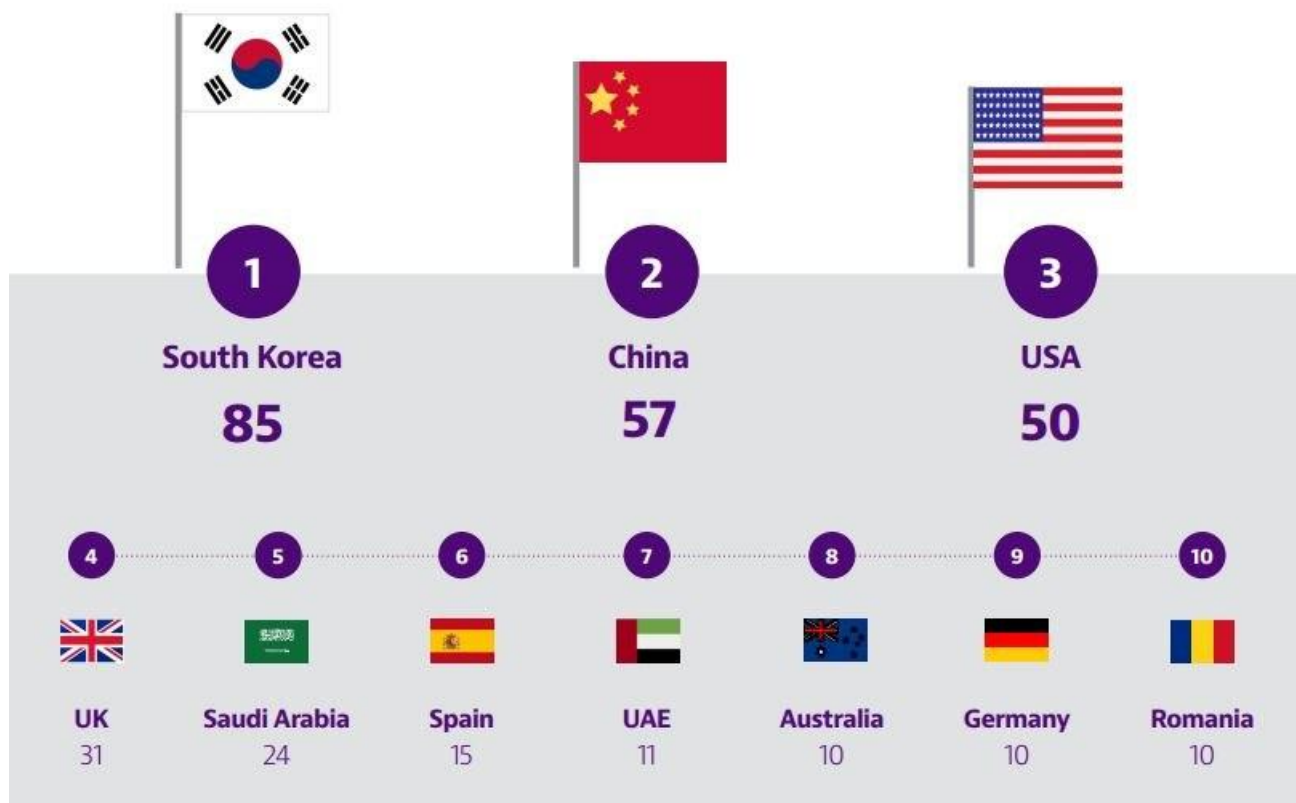


Рис.2.3. Країни-лідери за кількістю міст, які підключені до мережі 5G

Це дозволяє зробити висновок про те, що міста і держави відіграють важливу роль у створенні пілотних проектів 5G. Більш ніж половина (33 з 61) кейсів, що розглядались у дослідженні, були реалізовані за участю або підтримки державних установ.

За даними дослідження Ericsson, наприкінці 2020р. до мереж 5G було підключено 220 мільйонів пристроїв. Це лише 3% від загальної кількості підключень у світі, а це 8 мільярдів. Однак незважаючи на такий мізерний відсоток підключень, варто відзначити ринок 5G в Китаї. На цю країну прийшло майже 80 відсотків користувачів послуг 5G. Окрім вже стандартних асортименту 5G-смартфонів та конкуренції між декількома операторами, в Китаї попит диктується політикою регулятора. Друге місце за розповсюдженістю підключень 5G займає Північна Америка з долею у 4%.

На кінець 2020 р. послуги 5G надавались 130 операторами в різних країнах світу, а загальна кількість мереж, що працюють, становила 106. Експерти компанії Ericsson вважають, що до кінця 2021р. в зоні покриття 5G будуть мешкати біля 1 мільярду людей, що становить 15% населення планети.

Щоб реалізувати свій потенціал, 5G потребує доступу до набагато вищих частот: 3,5 ГГц і вище. Цього не було з попередніми поколіннями мобільних пристроїв.

5G може запропонувати вищі швидкості, оскільки вищі частоти мають більшу пропускну здатність, ніж нижчі, які традиційно використовуються для мобільних пристроїв. Особливо це стосується діапазонів mmWave: 26 ГГц має доступні 2,25 ГГц, порівняно з 45 МГц у діапазоні 700 МГц.

На міжнародному рівні точиться гонка за те, щоб спектр був доступний для 5G. У 2019 році США виставили на аукціон спектр мм хвилі, і в тому ж році ЄС гармонізував три «першопрохідні діапазони» 5G: 700 МГц, 3,6 ГГц (3,4-3,8 ГГц) і 26

ГГц (24,25-27,5 ГГц). До кінця 2020 року більшість країн ЄС зробили ці діапазони доступними.

Існує консенсус, що 5G потребує низьких діапазонів для покриття, середніх діапазонів для більш високих швидкостей, які покривають розумну територію, і високочастотних діапазонів для найвищих швидкостей. В даний час найбільш використовувані групи:

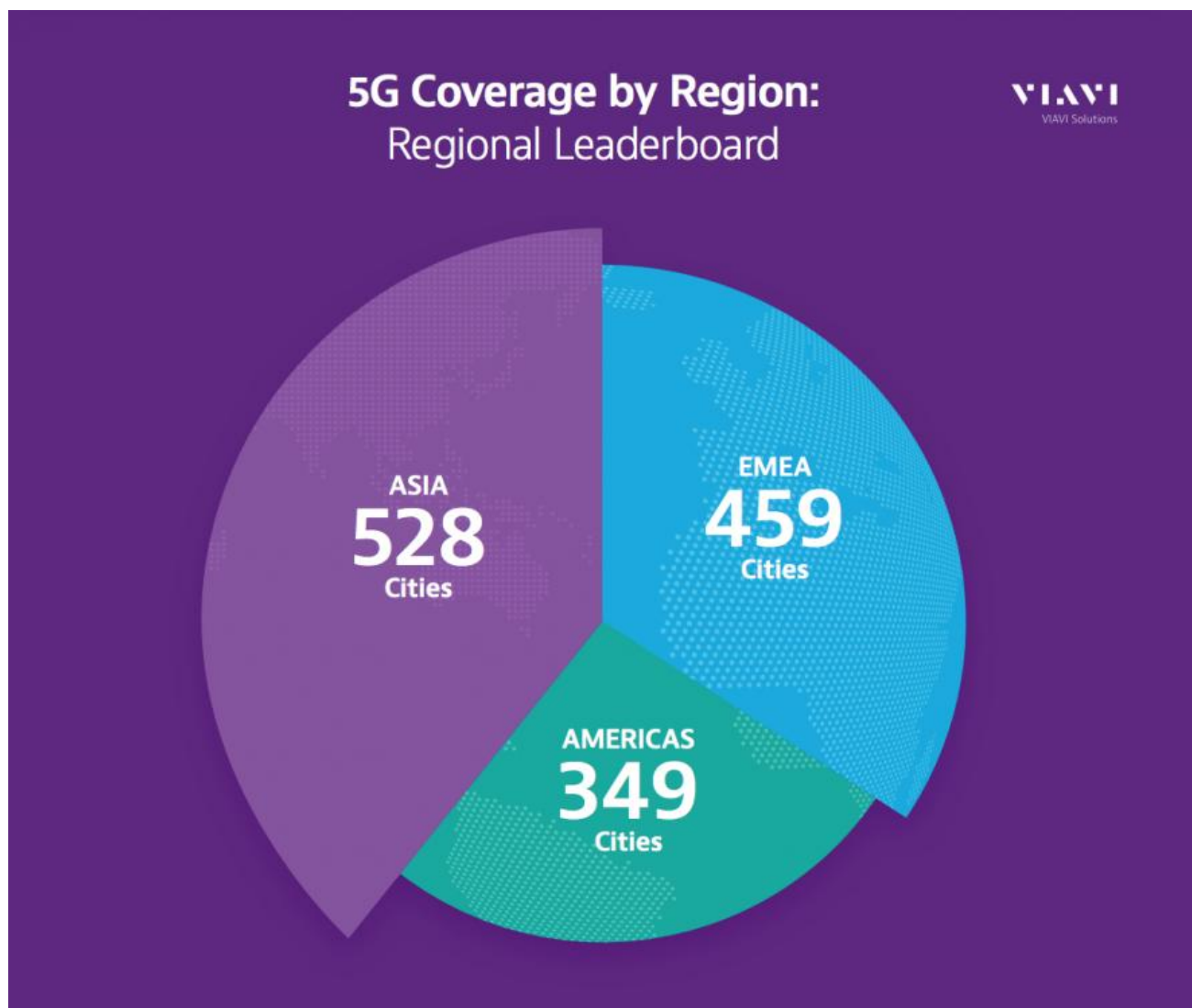
- низька смуга: 700 МГц (крім США); 600 МГц (США)
- середній діапазон: 3,3 – 3,8 ГГц (крім США); 2,6 ГГц, 3,7–4,98 ГГц (США)
- високий діапазон: 26 ГГц (крім Японії, Південної Кореї та США); 28 ГГц (Японія, Південна Корея та США)

На Всесвітній радіоконференції ІТУ у 2023 році (WRC-23) може бути схвалена подальша ідентифікація ІМТ для 3,3-3,4 ГГц, 3,6-3,8 ГГц, 6425-7125 ГГц і 10,1-10,5 ГГц, що полегшить використання цих діапазонів для 5G. На кінець березня 2021 року комерційні послуги 5G були розгорнуті в 24 країнах ЄС. Найбільш використовувані смуги частот – 700 МГц і 3,3 – 3,8 ГГц, причому остання визнана глобальною робочою смугою для 5G.

Трохи вищі 3,7-4,2 ГГц донедавна вважалися більш периферійними. Деякі європейські країни пропонували це безпосередньо галузевим вертикалям. У 2019 році Японія надала мобільним операторам 3,6-4,0 ГГц для 5G, але це було відносно рідкісне явище.

Ці припущення були розбиті приголомшливими цінами, які американські оператори мобільного зв'язку заплатили за діапазон 3,7–3,98 ГГц на аукціоні, який завершився на початку 2021 року. Загалом оператори заплатили 81 мільярд доларів США за спектр, а також 9,7 мільярда доларів США в якості стимулюючих платежів для існуючих супутникових операторів. звільнити гурт. Справедливо очікувати більшої активності в діапазоні 3,7-4,2 МГц.

