

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Дослідження умов розповсюдження телекомунікаційного зв'язку
за технологією 5G»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Демчук В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Химич Г.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Яворська Є.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра Радіотехнічних систем
Освітній ступінь Магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Демчук В. І.
17 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Демчук Володимир Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження умов розповсюдження телекомунікаційного зв'язку за технологією 5G»

Керівник проекту (роботи) старший викладач кафедри РТ Химич Г. П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «30» листопада 2021 року №17-1019

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 6 грудня 2021 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) частоти: фреквенції - 760 - 960 МГц
(4 - 3,6) ГГц (1500 - 1850) МГц, К, Ч - 2,7) ГГц
ширина каналу зв'язку - (50 - 100) МГц
швидкість передачі інформації - ≤ 10 Гбіт/сек

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

Розділ 1. Аналітична частина
Розділ 2. Основна частина
Розділ 3. Науково-дослідна частина
Розділ 4. Особлива частина та висновки в науково-технічній ситуації

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Активність тем. Мета, завдання, предмет та об'єкт дослідження
Основні аспекти технології 5G. Порівняння основних параметрів технологій
сублінійного зв'язку. Прогнозування застосування в галузі телекомунікацій 5G
застосування технології MIMO в 5G. Опис процесу передачі інформації LTE-5G
5G - Office - найважливіший параметр 5G. Сервіс Non-RTT як частина 5G
Перелік та особливості спільних ліній 5G. Напрямок 5G. Ресурси

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження умов розповсюдження телекомунікаційного зв'язку за технологією 5G» // Дипломна робота // Демчук Володимир Володимирович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2021 // с. – 77, рис. - 42 , табл. - 4 , додат. - 1, бібліогр. - 52.

Ключові слова: МЕРЕЖА, МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЧАСТОТА, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, 5G, ЗОНА ПОКРИТТЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ.

У роботі проводилось дослідження умов розповсюдження та електромагнітної сумісності мобільного зв'язку 5G.

Проаналізовано стандарти бездротової передачі даних (1G, 2G, 3G, 4G, 5G). Йдеться про ключові показники про стандарт і технологію 5G, розкрито вимоги різних форматів до трансляції відео, Sky Office - найважливіший продукт 5G, віртуальна та доповнена реальність, а також описані безпілотні літальні апарати (БПЛА), котрі використовують 5G. Визначено удосконалення та перехід від LTE до 5G, аналіз зони покриття мережі 5G.

Проаналізовано спектр високосмугового 5G, також інфраструктура та передача даних, проведено супутники для покриття мережі 5G. Визначено позитивний вплив на довкілля та потенційно негативний вплив 5G на навколишнє середовище.

Описано забезпечення електробезпеки користувачів ПК. Проведення державного нагляду за охороною праці. Види та основні параметри проведення наглядових заходів.

ANNOTATION

Theme of qualification work: "Research of conditions of distribution of telecommunication communication on 5G technology" // Thesis // Demchuk Volodymyr Volodymyrovych // Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RRM-61 // Ternopil, 2021 // p. - 77, fig. - 42, table. - 4, appendix. - 1, bibliogr. - 52.

Key words: NETWORK, MOBILE COMMUNICATION, FREQUENCY, CAPACITY, 5G, COVER ZONE, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY.

The study of the conditions of propagation and electromagnetic compatibility of 5G mobile communication was carried out.

Wireless data transmission standards (1G, 2G, 3G, 4G, 5G) are analyzed. These include key indicators of the 5G standard and technology, the requirements of various formats for video broadcasting, Sky Office - the most important 5G product, virtual and augmented reality, as well as described unmanned aerial vehicles (UAVs) that use 5G. Improvements and transition from LTE to 5G, analysis of the 5G network coverage area are determined.

The spectrum of high-bandwidth 5G, as well as infrastructure and data transmission, satellites for 5G network coverage were analyzed. The positive impact on the environment and potentially negative impact of 5G on the environment have been identified.

The electrical safety of PC users is described. Conducting state supervision over labor protection. Types and main parameters of supervisory activities.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1. Стандарти бездротової передачі даних (1G, 2G, 3G, 4G, 5G)	11
1.2. Висновок до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	17
2.1. Ключові показники про стандарт і технологію 5G	17
2.1.1. Частота і пропускна здатність	17
2.1.2. Стандарти NB-IoT та eMTC для mMTC	21
2.1.3. 5G для URLLC й eMBB	21
2.2. Вимоги різних форматів до трансляції відео	22
2.3. Sky Office -найважливіший продукт 5G.....	24
2.4. Віртуальна та доповнена реальність	26
2.5. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), котрі використовують 5G... ..	29
2.6. Інфраструктура C-V2X.....	32
2.7. Удосконалення та перехід від LTE до 5G	34
2.8. Аналіз зони покриття мережі 5G.....	38
2.9. Висновок до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	45
3.1. Спектр високосмугового 5G	45
3.2. Інфраструктура та передача даних.....	46
3.3. Супутники для покриття мережі 5G	47
3.4. Мережа 5G і позитивний вплив на довкілля.....	48
3.5. Потенційно негативний вплив 5G на навколишнє середовище.....	51
3.6. Висновок до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1. Забезпечення електробезпеки користувачів ПК.....	55

4.2. Класи виробничих та складських приміщень по вибуховій та пожежній небезпеці. Вогнестійкість будівельних конструкцій і матеріалів	60
4.3. Висновок до розділу 4	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ.....	73
Додаток А. Теза конференції	74

ВСТУП

Актуальність. 5G, розгортання якого почалося в 2016 році, забезпечує розширений широкопasmовий доступ для мобільних телефонів, до периферійних пристроїв внутрішнього і зовнішнього зв'язку, які є надшвидким і надійним та інформаційним, а також власний зв'язок між машинами. Він є в 100 разів швидший, ніж технологія 4G. Але крім швидкості та підключення, 5G також має наднизьку затримку (0,1-10мс) — затримка — це будь-яка затримка зв'язку — і в 1000 разів більшу ємність, оскільки вона включає нові вищі частотні спектри. Це в кінцевому підсумку робить бездротовий широкопasmовий Інтернет можливим скрізь, від розумних автомобілів до Інтернету речей (IoT), який може підключати всі види пристроїв і датчиків через Інтернет і дозволяти їм спілкуватися без участі людини.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є аналіз технології 5G на предмет: швидкодії, частотних спектрів, надійної роботи в різних кліматичних зонах, рівні потужностей електромагнітних покриттів, доступність, можливість використання віртуальної реальності та відеотехнічних пристроїв з системами інтелектуального детектування, Smart датчики і сенсори, керування IoT дiвайсами. Основи аналізу ґрунтуються на наукових доповідях, статтях, семінарах та результатах інженерних досліджень провідних міжнародних спеціалізованих фірм та науково-технічних організацій.