Частоти mmWave не отримали широкого комерційного розгортання, і більшість країн ЄС ще не продали на аукціоні діапазони 26 або 28 ГГц. США лідирували у світі,



зробивши діапазон 28 ГГц доступним для 5G. Кілька інших країн, зокрема Японія та Південна Корея, швидко пішли за ними. Однак за останні пару років інтерес до 26 ГГц або 28 ГГц зменшився.

Рис. 2.4 Представленість мереж 5G у світових регіонах

На початку 2022 р. мережі 5 покоління представлені у 30 країнах світу. Лідерами по кількості мереж 5G є Китай та Сполучені Штати Америки.



Рис. 2.5 Топ-10 країн світу за кількістю мереж 5G

Проте, незважаючи на те, що вони займають відповідно перше та друге місця серед країн з найбільшою кількістю міст, оснащених технологією 5G, ані Китай, ні США не потрапляють до першої десятки іншої не менш важливої таблиці топ-10. Відповідно до вимірювань, проведених Opensignal, топ-10 найшвидших мереж 5G виглядає наступним чином:

5G Global Top 10: Cities

OPENSIGNAL

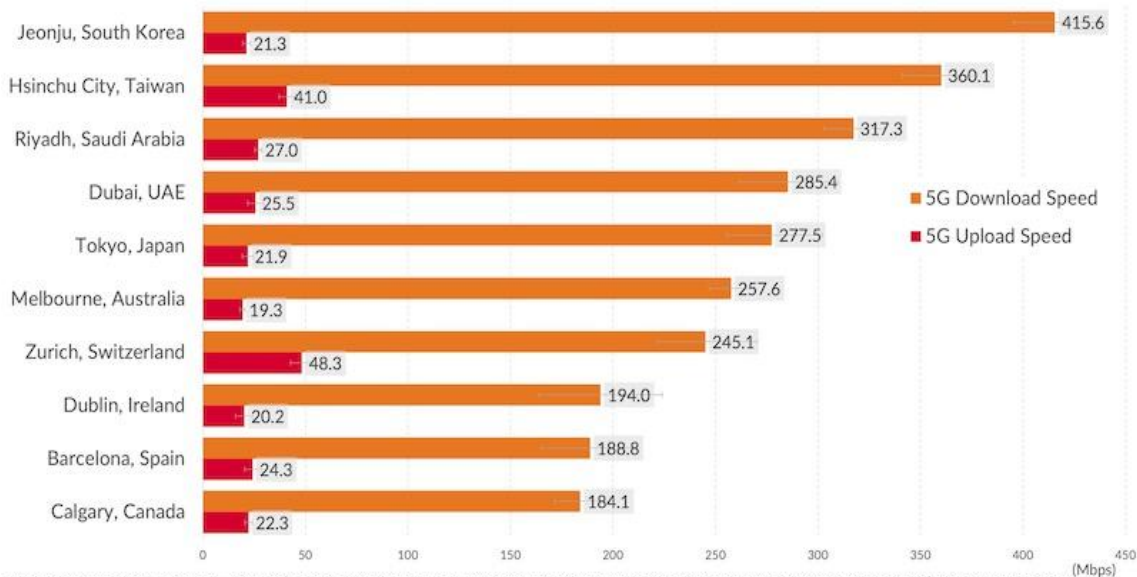
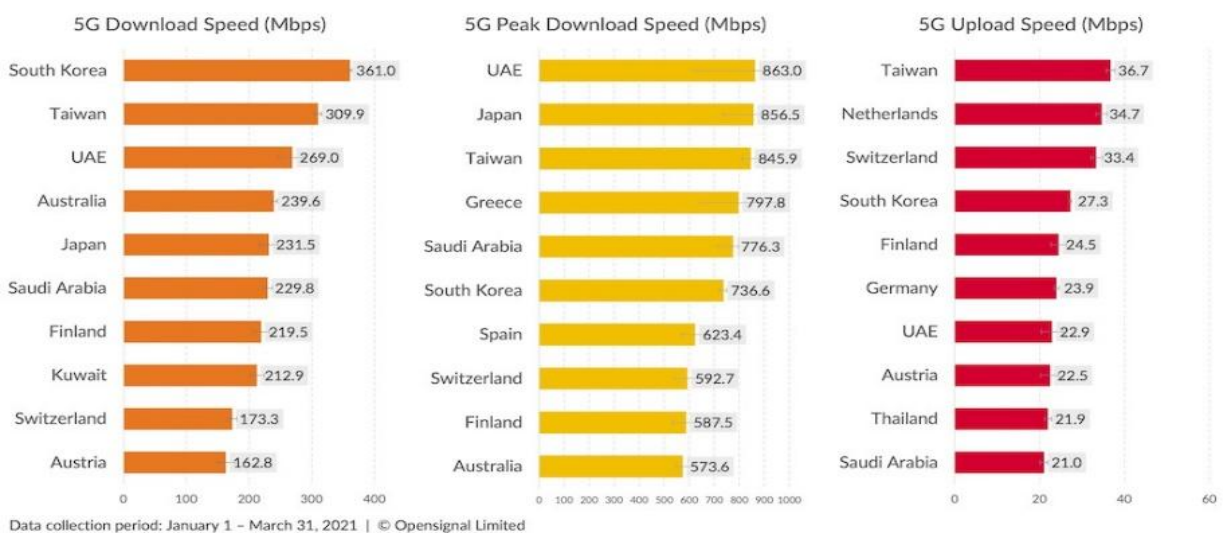


Рис. 2.6 Рейтинг міст світу за швидкістю мереж 5G

Серед міст-лідерів можна відзначити центри ведення бізнесу, як-от Цюріх, Дубаї, Барселона. На національному рівні досвід 5G має позитивні тенденції з точки зору завантаження, так і вивантаження. Однак навіть у цьому випадку ми

5G Global Top 10: Speed

OPENSIGNAL



відзначаємо відсутність у рейтингах швидкості 5G Китаю та США.

Рис. 2.7 Рейтинг країн світу за швидкістю завантаження та віддачі даних

Південна Корея знову очолює таблицю швидкості завантаження 5G, але в цьому випадку Тайвань перескакує на вершину таблиці швидкості завантаження 5G. Японія займає високі позиції як зі скачування 5G (231,5 Мбіт/с), так і за скачуванням з максимальною швидкістю 856,5 Мбіт/с. У Європі, у той час як Фінляндія має найвищу середню швидкість завантаження 5G (219,5 Мбіт/с), Нідерланди мають найвищу середню швидкість завантаження в Європі (34,7 Мбіт/с), а Греція, Іспанія та Швейцарія мають найвищі високі пікові швидкості завантаження 5G.

Таким чином, можна відзначити кореляцію між розвитком великих міст (зокрема, зосереджень бізнесу) та впровадженням мереж п'ятого покоління. Фактор перегляду контенту, використання мобільних пристроїв для розваг не є визначальним у розвитку 5G навіть у країнах, де мережа набула неабиякого розповсюдження.

За останнє десятиліття відносини між Сполученими Штатами та Huawei, багатонаціональною технологічною корпорацією з Китаю, стали дуже напруженими.. З тих пір, як у 2008 році Комітет з іноземних інвестицій у Сполучених Штатах відхилив спроби придбати 3Com Corporation, американські законодавці посилили перевірку одного з провідних китайських виробників комунікаційного обладнання разом із китайською телекомунікаційною компанією ZTE. Законодавчі кроки в основному спрямовані на обмеження використання телекомунікаційного бездротового мережевого обладнання Huawei, особливо пов'язаного з розширеними можливостями 5G.

Сама Huawei, безсумнівно, постраждала в результаті всіх цих каральних заходів. Посідаючи вражаючу 96-ту позицію в останньому рейтингу Fortune Global 500, компанія, тим не менш, впала більш ніж на 50 позицій, посівши 44-е місце в минулорічному списку. Її доходи у 2021 році також різко знизилися на 23,6 відсотка протягом року до 98,7 мільярда доларів; тим не менш, прибутки зросли на 76 відсотків, головним чином завдяки вибуттю бюджетного бізнесу смартфонів.

Заборони також змусили телекомунікаційного гіганта диверсифікувати свої бізнес-напрямки; вона заглибилася в хмарні послуги, Інтернет речей, операційні системи смартфонів і, найуспішніше, корпоративний бізнес, у якому вона надає хмарні послуги та апаратні рішення для корпоративних клієнтів, що склало 16,1 відсотка її загального доходу в 2021 році. Повідомляється, що компанія також розпочала наймання у свій підрозділ із виробництва мікросхем, залучивши десятки висококваліфікованих інженерів для допомоги в розробці програмного забезпечення для проектування напівпровідників. А нещодавно завдяки зусиллям зміцнити свій бізнес мобільних телефонів перед обличчям санкцій, а також різко знизити залежність від операційної системи Android від Google, Huawei незабаром випустить власну оновлену ОС Harmony OS 3.0. Компанія сподівається, що ця нова власна операційна система допоможе мінімізувати вплив її падіння на ринок США.

Що стосується США, то сьогодні зберігаються серйозні питання щодо ефективності їхніх численних спроб обмежити мережеву інфраструктуру китайського виробництва, при цьому спостерігачі відзначають, що більшість обладнання, яке Білий дім намагався «розірвати», залишається на місці. За деякими оцінками, кількість телекомунікаційних провайдерів, які все ще підключають мобільні телефонні дзвінки для своїх клієнтів за допомогою обладнання Huawei та ZTE, становить понад 100. А китайське телекомунікаційне обладнання продовжує переважати на підприємствах Міністерства оборони, корпоративних літаках кількох найбільших американських компаній. і деякі з найвідоміших комерційних авіакомпаній США.

Які наслідки мають заборони для розвитку 5G у США? Після виконавчого указу Трампа від травня 2019 року компанія Huawei заявила сайту технічних новин Android Authority: «Обмеження Huawei на ведення бізнесу в США не зробить США безпечнішими чи сильнішими; замість цього це лише обмежить США гіршими, але дорожчими альтернативами, залишаючи США відставанням у розгортанні 5G».

Повертаючись у 2022 рік, стає зрозуміло, що США значно відстають від Китаю в гонці за розробку технології 5G.

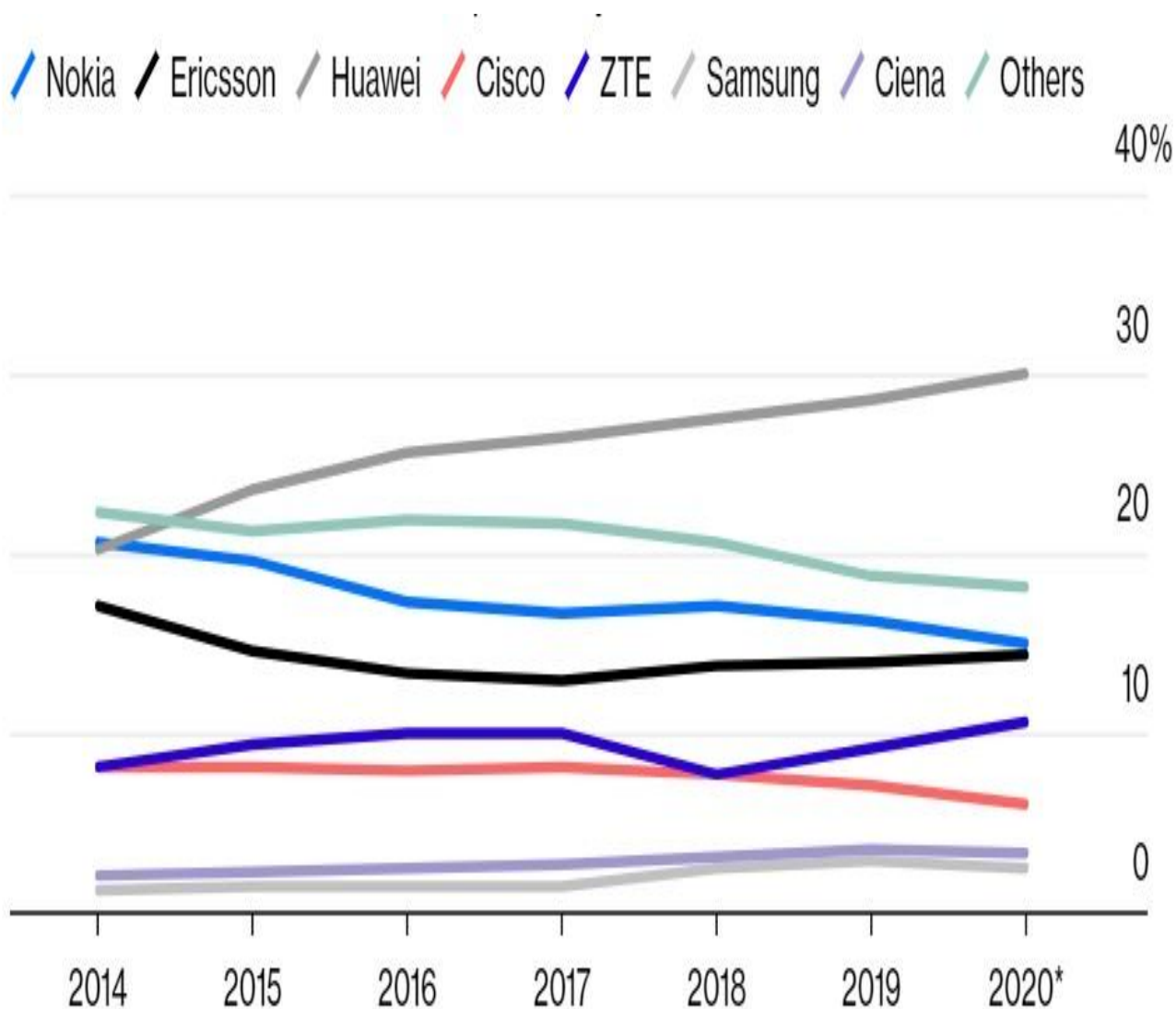
Але тиск на Huawei і впровадження численних санкцій стало поштовхом для багатьох інших компаній. Так, у тому ж 2018 р. віце-президент мобільного підрозділу Samsung Абрахам Кім заявив, що проблеми Huawei сприяють нарощенню долі південнокорейського гіганта на ринку 5G. Він підкреслив, що незважаючи на домінування Huawei на ринку в часи 4G, Samsung знаходиться попереду саме в технології 5G, яка вже інтегрована в їхні смартфони.

Після низки переговорів, у вересні 2020р. Samsung уклав угоду з американським телеком-гігантом Verizon на постачання обладнання 5G. Verizon використовує Samsung для різних частин своєї великої мережі. Для початку це було декілька ринків, на яких Samsung вдало показав свої можливості. Після цього послугами південних корейців зацікавились іспанська Telefonica та французька Orange.

Але оскільки існуючі в Європі мережі 4G побудовані ще Huawei, є ризик, що продукти Samsung не будуть сумісними з існуючими мережами. Тоді мова буде йти не про оновлення, а про повну заміну, що коштуватиме набагато дорожче. У той же час французький телекомунікаційний бізнес Altice Europe заявив, що йому потрібно нове обладнання 5G, яке відповідає існуючій структурі. Наразі ведуться переговори саме з компанією Samsung.

У березні 2021р. Samsung отримав контракт від японського оператора мобільного зв'язку NTT Docomo Inc на постачання мережевого обладнання 5G. Обладнання також включатиме підтримку відкритих інтерфейсів Open Radio Access Network (Open RAN), що мають на меті зменшити залежність від будь-якого постачальника, роблячи кожну частину телекомунікаційної мережі сумісною. Але найбільший оператор мобільного зв'язку в Європі, Deutsche Telekom, залишається скептичним щодо того, чи зможе Samsung стати конкурентоспроможним.

Їхні аналітики також стверджують, що для конкуренції з Nokia та Ericsson на їхньому домашньому майданчику потрібно буде зробити більше. Песимізм німців можна зрозуміти, проаналізувавши розподіл потужностей виробників обладнання 5G станом на 2020р. За даними незалежного дослідника



телекомунікацій Dell'Oro Group, незважаючи на потужність Nokia і Ericsson, невпинно зростає частка Huawei на ринку телекомунікаційного обладнання.

Рис.2.8. Частка різних виробників обладнання 5G у світі

Фінський гігант телекомунікацій Nokia був лідером у виробництві мобільних пристроїв до появи операційних систем iOS та Android. Втрата переваги на цьому ринку змусила їх зосередитись на виробництві мережевого обладнання.

На початку розробки обладнання для мереж 5G перед Nokia постав вибір, яку технологію використовувати для створення своїх чіпів. З одного боку, можна було використати енергоефективніші та дешевші у виробництві системи на чіпі (system on chip, SoC), а з іншого — дорожчі мікросхеми з вбудованими програмованими вентилями матрицями (field-programmable gate array, FPGA, ППВМ).

Nokia пішла іншим шляхом, вирішивши, що SoC буде важче перепрограмувати для використання різних частот, на відміну від чіпів FPGA. За даними WSJ, вибравши SoC, Nokia на той момент ризикувала залишитися з баластом у вигляді безлічі непотрібних чіпів, якби стандарти 5G мереж несподівано змінилися. Її основні конкуренти, Ericsson і Huawei, вибрали SoC, що виявилось вірним рішенням.

Свою помилку Nokia почала усвідомлювати в 2018 р, коли зрозуміла, що випустила дуже багато дорогих чіпів FPGA і недостатня кількість дешевих SoC, щоб конкурувати з Huawei і Ericsson. Для виправлення ситуації Nokia розпочала дворічну програму реструктуризації, яка, за їхніми словами, почала приносити плоди лише в 2020р. Ця програма передбачала збільшення науково-дослідного персоналу, який би займався виключно виробництвом більш дешевих чіпів. Після цього керівництвом компанії було збільшено число постачальників для обладнання 5G. У червні 2020 року було підписано партнерську угоду з американською компанією Broadcom, а до цього аналогічна угода була укладена з Marvell. Найпершим постачальником Nokia була компанія Intel.

Ці зусилля призвели до ряду позитивних змін. Так, у грудні 2020р. з'явилась інформація про те, що Nokia розпочала виробництво обладнання 5G в Індії, а обладнання передається до країн, які перебувають на просунутих стадіях впровадження технологій наступного покоління. Розгортання послуг 5G в Індії

залежить від аукціону спектра, оскільки операторам зв'язку потрібні відповідні бездротові частоти для запуску 5G в країні.

У березні 2021р. Nokia підписала п'ятирічну угоду з AT&T щодо розгортання мережі 5G на частотах цього мобільного оператора в частині США. Відомо, що угода покриває такі задачі, як супутникові передачі в діапазоні частот 4-8 ГГц, підтримку різних мереж 5G, хмарні реалізації та продукти Open RAN.

2.2. Можливості розвитку 5G в контексті впровадження технологій 5G у мобільні пристрої

Пристрої з підтримкою мобільних мереж п'ятого покоління почали випускати в кінці 2018 року. За цей час свою продукцію представили різні виробники смартфонів. Дослідницька компанія Counterpoint Research опублікувала список найпопулярніших 5G-смартфонів за станом на початок 2022 року.

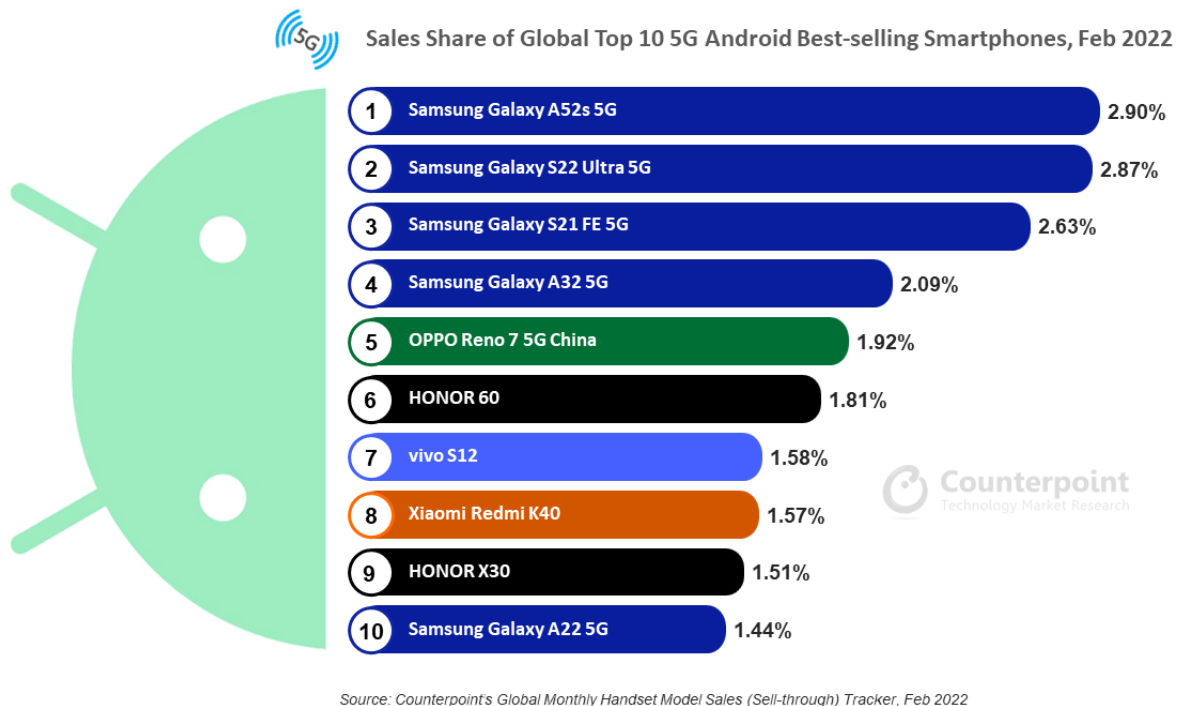


Рис.2.9. Найпродаваніші смартфони з підтримкою 5G станом на початок 2022р.

Загалом продажі смартфонів з підтримкою 5G за підсумками 2021р. були оцінені в 550 мільйонів одиниць. Це склало 29% в загальному обсязі ринку смартфонів. За даними аналітичної компанії Gartner, в порівнянні з 2020 р, обсяги поставок 5G-смартфонів збільшилися майже в 20 разів. Згідно з їхньою ж аналітикою, зростанню ринку сприяли кілька чинників, а саме:

- підвищення доступності 5G-зв'язку на тлі широкого розвитку мереж нового покоління;
- розширення асортименту 5G-смартфонів;
- поява недорогих пристроїв з цінками до 200 доларів, при чому на відміну від статистики 2019 та 2020 р., у лідери продажів пристроїв з підтримкою 5G вийшли саме бюджетні пристрої.