Об'єкт дослідження. Спроектвані за технологією 5G мобільні мережі наземного та супутникового сегменту. Аналіз впровадження мереж в окремих країнах та їх дослідження технічних характеристик на основі технічних публікацій. Систематизування частотних діапазонів у відповідності до графіків їх розповсюдження у різних кліматичних зонах.

Предмет дослідження. Робочі частотні спектри згідно міжнародних рекомендацій та стандартів з можливістю оптимізації задекларованих частотних смуг для створення максимальних рівнів швидкодії мінімального поглинання в атмосферних потоках, максимальної завадостійкості та достовірності передачі інформації.

Методи дослідження. Виконувалась систематизація інформації з різних джерел, аналіз та дослідження технічних вимог до складових частин мережі 5G (антенні системи типу MIMO).

Наукова новизна одержаних результатів. Отримані результати на основі досліджень та аналізу, які становлять наукову новизну в процесі виконання роботи, а саме:

- порівняльний аналіз існуючих технологій мобільного стільникового, телекомунікаційного зв'язку та новостворених супутникових мереж (фірма Starlink);
- дослідження можливості надійної роботоздатності мобільного бездротового зв'язку в змінних кліматичних зонах різного частотного спектру;
- на основі графіків залежності частотних спектрів від атмосферного покриву, створені рекомендації по використанні заявлених виробниками технології 5G в реальних кліматичних зонах.

Практичне значення одержаних результатів. Вирішення проблемних питань, які впливають на якість, швидкодію, електромагнітну сумісність та мінімальну завадостійкість з суміжними телекомунікаційними системами зв'язку, управління та передачі даних, мінімальні втрати за рахунок температурної та атмосферної нестабільності, на рівні густини потоків випромінювання у відповідності до санітарних міжнародних норм. А також розглянуті умови існування та спряження суміжних мобільних стільникових мереж нижчого рівня (2-4G) на можливість впровадження нових видів сервісів (віртуальна реальність, інтелектуальний аналіз стану частин мережі, обмін інформацією M2M.)

Публікації. Апробація та оприлюднення результатів досліджень відбулось на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ” Актуальні задачі сучасних технологій ” 24-25 листопада 2021, збірник тез доповідей.

Структура роботи. Магістерська робота складається із вступу, 4 частин, висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг роботи: аналіз та ознайомлення - 71 аркуш. Формат А4 та додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Стандарти бездротової передачі даних (1G, 2G, 3G, 4G, 5G)

Усі мережі першого стандарту стільникового зв'язку 1G були аналоговими і могли передавати лише один звуковий сигнал. Перші мобільні телефони та мережі з їх підтримкою з'явилися в США і Канаді, а трохи пізніше їх аналоги були розроблені в країнах Європи. Частота цих мереж коливалася від 120 до 900 МГц.

Розроблений у 1992 році стандарт 2G використовував цифрову передачу даних. Передача тексту стала можливою. Для передачі інформації використовувалися протоколи GPRS* (до 53,6 Кбіт/с) або EDGE ** (до 200 Кбіт/с), залежно від оператора та технічного оснащення його мережі. За сьогоднішніми мірками це дуже повільно. Повноцінний сайт 2G, який не «тягнули», мав використовувати «полегшені» WAP-сайти [31].



Рис. 1.1. GPRS - доповнення до технології стільникового телефону GSM

1G був аналоговим стільниковим. Технології 2G, такі як CDMA, GSM і TDMA, були першим поколінням цифрових стільникових технологій.

Технології 3G, такі як EVDO, HSPA і UMTS, підвищили швидкість від 200 кбіт/с до кількох мегабіт на секунду.

Мобільні телефони поколінь 2G, 3G, 4G, 5G передають дані в цифровому вигляді, модулюючи голос у вигляді нулів та одиниць. Стільниковий модем телефону трансформує ці нулі та одиниці у сплески електромагнітної активності у вигляді радіохвиль. Кожен такий сплеск поширюється у формі сфери від телефону поки сигнал не згасне. Десь на цьому шляху сигнал натрапляє на базову станцію, яка сприймає його.

Друге покоління мобільного зв'язку (2G) було адаптоване для передачі голосу. Згодом стало зрозуміло, що майбутнє за інтернетом та передачею даних. У мережах 4G дані повністю витіснили голос, саме тому при дзвінку ваш телефон переходить у мережу 4G. Згодом стало зрозуміло, що це не зручно і розробили технологію 4G VoLTE, яка передає голос в мережі 4G. Однак не всі мобільні оператори її впровадили.

Радіозв'язок має фундаментальну особливість: висока швидкість передачі означає зменшений радіус покриття. Велике покриття автоматично означає зменшену швидкість передачі.

У 2000 році з'явився 3G - стандарт стільникового зв'язку під назвою UMTS. Це дозволило розвинути швидкість передачі даних до 384 кбіт/с. Пізніше були розроблені HSDPA і HSDPA + - оновлення до стандарту 3.5G, що дозволило досягти 7,2 Мбіт / с і 42 Мбіт / с відповідно.

* GPRS - доповнення до технології стільникового телефону GSM, що дозволяє передавати пакетні дані. Виставлення рахунків базувалося на кількості отриманих і надісланих даних;

** EDGE - технологія цифрової бездротової передачі даних, яка працює в деяких мережах 2G і 2.5G, плата так само, як і GPRS.

Технології 4G, такі як WiMAX і LTE, були наступним несумісним стрибком вперед, і тепер вони розширюються до сотень мегабіт і навіть швидкостей гігабітного рівня [28].