Проте варто відзначити, що не усі пристрої здатні однаково добре сприймати 5G сигнали. За даними американських дослідників, у рейтингу 25 найшвидших моделей смартфонів 5G у США, 60% моделей у списку належать виробнику Samsung. “Флагманська” лінійка смартфонів 2021р. Samsung Galaxy S21 5G має найвищу середню швидкість завантаження в США. Цей успіх пов’язаний з тим, що вони першими працюють на платформі Qualcomm Snapdragon 888. Дві інші моделі S21 також увійшли до топ-10, що свідчить про перспективи для інших майбутніх моделей смартфонів високого класу, які використовують той самий модем та чіпсет. Цього року Snapdragon 888 буде використовуватися у більшості флагманських смартфонів Android.

Варто відзначити, що коли в старих моделях iPhone 4G використовувались модеми Intel, Apple і всі провідні американські бренди смартфонів Android використовують той самий модем Qualcomm у своїх моделях смартфонів 2020 року, що допомагає пояснити, чому різниця менша в областях 5G. Apple також зробила незвичайний крок, включивши підтримку надзвичайно швидкого смаку mmWave 5G у всіх чотирьох моделях iPhone 12 у США, навіть у iPhone 12 Mini.

У топ-25 увійшли три моделі зі складаними дисплеями: горизонтально складаний Motorola Razr 6G та Samsung Galaxy Flip 4 5G, а також Samsung Galaxy Fold 4 5G. Складані смартфони все ще рідкісні через важкість залучення у прийом сигналу не лише дисплея, а й взагалі всієї електроніки. Антени, які є критично важливими для стільникового прийому, становлять особливу проблему, оскільки вони повинні працювати, якщо телефон відкритий або закритий, і незалежно від того, як користувачі тримають телефон. Для перевізників, користувачів та виробників смартфонів заспокоює те, що їх складні моделі смартфонів оцінюються з такою ж високою середньою швидкістю завантаження, як їх менш складані звичайні аналоги.

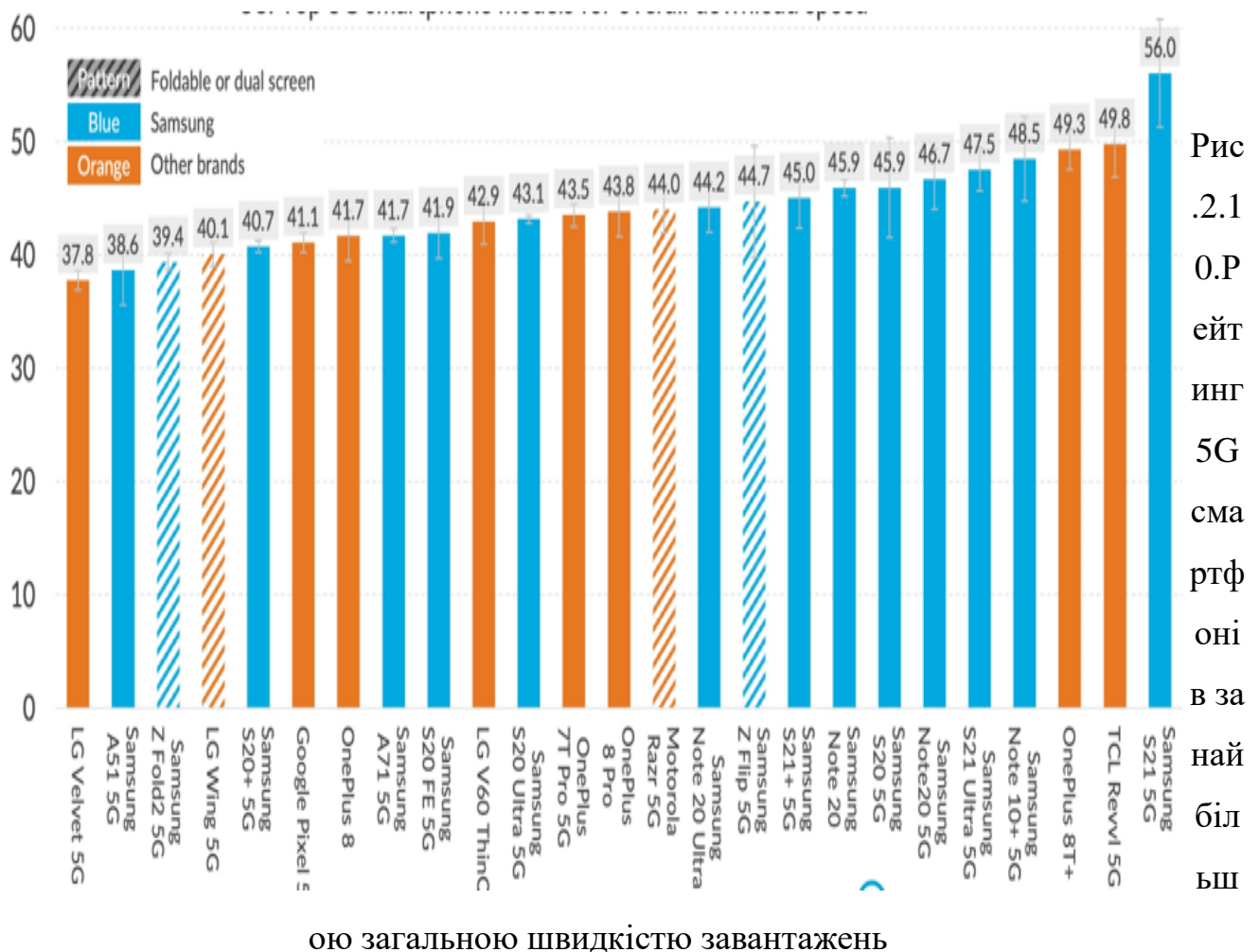


Рис. 2.1. Оцінювання середньої швидкості завантаження найкращих смартфонів 5G

Як можна помітити, компанія Samsung, яка, здається, програла змагання за розгортання мереж 5G у світі, змогла втілити напрацьований досвід у найшвидших смартфонах за рахунок вірного інвестування, зокрема, в електроніку пристроїв.

Такий неоднорідний розподіл між найбільш популярними та найбільш здатними приймати зв'язок 5G смартфонами дозволяє зробити наступні висновки: якість сигналу 5G не є вирішальним фактором при покупці 5G-смартфона; розповсюдження 5G смартфонів у світі стримується не скільки низьким розвитком мереж у світі, скільки доволі великим середнім цінником на такі пристрої.

Отже, істотною проблемою доступу до 5G залишається неоднорідний розподіл фінансового благополуччя в світі.

2.3. Майбутні тренди розвитку мереж 5G

Загалом можна виділити наступні тенденції розвитку мереж п'ятого покоління у найближчому майбутньому:

1. Швидка адаптація. Технологія швидко перейшла від концепції до реальності, оскільки попит на розширений цифровий досвід, збільшення кількості пристроїв Інтернету речей (IoT) і перехід робочого навантаження в хмару викликали потребу в 5G. Із чверті мільярда абонентів на даний момент дослідження Omdia передбачає три мільярди абонентів 5G до 2025 року. Як зазначає аналітик мереж 5G М.Вуд, мережі 5G створені для підтримки різних варіантів використання, які виявляться надзвичайно важливими для організацій у всьому світі, включаючи відеоаналітику, служби визначення місцезнаходження, IoT, доповнену реальність (AR), оптимізоване розповсюдження локального контенту тощо. 5G пропонує багатообіцяючі досягнення більшої швидкості, вищої пропускну здатності, покращеного підключення та меншої затримки, одночасно обслуговуючи мільйони чи мільярди пристроїв.

2. Зростання периферійних обчислень. Для підприємства 5G — це швидкість і ефективність підключення віддалених співробітників, віддалених периферійних

місць і Інтернету речей. Це сприятиме підвищенню продуктивності для бізнесу, а також прибутковості для операторів зв'язку. Але це також має наслідки для периферійних обчислень. У той час як останні спрямовані на збільшення обчислювальної потужності та пам'яті для обробки даних, цінність крайових серверів зростає, коли також є швидке підключення ключових крайових даних, сповіщень і підсумків до центральних концентраторів.

«З більшою кількістю додатків, які отримують доступ і генерують дані на межі, від віддалених співробітників, філій і периферійних місць, а також IoT, швидке підключення до основних і хмарних центрів обробки даних увімкнено за допомогою 5G, – зазначає Грег Шульц, аналітик StorageIO Group. Завдяки підвищенню продуктивності 5G більше програм і пристроїв можуть отримувати доступ і генерувати дані більшого розміру, наприклад відео з роздільністю від 1К до 4К до 8К і більше».

3. Битви за пропускну здатність. Нещодавно Федеральна комісія з зв'язку (FCC) продала на аукціоні основним корпоративним телекомунікаційним провайдерам 5G діапазон радіочастот, відомий як С-діапазон (3,7–3,98 ГГц). Це спонукало до захоплення землі для нерухомості РФ, у результаті чого на аукціоні було продано 80,9 мільярда доларів. За думкою дослідників, це можна вважати новою тенденцією або ознакою того, що ми є свідками ранніх стадій війни за пропускну здатність. З огляду на те, що численні великі телекомунікаційні провайдери створюють далекосяжні кластери супутників, 5G буде головним претендентом у спробі запровадити високошвидкісний Інтернет у сільській Америці (і, ймовірно, у всьому сільському світі), яка історично мала рівень обслуговування та фінансово приваблива частина населення.

Це ключова перевага технології 5G: можливість обслуговувати більш широкий ринок клієнтів у різних географічних умовах без тягаря впровадження значної додаткової фізичної інфраструктури.

4. Підтримка бізнесу

Денніс Хоффман, старший віце-президент і генеральний директор відділу телекомунікаційних систем Dell Technologies, сказав, що 4G – це все про споживача, а 5G – це все про бізнес. Підприємства не є мережевими операторами, тому телекомунікаційним компаніям потрібно зробити приватну 5G або стільникову мережу такою ж простою, як Wi-Fi, за допомогою комплексних рішень, якими можна просто керувати або орендувати. «Як тільки вони будуть створені, з'являться корпоративні додатки 5G, на які ми всі чекали», — сказав Хоффман. З 5G ми переходимо від з'єднань, орієнтованих на людину, до з'єднань, орієнтованих на машину, причому все, від відеокамер і заводського обладнання до термостатів і автомобілів, підключається до мереж. З'єднання стрімко зростають, а випадки використання 5G і програми використовуватимуть велику кількість з'єднань, які вимагають наднизької затримки, більшої безпеки та кращої економіки для бізнесу».

5. Поштовх до виробництва маршрутизаторів та комутаторів. 5G дасть значний поштовх постачальникам маршрутизаторів і комутаторів. Маючи такий великий потенціал продуктивності, підприємства захочуть переконатися, що їхні маршрутизатори та комутатори можуть відповідати цій продуктивності. Так, Dell'Oro Group прогнозує, що світовий ринок маршрутизаторів і комутаторів постачальників послуг заробить 76 мільярдів доларів сукупного доходу протягом наступних п'яти років. Очікується, що впровадження нових технологій маршрутизації 400 Гбіт/с значно сприятиме загальному зростанню ринку. Маршрутизатори з підтримкою 400 Гбіт/с застосовуються для ширшого спектру додатків, а економічні покращення пропонують переконливу інвестиційну історію. Прогнозується, що маршрутизатори, розгорнуті в мобільних інфраструктурах 5G, сприятимуть стабільному зростанню ринку протягом наступних п'яти років.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ ТА ЇХНІЙ ПОТЕНЦІАЛ У РОЗВИТКУ 5G

3.1. Побудова архітектури мереж 5G

Мобільне ядро є ще одним прикладом загального терміну. У 4G це називається розширеним пакетним ядром (EPC), а в 5G — ядром наступного покоління (NG-Core).

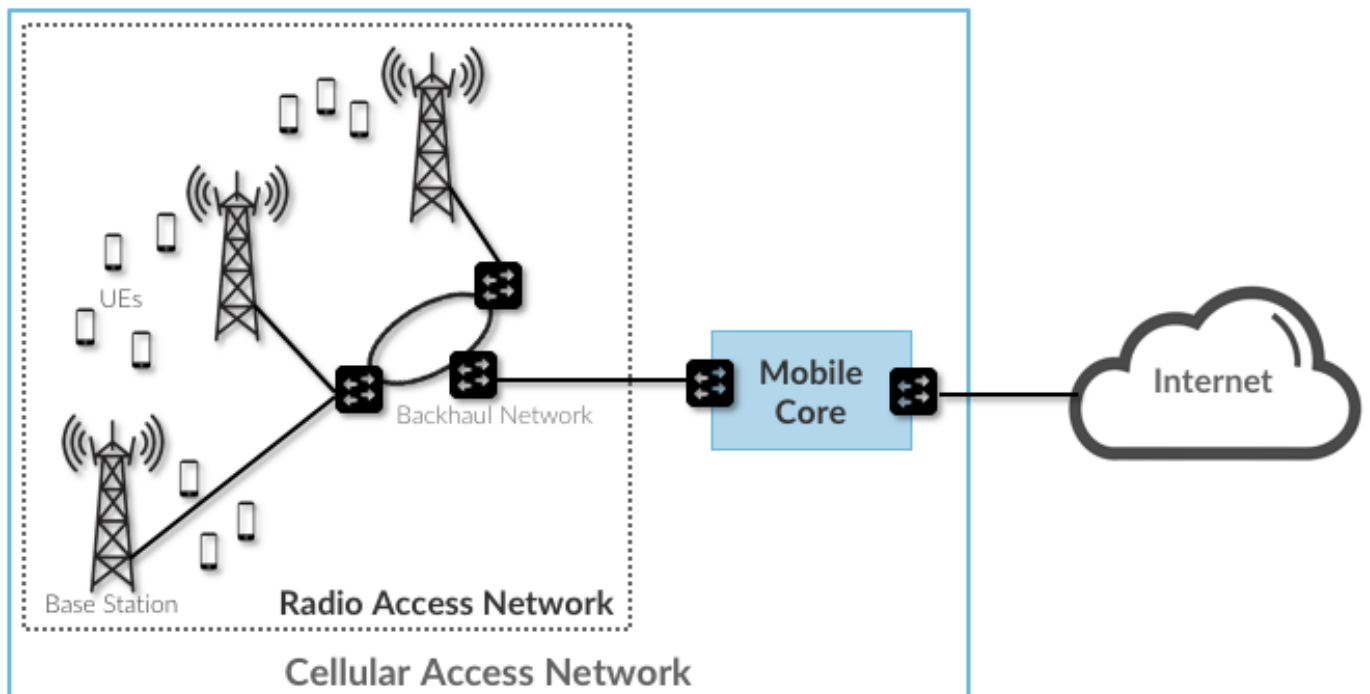


Рис.3.1 Складові стільникової мережі

Як показано на малюнку 3.1 стільникова мережа складається з двох основних підсистем: мережі радіодоступу (RAN) і мобільного ядра. RAN керує радіочастотним спектром, забезпечуючи його ефективне використання та відповідність вимогам

щодо якості обслуговування кожного користувача. Це відповідає розподіленому набору базових станцій. Як зазначалося вище, у 4G вони називаються eNodeB (або eNB), що є скороченням від Evolved Node B. У 5G вони відомі як gNB.

Mobile Core, або мобільне ядро – це набір функціональних можливостей (на відміну від пристрою), який служить кільком цілям:

- забезпечує підключення до Інтернету (IP) як для даних, так і для голосових служб;
- гарантує, що це підключення відповідає обіцяним вимогам QoS;
- відстежує мобільність користувачів, щоб забезпечити безперебійне обслуговування;
- відстежує використання передплатником для виставлення рахунків і стягнення плати.

Мобільне ядро є ще одним прикладом загального терміну. У 4G це називається розширеним пакетним ядром (EPC), а в 5G — ядром наступного покоління (NG-Core).

Незважаючи на те, що в назві є слово «ядро», з точки зору Інтернету Mobile Core все ще є частиною мережі доступу, фактично забезпечуючи міст між RAN у певній географічній зоні та широким Інтернетом на основі IP. 3GPP забезпечує значну гнучкість його географічного розгортання, але для наших цілей припущення, що кожен екземпляр Mobile Core обслуговує мегаполіс, є хорошою робочою моделлю. Тоді відповідна RAN охоплюватиме кілька десятків (або навіть сотень) веж стільникового зв'язку.

Транзитна мережа з'єднує базові станції, які реалізують RAN, із мобільним ядром. Ця мережа, як правило, дротова, може мати або не мати кільцевої топології, показаної на малюнку, і часто складається з стандартних компонентів, які можна знайти в інших місцях Інтернету. Наприклад, пасивна оптична мережа (PON), яка реалізує Fiber-to-the-Home, є головним кандидатом для реалізації транспортного

зв'язку RAN. Звісно, транзитна мережа є необхідною частиною RAN, але це вибір реалізації, а не передбачений стандартом 3GPP.

Незважаючи на те, що 3GPP визначає всі елементи, які реалізують RAN і Mobile Core у відкритому стандарті, включаючи підрівні, які ми ще не представили, мережеві оператори історично купували власні реалізації кожної підсистеми в одного постачальника. Ця відсутність реалізації з відкритим кодом сприяє сприйняттю «непрозорості» стільникової мережі загалом і RAN зокрема. І хоча це правда, що реалізація eNodeB містить складні алгоритми для планування передачі в радіочастотному діапазоні — алгоритми, які вважаються цінною інтелектуальною власністю постачальників обладнання, — існує значна можливість відкрити та дезагрегувати як RAN, так і мобільне ядро.

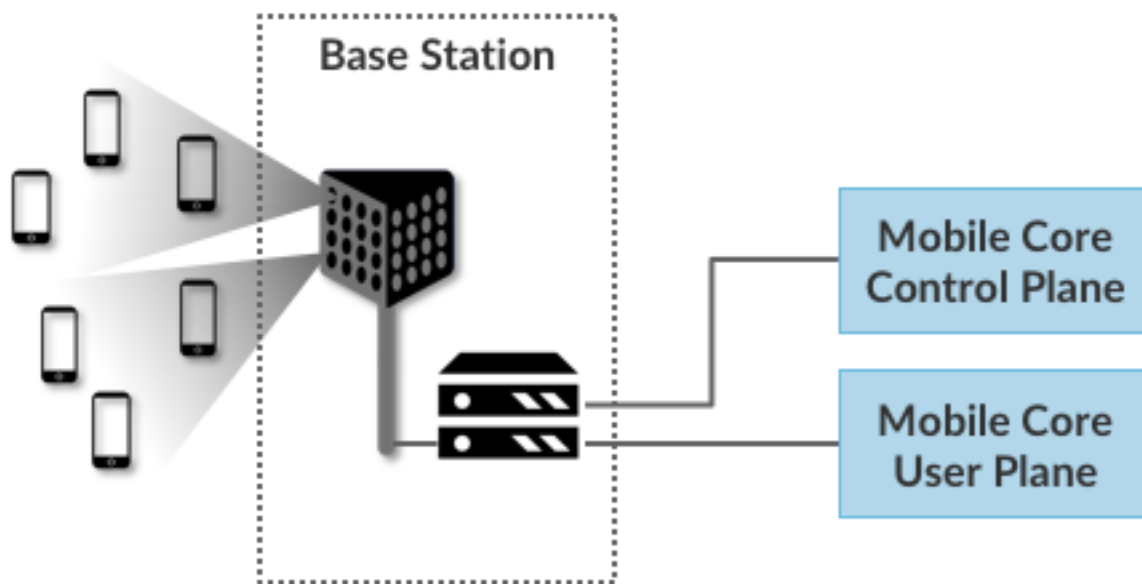


Рис. 3.2. Мобільне ядро: розділення площини керування та користувача

Перш ніж перейти до цих деталей, малюнок 3.2 дублює компоненти з малюнка 3.1, щоб підкреслити дві важливі відмінності. По-перше, базова станція має аналоговий компонент (зображений антеною) і цифровий компонент (зображений

парою процесорів). По-друге, мобільне ядро розділене на площину керування та площину користувача, що подібно до поділу площини керування/даних, який хтось, знайомий з Інтернетом, розпізнає. 3GPP також нещодавно представив відповідну аббревіатуру — CUPS, Control and User Plane Separation — для позначення цієї ідеї. Важливість цих двох відмінностей стане зрозумілою далі.

Для цього слід визначити, яку роль відіграє кожна базова станція. По-перше, вона встановлює бездротовий канал для користувацького терміналу абонента після включення живлення або після передачі обслуговування, коли той активний. Цей канал звільняється, коли термінал залишається неактивним протягом попередньо визначеного періоду часу. Використовуючи термінологію 3GPP, кажуть, що цей бездротовий канал надає несучу послугу. Термін «носій» історично використовувався в телекомунікаціях для позначення каналу даних, на відміну від каналу, який передає сигнальну інформацію.

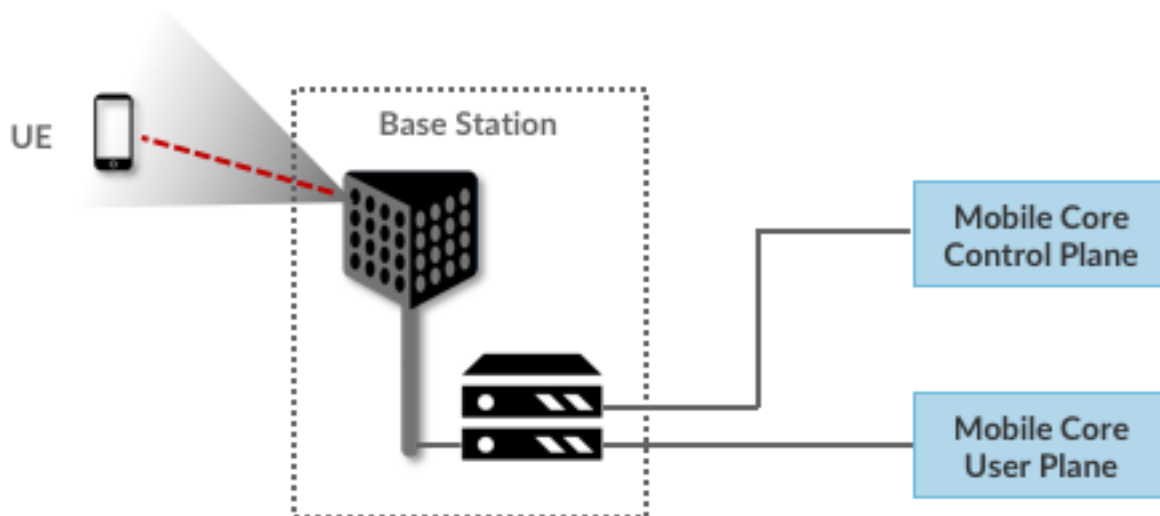


Рис. 3.3 Базова станція знаходить та встановлює зв'язок з користувацьким терміналом

Кожна базова станція встановлює з'єднання 3GPP Control Plane між користувацьким терміналом і відповідним компонентом управляючого рівня мобільного ядра, та пересилає трафік сигналізації між ними. Цей сигнальний трафік забезпечує автентифікацію користувацьких терміналів, реєстрацію та відстеження мобільності.