Таблиця 1.1

Порівняння основних параметрів технологій

Параметри/стандарт	4G	5G	6G
Використовувані частоти радіосигналу, ГГц	6	20-300	20-300
Максимальна швидкість, Гб/сек	1	10-35	1000
Час затримки	20-30 мс	до 10 мс	менш ніж 100 мкс
Кількість підключень на 1 км ²	до 100 тис. пристроїв	до 1 млн пристроїв	поки невідомо
Максимальна швидкість переміщення без втрати сигналу, км/год	до 120	до 350	поки невідомо

5G пропонує три нові аспекти: більші канали (щоб прискорити передачу даних), меншу затримку (для більшої швидкості реагування) і можливість підключати набагато більше пристроїв одночасно (для датчиків і розумних пристроїв).

Це не чистий розрив з 4G. Усі телефони 5G потребують мережі 4G та покриття. Спочатку всі мережі 5G використовували 4G для встановлення своїх початкових з'єднань, що називається «неавтономними». Зараз ми починаємо відходити від цього до «окремих» мереж, але вони втрачають значну продуктивність без допомоги 4G. Частина специфікації 5G дозволяє телефонам 5G поєднувати канали 5G і 4G непомітно і легко для користувача. Таким чином, більшість з'єднань будуть комбінованими каналами 4G/5G протягом досить тривалого часу.

Цей симбіоз між 4G та 5G привів до того, що AT&T надто захоплюється своєю мережею 4G. Оператор почав називати свою мережу 4G «5G Evolution», тому що він вважає вдосконалення 4G важливим кроком до 5G. Це правильно, звичайно. Але формулювання розроблено, щоб збити з пантелику менш обізнаних споживачів, щоб вони думали, що 5G Evolution є 5G, хоча це не так.

У той час як 2G і 3G скоро зникнуть, 4G має багато років попереду як частина рівняння 5G. Низький, середній і високий [38].



Рис. 1.2. Стандарти стільникового зв'язку

5G надає операторам більше можливостей з точки зору ефірних хвиль, ніж 4G. Найпримітніше, це відкриває «високодіапазонні» радіохвилі короткої дії, які не працювали з технологією 4G. Але 5G може працювати на будь-якій частоті, що призводить до трьох дуже різних видів 5G — низької, середньої та високої.

Тут важливо розуміти, що 5G не набагато швидше, ніж 4G на тих же старих радіоканалах. Натомість специфікація 5G дозволяє телефонам використовувати набагато ширші канали в більш широкому діапазоні частот. Проте оператори та FCC повинні зробити ці ширші канали доступними, і ось тут вони значною мірою не досягли успіху [40].

З 4G ви можете об'єднати до семи каналів з частотою 20 МГц, щоб використовувати загальний спектр 140 МГц. Однак у більшості випадків телефони використовують частоту 60 МГц або менше.

З новими телефонами в низькому та середньому діапазоні 5G ви можете об'єднати два канали 100 МГц для використання 200 МГц і додати ще кілька каналів 20 МГц 4G. У високосмуговому 5G можна використовувати до восьми каналів 100 МГц. Але якщо у вас немає доступних радіохвиль, ви не отримаєте швидкості.

Оператори також можуть гнучко обмінюватися каналами між 4G і 5G за допомогою динамічного спільного використання спектру (DSS). DSS робить стіни між каналами 4G і 5G рухомими, тому оператори можуть розділяти

канали між 4G і 5G залежно від потреби. Це те, що Verizon використовує для свого «національного» 5G. Це не звільняє жодних нових ефірних хвиль для 5G — він просто повторно використовує шанси й межі 4G — тому ми не бачили, що DSS 5G пропонує набагато кращу продуктивність, ніж 4G.

Низькодіапазонний 5G працює на частотах нижче 2 ГГц. Це найстаріші стільникові та телевізійні частоти. Вони проходять великі відстані, але доступні не дуже широкі канали, і багато з цих каналів використовуються для 4G. Тому низькосмуговий 5G працює повільно. Наразі він діє і відчуває себе як 4G. Низькосмугові канали 5G мають ширину від 5 МГц (для AT&T) до 20 МГц (для T-Mobile), тому ви можете побачити, що вони не просторіші за 4G.

Що ускладнює те, що низькосмугові телефони AT&T і T-Mobile іноді показують піктограми 5G, коли вони навіть не використовують 5G, що ускладнює різницю.

Середньосмуговий 5G знаходиться в діапазоні 2–10 ГГц. Це охоплює більшість поточних частот стільникового зв'язку та Wi-Fi, а також частоти трохи вище. Ці мережі мають пристойний діапазон від своїх опор, часто близько півмилі, тому в більшості інших країн саме ці мережі несуть більшість трафіку 5G. Більшість інших країн запропонували близько 100 МГц кожному зі своїх операторів для середнього діапазону 5G. Тут, у США, мережа 5G T-Mobile із «надзвичайною ємністю» працює на каналах середньої частоти до 100 МГц. AT&T і Verizon щойно придбали спектр С-діапазону від 3,7 до 4 ГГц, який вони почнуть впроваджувати в кінці 2021 року.

Високосмуговий 5G або міліметрові хвилі — це дійсно новий матеріал. Поки що це переважно ефірні хвилі в діапазоні 20-100 ГГц. Ці ефірні хвилі раніше не використовувалися для споживчих додатків. Вони дуже короткі; тести показали близько 240м відстані від веж. Але там є величезна кількість невикористаного спектру, що означає дуже високі швидкості з використанням до 800 МГц за раз [25].

1.2. Висновок до розділу 1

Розвиток комунікаційних стандартів є однією з вирішальних процесів у нашому прогресі. Це пояснюється тим, що швидкість і надійність обміну даними залежить від можливостей усіх автоматизованих систем. Інтернет речей, безпілотні транспортні засоби, хмарні сервіси майбутнього, кращі ліки, розумні будинки та міста – все це стане ближче з впровадженням 5G.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Ключові показники про стандарт і технологію 5G

2.1.1. Частота і пропускна здатність

Специфікація 3GPP TS 38.211 V1.2.0 (2017-11) визначила нові діапазони радіочастот для 5G, як показано в таблиці 2.1, і розділила їх на два блоки: FR1 (частоти до 6 ГГц або суб6G) і FR2 (частоти вище 6 ГГц або mmWave) . Робота в діапазонах вищих частот усуває різні перешкоди в мережі, які заважають передачі даних. Крім того, чим вище частота, тим вище пропускна здатність, і пропускна здатність каналу безпосередньо залежить від цього. Для блоку FR1 допустима ширина радіоканалу – до 100 МГц, залежно від СКС (відстань між піднесучими - варіант відстані між радіочастотами та піднесучими), і 50-400 МГц для Блок FR2. Це на відміну від мереж LTE, які приймають лише канали на частотах 1,4, 3, 5, 10, 15 і 20 МГц. А коли ви поєднуєте ширину каналу з агрегацією частот (CA), ви можете досягти спектру 2 ГГц або більше для одного з'єднання [41].

Таблиця 2.1

Частотні діапазони для мереж 5G

Блок радіочастот	Радіочастотний діапазон
FR1	450–6 000 МГц
FR2	24250–52600 МГц

Формування променя за допомогою антен MIMO не є новою концепцією і вже існує як AAS (Active Antenna System) на ринку мобільного зв'язку. Антена AAS-MIMO, встановлена на щоглі, розділяє зону покриття на

статичні осередки, таким чином збільшуючи ефективність використання спектру та кількість каналів (Рис. 2.1). Проте сучасні перевантажені мережі вимагають динамічного цифрового формування променів для максимального підвищення ефективності використання спектру [13].

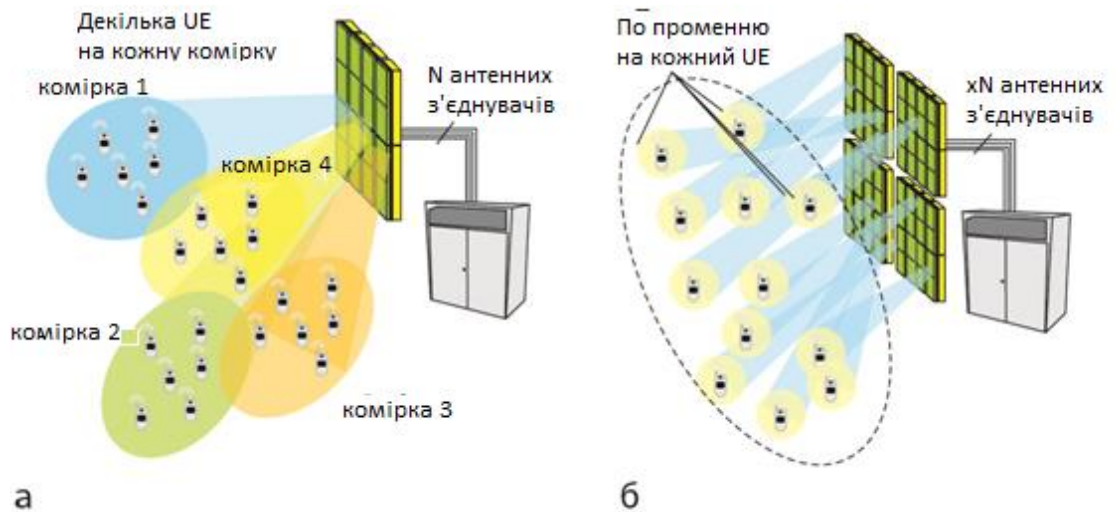


Рис. 2.1. Формуванню променя випромінювання у
а) антени 2D MIMO; б) антена Massive MIMO

Застосування концепції міліметрової хвилі FR2 для антен MIMO є ще більш цікавим, оскільки міліметрові хвилі мають хороший спрямований ефект за рахунок збільшення кількості елементів антени на антену. Ряд таких антенних елементів (256 і більше) можна об'єднати в т. зв Міцна антена MIMO. Контролюючи фазу і амплітуду сигналів, така антена здатна динамічно генерувати багато сильних і різких променів на певних користувачів. Отже, завдяки Massive MIMO ми отримуємо:

- сильний сигнал на виході з UE;
- сильний сигнал/шум у бік UE;
- відсутність перешкод між клітинами;
- значне збільшення кількості каналів зв'язку на клітинку [17].

Таким чином, технологія MIMO пропонує різні можливості в діапазонах Sub6G і mmWave, як показано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

MIMO в діапазонах Sub6g та mmWave

	Sub6G	mmWave
Порядок MIMO	до 8×8	2×2
Можливості	Статичне багатокористувацьке просторове мультиплексування	Динамічне формування променя для одного користувача
Характеристика	Багатопротенева, ідеальна для просторового мультиплексування. Розширене покриття, покриття всередині приміщень	Поділ прямої видимості. Масивні надширокосмугові з'єднання.

Технологія SRS (Sounding Reference Signal), відома з 14-го випуску 3GPP, є важливим доповненням до формування променя. Таким чином, базова станція може знати якість каналу через спеціальний пакет, надісланий UE. Як правило, більшість UE можуть підтримувати надсилання SRS лише через свою головну антену передачі. Базова станція може отримувати інформацію про канал лише для цієї антени. Однак, використовуючи технологію вибору антени передачі, можна отримати повну інформацію про канал усіх антен UE. Таким чином, базова станція може генерувати промінь у напрямку UE найкращим можливим способом. В результаті пропускна здатність 5G значно збільшиться, особливо в точках на великій і середній відстані від базової станції (до +40%).

Дотримуючись логіки цієї концепції, оператори мобільного зв'язку зможуть розгортати ізольовані мережі, кожен з яких можна відрізнити/приписати за своїми ключовими показниками: широке покриття

IoT, широка пропускна здатність та низька реакція на міський трафік. Функціонування цієї технології стане можливим завдяки переходу на ядро мережі наступного покоління [21].

Сценарії та приклади надання послуг мобільного зв'язку в мережі 5G.

Може виявитися, що деякі з вищезгаданих показників, такі як пікова швидкість передачі даних і автономність, виявляться несумісними або навіть взаємовиключними. Однак усі ці показники не повинні бути реалізовані одним пристроєм за раз або, в принципі, підтримуватися всім списком. Залежно від важливості (висока, середня, низька) показника можна вибрати різні сценарії надання послуг стільникового зв'язку. Наприклад, у концепції зрізу мережі фізична архітектура 5G розбита на кілька віртуальних мереж або шарів, які призначені для їх застосування. Кожен сценарій відповідає тому чи іншому набору заздалегідь визначених показників і відповідним чином пристосований до певного сегмента ринку.

Специфікація визначає лише три сценарії (Рис. 2.2):

- eMBB (Extended Mobile Broadband);
- URLLC (Ультранадійний зв'язок з низькою затримкою);
- mMTC (зв'язок типу масової машини).