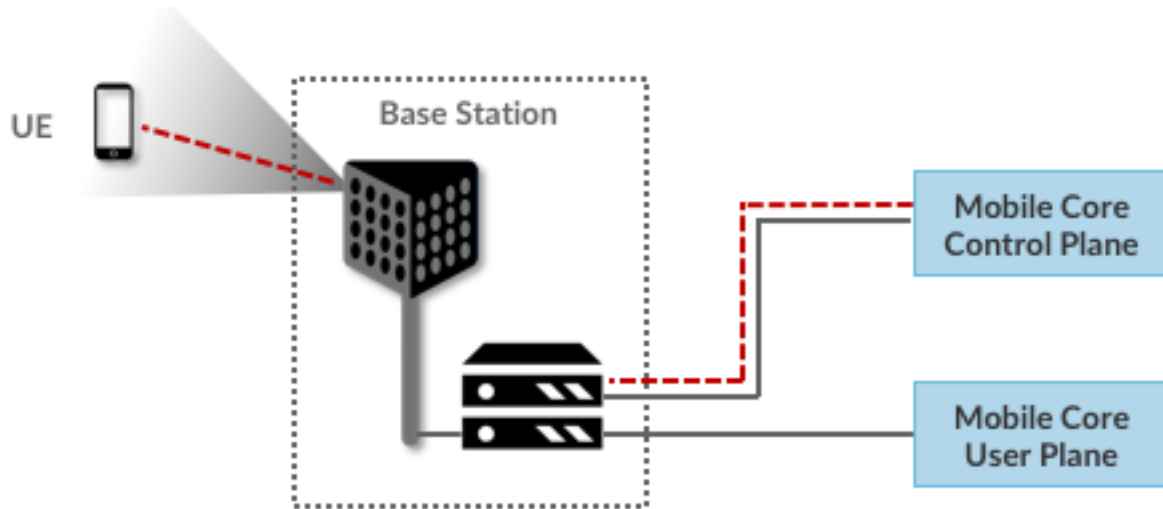


Рис. 3.4 Базова станція встановлює підключення панелі управління між користувацьким терміналом та мобільним ядром

Для кожного активного користувацького терміналу базова станція встановлює один або більше зв'язків між відповідним панелі мобільного ядра.

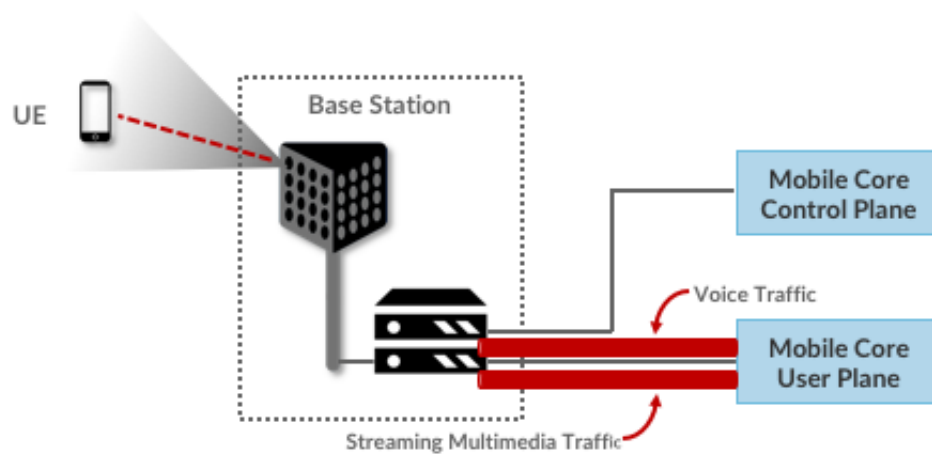


Рис. 3.5. Базова станція встановлює зв'язки між користувацьким терміналом та мобільним ядром

Базова станція пересилає як контрольні пакети, так і пакети рівня користувача між мобільним ядром і користувацьким терміналом. Ці пакети тунелюються через SCTP/IP та GTP/UDP/IP відповідно. SCTP (транспортний протокол керування потоком) – альтернативний надійний транспорт TCP, призначений для передачі сигнальної інформації для телефонних послуг. GTP – це протокол тунелювання, специфічний для 3GPP, розроблений для роботи через UDP.

Крім того, слід зазначити, що зв'язок між RAN і Mobile Core базується на IP. Це було введено як одну з головних змін між 3G і 4G. До 4G внутрішня частина стільникової мережі базувалася на схемах, що не дивно, враховуючи її походження від голосових мереж.

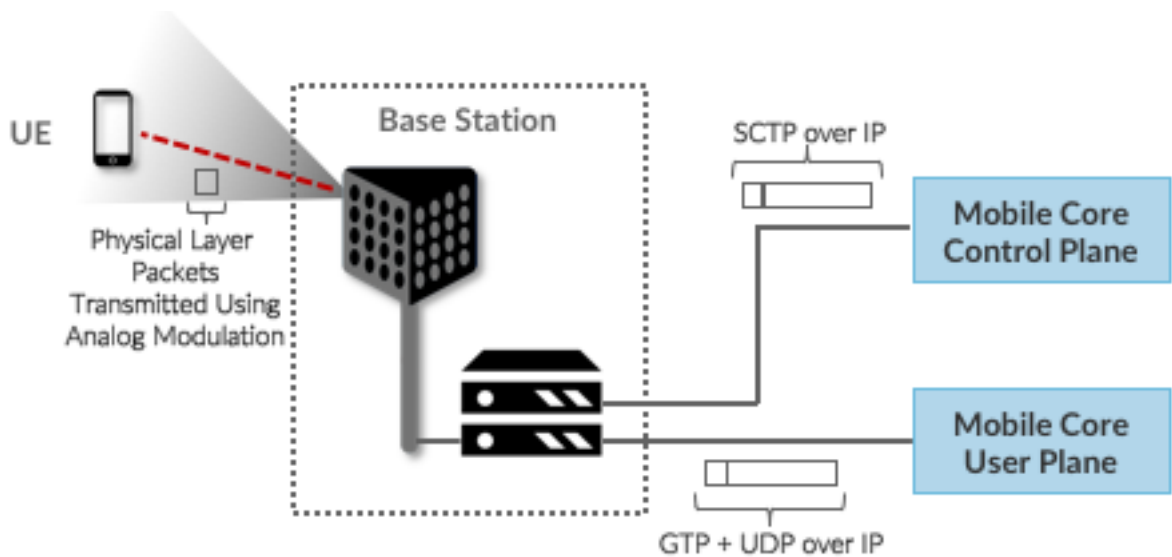


Рис. 3.6. Площина управління базової станції від мобільного ядра (і підключення типу «базова станція — базова станція»), тунельована через Sctp/IP, і площина користувача, тунельована через GTP/UDP/IP

Кожна базова станція координує передачу обслуговування користувацького терміналу із сусідніми базовими станціями, використовуючи прямі міжстанційні зв'язки. Точно так само, як підключення між станцією і ядром, що показано на попередньому малюнку, ці послання використовуються для передачі пакетів рівня керування (Sctp через IP) і рівня користувача (GTP через UDP/IP).

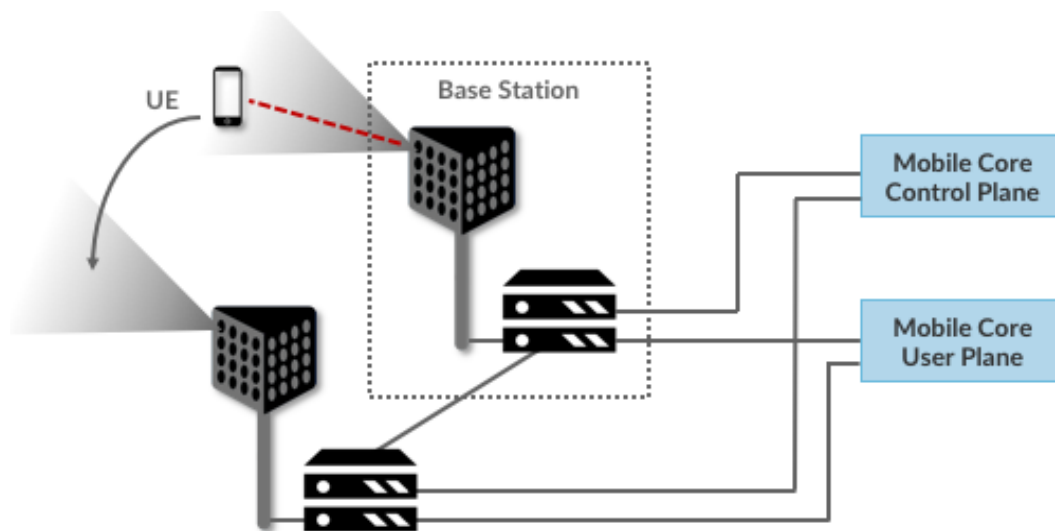


Рис. 3.7. Співпраця базових станцій для здійснення передачі даних користувачьким терміналам

Базові станції координують бездротову багатоточкову передачу до UE від багатьох базових станцій, яка може бути або не бути частиною передачі обслуговування UE від однієї базової станції до іншої.

Основний висновок полягає в тому, що базову станцію можна розглядати як спеціалізований пересилач. У напрямку Інтернет-UE він фрагментує вихідні IP-пакети на сегменти фізичного рівня та планує їх передачу через доступний радіочастотний спектр, а в напрямку UE-Internet він збирає сегменти фізичного рівня в IP-пакети та пересилає їх (через тунель GTP/UDP/IP) до рівня користувача вгорі Mobile Core. Крім того, на основі спостережень за якістю бездротового каналу та політикою для кожного абонента, він вирішує, чи слід (a) пересилати вихідні пакети безпосередньо до UE, (b) опосередковано пересилати пакети до UE через сусідню базову станцію, або (c) використовувати кілька шляхів для досягнення UE. Третій випадок має можливість розподілу фізичних корисних навантажень між декількома базовими станціями або кількома несучими частотами однієї базової станції (включаючи Wi-Fi).

Слід зазначити, що планування є складним і багатогранним, навіть якщо розглядати його як локалізоване рішення на одній базовій станції. Отже, існує також глобальний елемент, за допомогою якого можна перенаправляти трафік на іншу базову станцію (або на кілька базових станцій), намагаючись ефективно використовувати радіочастот у більшій географічній зоні.