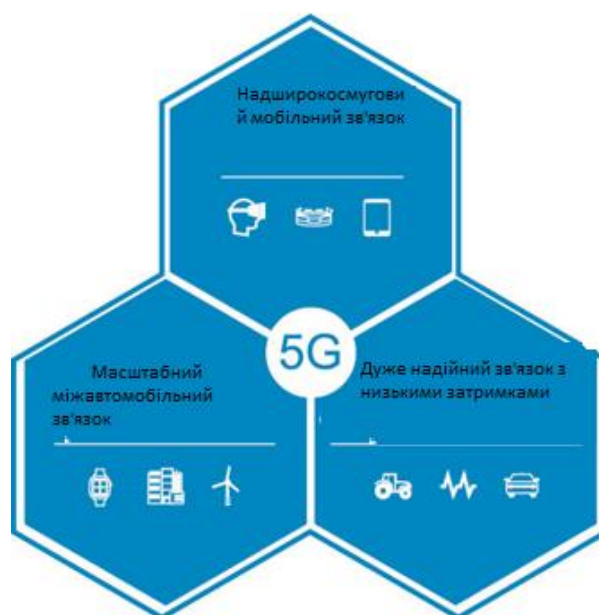


Рис. 2.2. Три сценарії надання послуг мобільного зв'язку

2.1.2. Стандарти NB-IoT та eMTC для mMTC

mMTC – це сценарій комунікації між машинами, де участь людини мінімальна, а всі процеси автоматизовані. До приладів mMTC належать: лічильники води, газу та електроенергії; управління вуличним освітленням; Датчики паркування; вкладки GPS / ГЛОНАСС; різні димові/пожежні сповіщувачі; Датчики вторгнення; Розумні сміттєві баки та інші пристрої Інтернету речей. Як бачите, висока швидкість і наднизька затримка тут не важливі, вони вимагають автономності та різноманітності мережевих підключень. Йдеться про так звані пристрої LPWA (Low Power Wide Area) - прості та недорогі пристрої масового виробництва з надзвичайно низьким споживанням енергії, які можуть працювати до 10 років від однієї батареї [13].

Стандарти та специфікації для мереж LPWA були введені у випуски 13 (Cat.NB1 і Cat.M1) і 14 (Cat.NB2 і Cat.M2) 3GPP, а тепер мережі NB-IoT (також відомі як LTE Cat.NB1 / NB2) і eMTC (LTE Cat.M1 / M2) вже в комерційній експлуатації. Мережі для таких пристроїв характеризуються низькою швидкістю передачі (до 150 кбіт/с в LTE Cat.NB2 і до 1 Мбіт/с в LTE Cat.M1), широким і глибоким покриттям. Варто відзначити, що принадою NB-IoT та eMTC є те, що спільний доступ мобільного оператора не вимагає великих інвестицій та виділення окремих діапазонів частот. Ці мережі LPWA можуть працювати в існуючих діапазонах частот і на існуючому мережевому обладнанні, тоді як одна базова станція може охоплювати більшу територію, ніж існуючі мережі 2G, 3G або LTE [44].

2.1.3. 5G для URLLC й eMBB

Формально мережі NB-IoT і eMTC можна віднести до мереж п'ятого покоління, але в цій статті 5G означає високошвидкісні технології. 5G відповідає за сценарії URLLC (буде включено до 3GPP Release 16) і eMBB (уже визначено у 3GPP Release 15). Їх суть відображена в назвах: сценарій URLLC означає наднадійний зв'язок з низькою затримкою, а eMBB — надширокосмуговий, що означає швидкий зв'язок.

Схоже, що швидкість і затримки в існуючих мережах LTE задовольняють більшість сучасних користувачів.

Погляньте на інфографіку на рис. 2.3, яка показує області застосування веб-сервісів залежно від вимог до пропускної здатності та затримки. У яскравій частині ми бачимо сучасні програми, які вже стали для нас звичними, такі як: онлайн-ігри, відображення і потокове відео, віддалена телеметрія, управління об'єктами, датчики і т. д. Всі ці програми мають канал до 100 Мбіт/с. і більша затримка 10 мс [31].

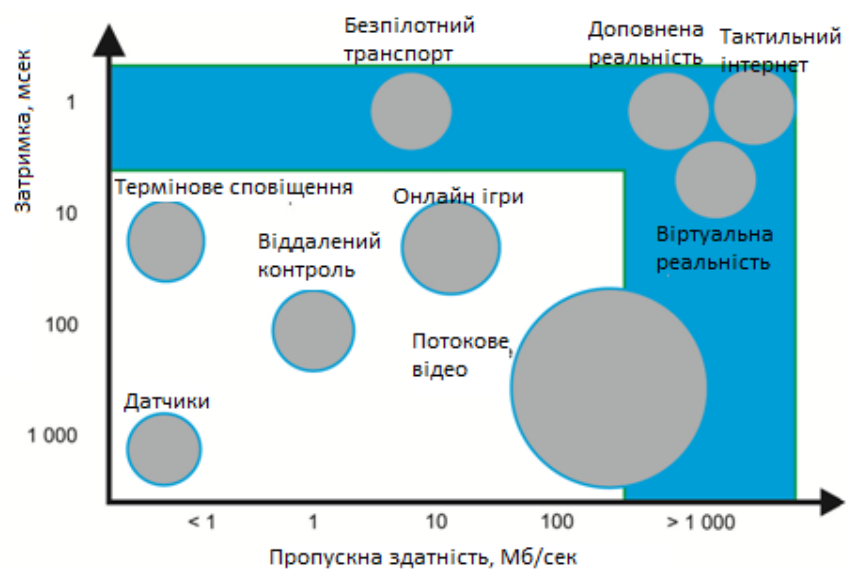


Рис. 2.3. Области застосування мережевих послуг залежно від пропускної здатності та вимог до затримки мобільної мережі

Тепер звернемо увагу на синю частину інфограми – це та область, яка відкривається з 5G. Виявляється, що 5G може як покращувати існуючі програми, так і створювати нові. Давайте детальніше розглянемо деякі з найцікавіших випадків використання. Вони допоможуть нам зрозуміти, наскільки важливо для нас впровадження мережі 5G [45].

2.2. Вимоги різних форматів до трансляції відео

Учасники ринку передбачають переміщення класичної програми потокового відео вправо в бік більш високої швидкості передачі даних без

особливих вимог до затримки. Основною причиною цього буде попит на якісне відео 8K.

Сьогодні на ринку є відеотелевізори 4K, і деякі постачальники пропонують цей високоякісний відеоконтент. Однак лише користувачі, підключені до оптоволоконного Інтернету, мають надійний доступ до такого вмісту, який можливий не в усіх місцях. З появою 5G, 4K і навіть 8K відео стає нормою для всіх жителів міст і передмістя (рис. 2.4), при цьому більше уваги приділяється якості та деталям з точки зору виробництва фільмів і фотографій [41].

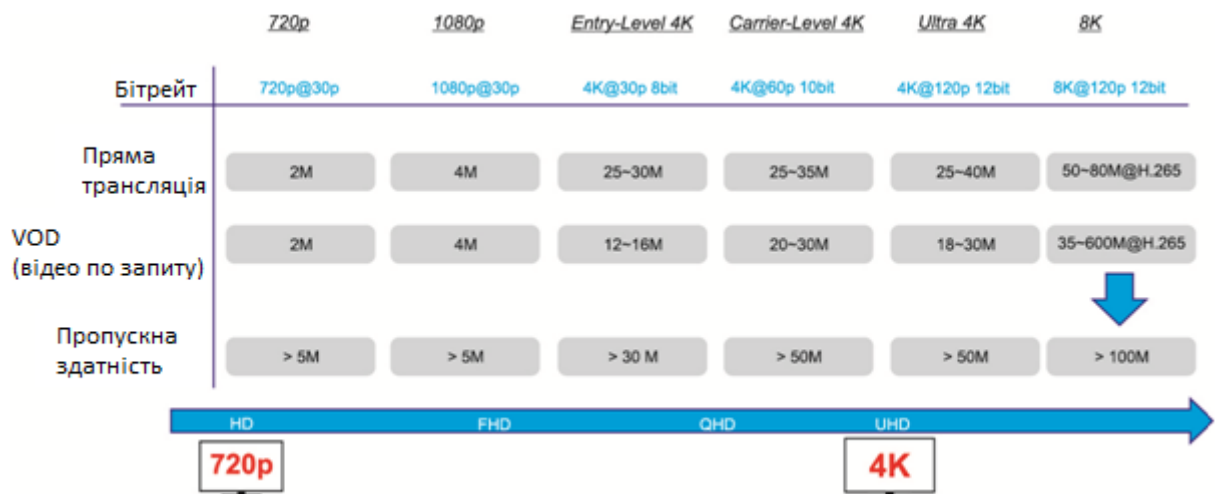


Рис. 2.4. Вимоги до пропускної здатності мережі для різних відео форматів

Споживання відеоконтенту на широкоекранному телевізорі встановлює вимоги до пропускної здатності завантаження. Однак 5G пропонує більш високі швидкості та швидкість передачі даних. Це відкриває можливість використання міських систем відеоспостереження з інтелектуальним розпізнаванням обличчя на всіх континентах (рис. 2.5). У таких системах вся комп'ютерна частина зі штучним інтелектом розташована в мережі, камерам спостереження залишається лише відправити зображення у відповідній роздільній здатності на сервер. У світі вже є приклади впровадження таких систем. Уряд Шанхаю (Китай) використовує таку систему з 2015 року. До нього підключено понад 170 мільйонів розумних відеокамер. Наприклад [2],

ця система допомогла виявити злочинця у 50-тисячному натовпі, який йшов з концерту популярного співака. На концерт він прийшов із дружиною і, за словами ув'язненого, сподівався загубитися в натовпі [34].



Рис. 2.5. Робота інтелектуальної системи розпізнавання обличчя шляхом потокового відео з вуличних камер

На практиці такі системи не лише дозволяють місту заощадити на охоронних заходах та оперативних пошуках, але й дають позитивний соціально-економічний ефект: мешканці та туристи не бояться купувати дорогі речі, відвідувати громадські місця в будь-який час доби, день, і Бізнес не боїться безпеки клієнтів і майна, адже це тепер робота міста.

З появою 5G ця система стає ефективнішою та дешевшою у розгортанні та обслуговуванні, що означає, що вона стає доступнішою.

2.3. Sky Office -найважливіший продукт 5G

На ранніх етапах комерційного розгортання 5G найважливішим продуктом 5G, як очікується, буде ноутбук із підключенням Sky Office поряд зі смартфонами (Рис. 2.6). Sky Office — це концепція перенесення обчислювальної потужності ноутбука в хмару шляхом оснащення комп'ютера вбудованим модемом 5G. Таким чином, хмара може розміщувати не лише файли користувачів (Cloud Drive), а й програмне забезпечення (програмне

забезпечення), таке як MS Office 365 (Cloud Office) або ігрові продукти (Cloud Games). Завдяки цій концепції ноутбук просто стає екраном з клавіатурою і камерою [44].

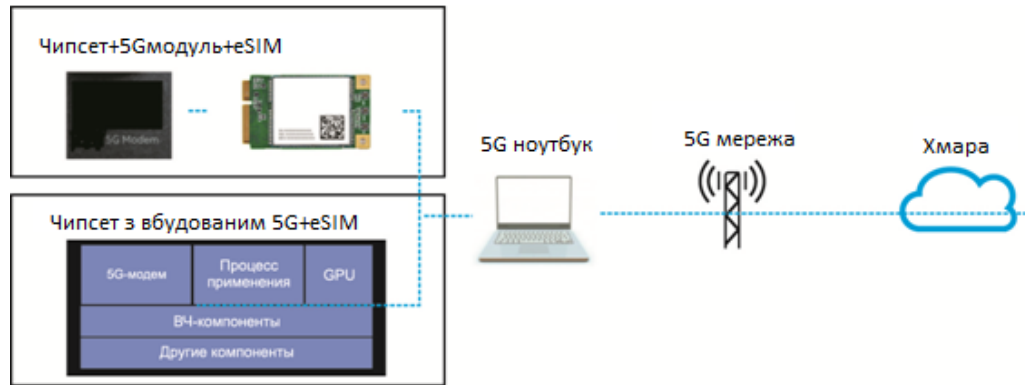


Рис. 2.6. Концепція Sky Office

Якщо стільникові мережі пропонують затримку в кілька мілісекунд і забезпечують необмежений, виділений, надійний канал зв'язку (мережевий кліпінг), то робота зі Sky Office може стати популярним способом використання ноутбука в майбутньому. При цьому споживач отримує ряд цікавих якостей, яких неможливо досягти зі звичайними ноутбуками:

- низьке споживання на рівні планшетів з час автономної роботи не менше 14 годин;
- ноутбук не витрачає час на завантаження програмного забезпечення, він уже працює - в хмарі;
- втрата ноутбука більше не означає втрату даних та ліцензій;
- тонкий і легкий корпус (композиція і конструкція ноутбука спрощені, що сприяє зменшенню габаритів і ваги);
- пасивне охолодження (ноутбук більше не виконує енерговитратні розрахунки і погано прогрівається);
- зв'язок безпечніший, ніж Wi-Fi, оскільки 5G важко зламати, а канал зв'язку захищений найновішими алгоритмами шифрування.