Іншими словами, мережа RAN в цілому (тобто не лише окрема базова станція) підтримує не тільки передачу послуг (очевидна вимога для мобільності), але також агрегацію каналів і балансування навантаження, механізми, знайомі кожному.

3.2. Поточний стан розвитку мереж зв'язку в Україні

Перш ніж проаналізувати перспективи впровадження 5G в Україні, треба зрозуміти поточний стан речей через призму розвитку мереж 4G. Відправна точка історії – наказ Петра Порошенка від 23 липня 2015 року, в якому президент доручив національному телеком-регулятору (НКРЗІ) розробити план впровадження 4G. Тоді в Україні ледве почала роботу мережа 3G.

Основна складність, як і в світовому досвіді, складалася в конверсії або переділі частот. Крім військових, придатними сегментами спектра також розпоряджалися поточні оператори і представники аналогового телебачення. Радіочастотний ресурс був порізаний різними власниками. Але для стабільного покриття операторам мобільного зв'язку були потрібні суцільні смуги – від 10 МГц. Потрібно було здати частоти в «загальний казан» заради запуску нової технології.

Для «великої трійки» українського телекому («Київстар», lifecell, Vodafone) це означало капітальні інвестиції. Справа в тому, що в Україні не працює принцип технологічної нейтральності, за яким оператори могли б самостійно розпоряджатися наявними частотами. Законопроект, який запроваджує технологічну нейтральність, так і не дійшов до голосування у Верховній Раді. Тому простого переділу частот було

недостатньо. Щоб запускати на них новий стандарт зв'язку, були потрібні ліцензії. Їх отримання проходило в ході спеціального аукціону.

Саме з цим в подальшому були пов'язані затримки із запуском навіть 3G в таких облцентрах, як Житомир, де зв'язок третього покоління з'явилася тільки в липні 2017 року. Щоб розібратися в клаптиків ковдрі українського радіочастотного спектру, робоча група з 7 операторів («Київстар», Vodafone, lifecell, «Інтернаціональні телекомунікації», Датагруп, «Інтелектуальні комунікації» (Giraffe) і «Перший інвестиційний союз») запросила британську компанію Analysys Mason.

Найпопулярнішим діапазоном під LTE є 1800 МГц. В Україні ці частоти використовують оператори «великої трійки» – Київстар, «Vodafone Україна» і lifecell – під мобільний зв'язок GSM, голосовий і мобільний трафік GPRS і EDGE. При цьому, частоти між операторами розподілені нерівномірно. Більше половини спектру в цих діапазонах контролював «Київстар», завдяки поглинанню Beeline і «Голден Телеком». Але, виходячи з норм чинного закону «Про телекомунікації», найбільший оператор не міг взяти і включити на цих частотах 4G. Для цього потрібно було отримати відповідну ліцензію.

Конверсія в діапазоні 2600 МГц взагалі супроводжувалася фінансовим скандалом. Частина своїх частот, ділянку в 80 МГц, погодилася повернути в державне користування компанія Ріната Ахметова «ММДС-Україна». Ліцензія на потрібні частоти фірма отримала без тендеру ще в 2010 році. До початку 2018 року «ММДС-Україна» віддала за їх використання всього 3,4 млн грн. В обмін на добровільну конверсію, компанія претендувала на компенсацію – аж до 25% від плати за видачу ліцензій в діапазоні 2600 МГц. Сума відрахувань визначилася в ході відповідного аукціону, який пройшов в січні 2018 року.

Аукціон за ліцензії на користування частотами в діапазоні 1800 МГц пройшов в березні 2018р. Ставки були вже зовсім іншими – сумарно оператори виклали понад

5,4 млрд. Найбільше тоді витратив «Київстар», отримавши три лоти за 2,837 млрд і найбільшу кількість частот.

На технічне переобладнання і підготовку пішли ще кілька місяців. Дебют 4G в Україні відбувся в квітні 2018 року. Зважаючи на специфіку мережі, всі три оператори провели обмежений запуск: LTE заробив в обласних центрах, на курортах і пунктах перетину кордонів.

Комерційний запуск «коврового» 4G на частоті 1800 МГц пройшов на початку липня 2018 року. Завдяки технічним характеристикам спектру і наявності більшої кількості обладнання, це значно збільшило зону покриття. Формальні вимоги зобов'язують українських мобільних операторів в перший рік після запуску 4G на частоті 1800 МГц забезпечити доступ до інтернету не менше 90% населення кожного обласного центру. У 2021 році аналогічний рівень проникнення вже був в кожному місті з населенням понад 10 000.

З початком впровадження 4G в Україні оператори отримали ліцензії на стандарт LTE на частотах 1800 МГц та 2600 МГц, а 2020 року ще й на частоту 900 МГц. Таким чином, з другої половини 2020 року LTE в Україні працює на частотах 900, 1800 і 2600 МГц. 4G у нашій країні працює у дуплексному режимі FDD.

Базові станції на частоті 900 МГц (LTE-900) мають радіус дії близько 26 км і можуть покривати досить великі території з відносно невеликою густиною користувачів. Тому такі станції встановлюють у сільській місцевості, вздовж трас національного та місцевого значення, де потрібно охопити великі площі, але на яких кількість користувачів набагато менша, ніж у великих містах.

Базові станції, що працюють на частоті 1800 МГц (LTE-1800) встановлюються як у сільській місцевості, так і в невеликих та великих містах. Така базова станція має зону охоплення 13,5 км і досить велику ємність, щоб підключити одночасно велику кількість користувачів як у невеликому населеному пункті, так і в місті мільйоннику.

Базові станції на частоті 2600 МГц (LTE-2600) мають невеликий радіус дії (до 2,5-3 км) але найбільшу ємність. Тому їх встановлюють у великих містах із великою концентрацією користувачів.

Залежно від технології, національні оператори мобільного зв'язку працюють на наступних частотах:

Таблиця 3.1.

Розподіл частот між операторами телекомунікацій та технологіями, МГц

Технологія (частота, МГц)	Київстар	Vodafone Україна	Lifecell
GSM (900)	Так	Так	Так
E-GSM (900)	Так		
UMTS (2000)	Так	Так	Так
LTE (2600)	Так	Так	Так
LTE/GSM (1800)	Так	Так	Так
CDMA (800-900)			Так

Як видно з таблиці, зараз 4G працює в Україні на частоті 1 800 МГц і 2 600 МГц, втім, більш ефективною для роботи технології є частота 900 МГц. Однак повноцінному функціонуванню 4G на цій частоті заважає робота в даному діапазоні в Україні CDMA-операторів.