Реалізація концепції Sky Office, природно, вимагає створення цілої екосистеми за участю акторів з кількох галузей одночасно, таких як

виробники та модулі 5G. Однак, незважаючи на складність впровадження, очікується, що найближчим часом Sky Office швидко розвиватиметься в Китаї та багатьох інших країнах [52].

2.4. Віртуальна та доповнена реальність

Індустрія розваг завжди була рушійною силою розвитку споживчої електроніки. Споживачі ігрових консолей висувають найвищі вимоги до продуктивності. Найдосконалішими, але менш поширеними технологіями в ігровому світі є віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (AR).

Відомі компанії Sony (рис. 2.7) і Microsoft (Рис. 2.8) вже кілька років пропонують аксесуари VR та відповідні 3D ігри [45].



Рис. 2.7. VR (віртуальна реальність) від Sony PlayStation



Рис. 2.8. VR (віртуальна реальність) від Microsoft

Поступово VR і AR вийдуть за межі ігрової індустрії і неминуче поширяться на освіту, медицину, промисловість – їх потенціал важко

переоцінити. На рис. 10-13 показано деякі приклади додатків AR з презентації Microsoft HoloLens 2. Наступним кроком у цій галузі буде поєднання AR і VR з 5G. Технічно це вже можливо завдяки новому чіпсету Qualcomm Snapdragon XR2, який поєднує в собі модем 5G і спеціалізований процесор XR (від VR + AR) з підтримкою штучного інтелекту, що реагує на вираз обличчя пілота.



Рис. 2.9. Студенти вивчають структуру мікроорганізмів



Рис. 2.10. Медик аналізує результати МРТ



Рис. 2.11. Інженер проводить налаштування техніки

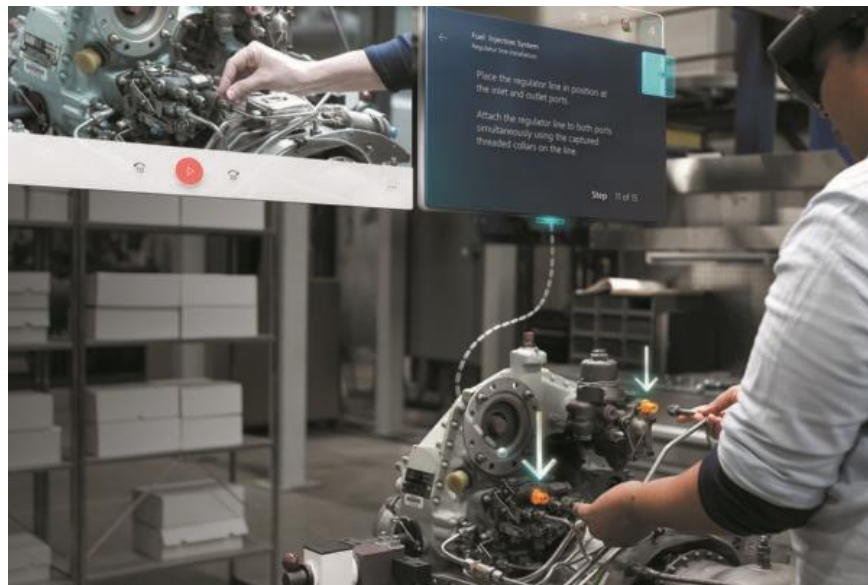


Рис. 2.12. Працівник на заводі виконує складання та регулювання двигуна

Зрозуміло, що з 5G популярність онлайн-ігор буде тільки зростати. Завдяки переміщенню обчислювальної потужності в хмару (хмарні ігри), ігрові консолі менше перевантажуються, а відео стає більш плавним, детальним і динамічним. Після того, як 5G подолає технологічний бар'єр, попит на ігри AR/VR зросте. Багато з них відкриють віртуальні тури в інші міста, пірнатимуть на дно океану і навіть полетять у космос. Як відомо, сприйняття світу людиною багато в чому залежить від того, що вона бачить, а

XR + 5G значно розширить кругозір пересічного обывателя, що змінить підхід суспільства до вивчення світу та творчої діяльності у всіх сферах [19].

2.5. Безпілотні літальні апарати (БПЛА)

Телехірургія висуває високі вимоги до затримки зв'язку та надійності, але є ще одна область, яка також вимагає масового підключення – безпілотні літальні апарати (БПЛА) або «дрони». Сьогодні ви нікого не здивуєте легкими дронами для різного застосування – від розважальних до спеціалізованих військових. З їхньою допомогою вони знімають вражаючі фільми, досліджують місцевість, рятують людей, перевозять вантажі тощо. Але майже всіма ними керує одна людина безпосередньо через прямий надійний бездротовий зв'язок на неліцензованій частоті.

У контексті впровадження 5G в розвинених країнах до цього питання вже серйозно поставилися регулятори, які працюють над стандартизацією та забезпеченням безпеки в цій сфері. Наприклад, в Європі існує спеціальна група експертів 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) на базі Європейської комісії та представників ІКТ-індустрії (оператори, постачальники, установи, малі та середні компанії) з Великобританії, Франція, Швейцарія, Австрія, Фінляндія, Греція, Польща та Естонія. Державно-приватне партнерство з 5G PPP запропонує рішення, архітектури, технології та стандарти для БПЛА. Європейський Союз розглядає цю державну ініціативу як спосіб зміцнити своє технологічне лідерство на світовій арені [52].