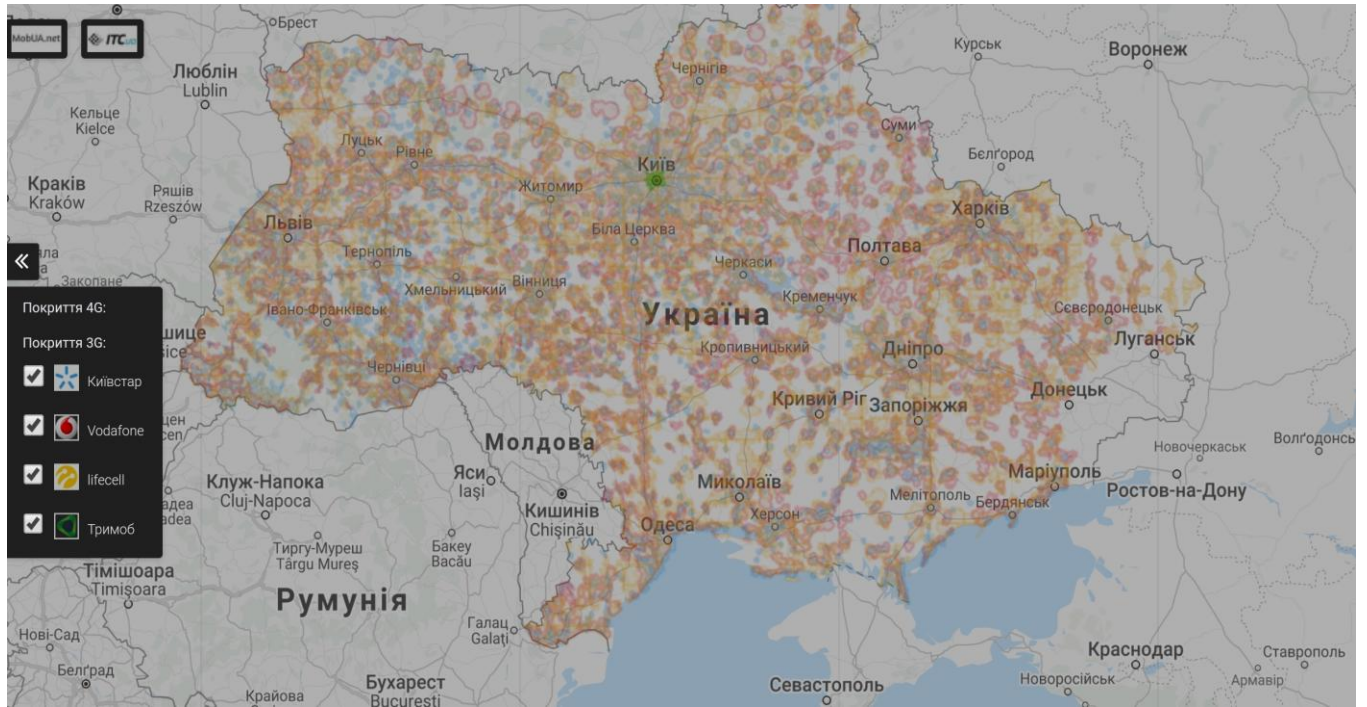


Рис.3.8. Карта покриття 3G операторів в Україні

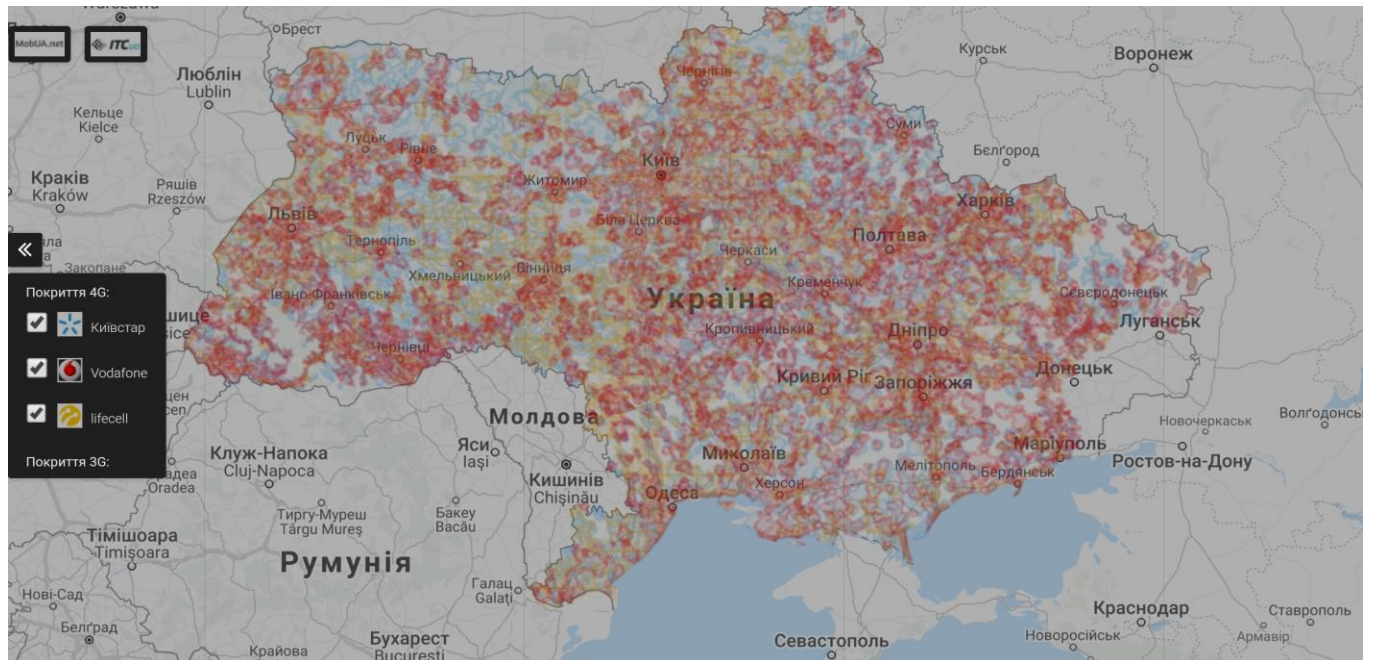


Рис.3.9. Карта покриття 4G операторів в Україні

Судячи за картою мобільного покриття, ці завдання українські оператори успішно виконують. Сукупно в країні діють близько 10 000 базових станцій з підтримкою 4G. Про те, скільки відсотків населення мають доступ до високосортного мобільного інтернету, інформація різниться. За спільною згодою операторів, це від 40% до 55% українців. Однак рахунок користувачів 4G поки йде на мільйони, а не десятки мільйонів.

3.3. Перспективи впровадження мереж 5G в Україні

На засіданні 11 листопада 2020р. Кабінет міністрів затвердив план заходів щодо впровадження в Україні системи мобільного зв'язку 5G, згідно з яким оголошення тендера на видачу ліцензій на користування радіочастотним ресурсом (КЧР) з використанням 5G повинен відбудеться в жовтні 2021 року. 18 листопада був затверджений план вивільнення частот для поширення 5G. План передбачав вивільнення смуг радіочастот, діапазони яких займає телебачення, для впровадження радіотехнології LTE в діапазонах 790 - 862 МГц, 694 - 790 МГц. Зараз на цих частотах працює українське телебачення. Схвалений план передбачає вивільнення частот компаніями і налаштування обладнання на більш низькі діапазони компаніями "Зеонбуд" і ТРК "Ефір". Вивільнення частот не завадить роботі телебачення, адже воно буде працювати в нижчих діапазонах.

Початок розгортання мережі 5G планувався з 2022 року в найбільших населених пунктах. Але російсько-українська війна скоригувала плани як держави, так і операторів зв'язку. До закінчення воєнного стану мобільні оператори безкоштовно користуються радіочастотами 2350-2400 МГц та 2575-2610 МГц.

Водночас з цим має місце навмисне зниження цін на радіочастоти, яке може мати руйнівні наслідки для бюджету України. У жовтні 2022р. був зареєстрований проект урядової постанови, розроблений Нацкомісією, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання

послуг поштового зв'язку (НКЕК). Ним передбачається, з одного боку, збільшення плати за видачу ліцензії на користування радіочастотним спектром – приблизно на 10%. З іншої сторони, постанова пропонує оплату видачі ліцензій на користування радіочастотами 2350-2400 МГц та 2575-2610 МГц. Саме ці частоти використовуються у великих містах для покриття місць великої концентрації людей, щоб забезпечити високу швидкість мобільного інтернету. Вони можуть бути використані як для 4G-зв'язку, так і для 5G-зв'язку, що робить їх дуже цінними для мобільних операторів.

Згідно з документом, який розробляє НКЕК, вартість 1 МГц для кожного регіону України (24 області, АРК, Київ та Севастополь) радіочастот 2350-2400 МГц становить 984,86 тис грн (1,329 млрд грн за всі 50 МГц), а 2575-2610 МГц – 1,059 млн грн (1 млрд грн за 35 МГц).

За даними видання «Українська правда», на перші претендують "Київстар" та "Лайфселл", а на другі – "Водафон Україна".

Разом із тим, після низки публічних обговорень вартість радіочастоти 2575-2610 МГц зменшили на 43%. У редакції від 10 жовтня 2022 р. поданого до Державної регуляторної служби документа ціна 1 МГц вже становить 605,72 тис грн. У стільки ці радіочастоти оцінила британська консалтингова компанія Analysys Mason на замовлення "Водафон Україна", який і претендує на радіочастоти 2575-2610 МГц. Тобто у випадку продажу за ліцензію на користування ними до держбюджету надійде 572,4 млн грн, замість 1 млрд грн.

На початку російської агресії відбулась масова міграція абонентів, що спричинило істотне перевантаження мереж мобільних операторів. Виникла термінова потреба у стабілізації зв'язку, розширенні пропускну здатності каналів, які є в розпорядженні операторів каналів, в тому числі і для технологій 4G.

У НКЕК наголошують на тому, що організувати процедуру продажу частот у обмежені терміни неможливо. Тому Національним центром управління мережами

телекомунікацій за узгодженням з НКЕК було надано вільні частоти у користування операторам мобільного зв'язку для термінового збільшення ємності їхніх мереж.

Тому постає актуальним питання щодо доцільності продажу радіочастот до завершення війни або відміни воєнного стану. Адже без впливу фактору війни реалізація частот могла б відбутись за значно вищою ціною. За заявою НКЕК, це ініціатива операторів. Втім, ані Vodafone, ані Київстар не надали жодної публічної інформації про продаж частот, а Lifecell звернувся з критикою цього рішення.

"Lifecell вважає комерційне розподілення радіочастотного спектра під час війни недоцільним та таким, що шкодить інтересам держави, суспільства та споживачів. На фоні руйнації інфраструктури операторів, складного економічного становища компаній та України в цілому неможливо розподілити спектр у прозорий та справедливий по відношенню до всіх операторів спосіб. «Дії, які ми бачимо, можуть свідчити про спробу розподілити цінний радіочастотний спектр, у якому можливе запровадження 4G та 5G, без аукціону чи конкурсу, за заниженою ціною. У результаті державний бюджет може недоотримати від 760 млн грн до 2,8 млрд грн і більше порівняно з прозорою купівлею спектру за результатами тендеру після завершення війни», – відповіли в компанії "Лайфселл".

Продаж частот планують на початок 2023р. Тобто, у випадку продажу радіочастоти 2575-2610 МГц державний бюджет, дефіцит якого у 2023 році офіційно становимите 1,3 трлн грн недоотримає 428 млн грн.

Але корупція у тендерних закупівлях зараз не є основною перепорою для впровадження мереж 5G в Україні. З 10 жовтня 2022 р. ракетні обстріли Російською Федерацією стратегічних об'єктів нашої держави набули систематичного характеру. Окрім того, що без електропостачання кожного дня залишаються сотні тисяч, а то й мільйони громадян, страждає такж вже звичний для нас мобільний зв'язок. Оскільки станом на кінець листопада 2022р. ситуація із забезпеченням електропостачання не покращується, оператори мобільного зв'язку починають

готуватись до найгірших сценаріїв. Так, президент компанії Київстар Олександр Комаров заявив, що «через надмірні навантаження зв'язок із локального може перетворитися на місцевий».

Коли знеструмлюються цілі регіони, мільйони людей переходять на мобільний зв'язок та інтернет. Мережа не витримує такого навантаження, звідси й виникають перебої.

Комаров прогнозує, що у випадку продовження атак на енергосистему України покриття перестане працювати у звичному режимі. У деяких містечках зв'язок може зникати повністю, у великих обласних центрах та у столиці зв'язок може бути лише в окремих районах. З такими проблемами зіткнулись не лише абоненти Київстар, але й інших мобільних операторів. Втім, у Київстар продовжують вірити у краще, та не вважають, що є ризик того, що мобільний зв'язок повністю зникне.

Проте станом на листопад 2022 р. саме так відбувається у столиці після відключення електричної енергії. Зв'язок є, але покриття не працює на все місто. Аналогічні перебої зафіксовані на 30% території України.

Після останніх атаки Росії української енергосистеми найуразливішими стали Київська, Харківська, Львівська та Полтавська області. Тут і зареєстровано найбільше скарг на покриття. Мешканці західних регіонів також страждають. На Закарпатті є проблеми із 3G та 4G інтернетом. Причина та сама — перенавантаження через вимкнення електрики.

Тому перспективи впровадження мереж 5G в Україні наразі менш оптимістичні, ніж ще рік тому. Серед основних факторів, які роблять прогнози по розвитку мереж п'ятого покоління негативними, можна назвати високий рівень корупції всередині держави на фоні російського вторгнення в Україну. Втім, основні гравці ринку накопичили достатньо ресурсів для впровадження технології, що є темою дослідження роботи. Тому є всі підстави очікувати впровадження мереж 5G по всій території України після закінчення воєнного стану.

ВИСНОВКИ

Розвиток мереж 5G викликаний низкою факторів, серед яких:

- поширення пристроїв для створення та перегляду контенту (смартфонів, ноутбуків, цифрового телебачення);
- необхідність у збільшенні кількості підключень без втрати їхньої швидкості (а навпаки прискорення);
- потреба вписати нове 5G обладнання в міський ландшафт;
- стимуляція розвитку об'єднаних систем пристроїв.

Перші кроки на шляху впровадження 5G стали реальними завдяки вже існуючому обладнанню та вивільненню частот для мереж нового покоління. Але їхній майбутній розвиток неможливий без розвитку діапазону міліметрових, коротких хвиль, які досить легко інтегруються в концепцію сучасних міст. Отже, розвиток мереж 5G неухильно пов'язаний з розвитком мегаполісів, а отже, із державною політикою в сфері будівництва міст.

Оскільки розвиток 5G неможливий без державного регулювання, високою залишається залежність кількості 5G-пристроїв, що використовуються на території країни, та її фінансовими показниками. Країни, що розвиваються, знаходяться в другому ешелоні, у той час як економічні гіганти на кшталт Сполучених Штатів Америки, Південної Кореї, Саудівської Аравії, Китаю вже побудували користувацькі та промислові мережі. А економічні війни між США та Китаєм, які закінчились пакетом санкцій для компанії Huawei, надали поштовху для розвитку таких виробників мережевого обладнання, як Nokia, Ericsson та Samsung. Якщо для перших двох компаній це шанс вийти з тіні після того, як ними було втрачено лідерство в продажах мобільних телефонів, то для південнокорейського гіганта це можливість отримати доступ до найсучасніших розробок, які, до того ж, можна інтегрувати у смартфони, які є лідерами в продажах.

Україна вже зробила безліч кроків, щоб наблизитись принаймні до європейського досвіду – мережі 4G стали нормою для великих міст. У той самий час, російське вторгнення значно скоригувало плани як державних інституцій, так і компаній, що забезпечують мобільний зв'язок в Україні, на плани щодо впровадження 5G. При цьому, окрім об'єктивних економічних причин, місце має фактор корупції в органах державної влади. Також ситуація з якістю мобільного зв'язку в цілому є важко прогнозованою у контексті ракетних ударів Російської Федерації по об'єктах інфраструктури.