Завдяки стандартам масового розповсюдження дронів, системам штучного інтелекту, надійному, постійному та швидкому радіозв'язку 5G для всього зграї дронів можна відкрити нові ринки та сервіси в різних сферах (рис. 14-19). Кур'єрські дрони, які перевозять продукти з магазинів або необхідні ліки у важкодоступні місця; Збережіть дрони, які день і ніч шукають зниклих людей у лісі чи на морі; Пожежні дрони, які завчасно гасять пожежу;

Агрокоптер, який обприскує посіви – по всьому світу, не в особливих випадках.



Рис. 2.13. Швейцарський поштовий дрон



Рис. 2.14. Транспортування людей у важкодоступні місця на вантажному дроні



Рис. 2.15. Агрокоптер проводить обробку сільськогосподарських угідь



Рис. 2.16. Пожежний дрон Predator-100 (Китай) гасить пожежу



Рис. 2.17. Рятувально-пошуковий дрон швейцарської авіаційно-рятувальної організації Rega, який самостійно шукає людей



Рис. 2.18. Дрон DJI Matrice 600 Pro доставляє нирки на операцію (США)

2.6. Інфраструктура C-V2X

Переходимо від БПЛА до безпілотних транспортних засобів. Багато людей бачили відеодемонстрацію Tesla, як електромобіль зі штучним інтелектом (Рис. 2.19), який рухається містом з мінімальною участю водія. Інший приклад – сервіс Waymo, який дозволяє викликати таксі за допомогою мобільного додатка і доставити його в обраний пункт без водія (рис. 2.20).



Рис. 2.19. Робота автопілота Tesla під час руху на дорозі з водієм за кермом



Рис. 2.20. Робота Waymo під час руху на дорозі без присутності водія

Обидва автомобілі засновані на різних принципах потужного штучного інтелекту. Автомобіль приймає ситуаційне рішення на основі візуальної інформації та даних від лідара (Waymo). «Розумний» автомобіль оточують «дурні», непередбачувані транспортні засоби, керовані людиною.

Доступний інфраструктурний підхід до автономного водіння, який прив'язаний до 14-ї версії 3GPP - C-V2X. C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) — це концепція передачі інформації від автомобіля до будь-якого об'єкта, який може вплинути на транспортний засіб, і навпаки. Такий підхід дозволяє транспортному засобу зв'язуватися з іншими транспортними засобами (V2V), інфраструктурою (V2I), мережею LTE (V2N), електричною мережею (V2G), пішоходами (V2P) і навіть будинками (V2H). 15-та версія 3GPP також представила підключення 5G для автомобіля, а C-V2X є більш привабливим завдяки службі URLLC [22].

Транспортні засоби, які підключені до системи C-V2X, можуть «бачити» загальну картину дорожньої ситуації, «знати» взаємне розташування, перешкоди, небезпечні ділянки, а штучний інтелект у мережі не тільки створює для них шлях, а й робити це з урахуванням взаємного впливу транспортної системи. Такі системи вирішують транспортну проблему краще та безпечніше, ніж будь-який водій, скоротять час у дорозі кожного учасника дорожнього руху та зроблять рух передбачуваним, безпечним та енергоефективним.

Міжнародна консалтингова компанія PricewaterhouseCoopers (PwC) прогнозує, що перші безпілотні автомобілі з'являться на дорогах загального користування в 2021 році, а до 2040 року весь рух у мегаполісах світу буде безпілотним. Однак у деяких напрямках руху такі транспортні засоби вимагають насамперед уваги водія. У цей період з'ясовуються правові питання, пов'язані з безпілотним транспортом та електротранспортом, зокрема юридичний та страховий аспекти. Створення мережі зарядних станцій електромобілів займає певний час [35].

2.7. Удосконалення та перехід від LTE до 5G

Мережі 4G не відповідають вимогам нових випадків використання. Крім щільності з'єднань, пропускної здатності радіочастини тощо, затримки в мережах 4G досить великі. Затримки є сумою затримок у радіочастині та в інфраструктурній частині (рис. 2.21) і тепер становлять кілька десятків мілісекунд. У довгостроковій перспективі для повноцінних мереж 5G, включаючи підтримку розділення мережі та URLLC, знадобиться як нова мережева інфраструктура NGCN (конвергентна мережа наступного покоління), так і оновлення мережі радіодоступу. Зрозуміло, що виконати такий обсяг роботи за один раз неможливо [33].

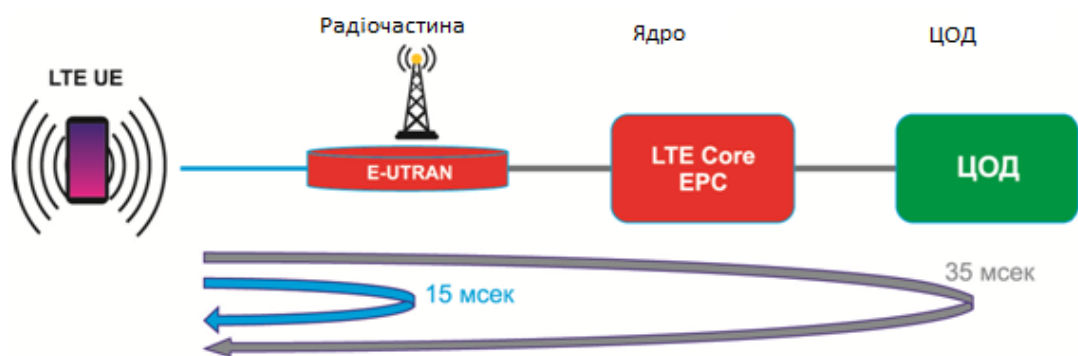


Рис. 2.21. Затримки в мережі 4G

Спочатку консорціум 3GPP розглядав складнощі створення нових мереж і прийняв сценарії переходу від стандартної конфігурації мережі LTE (№ 1 на Рис. 2.21) до 5G. Впровадження 5G спочатку має відбутися на існуючій інфраструктурі LTE-EPC в NSA (неавтономна, № 3 на Рис. 2.22), як це зробили оператори мобільних мереж у 2019 році. Така конфігурація зменшує затримку радіозв'язку, але через обмеження ядра LTE EPC загальна затримка далека від вимог URLLC. Основний момент цієї конфігурації в іншому – в радіочастині ми отримаємо значне збільшення пропускної здатності, достатнє для більшості існуючих додатків eMBB, а також стабільність з'єднання з великою кількістю абонентів на базову станцію [50].

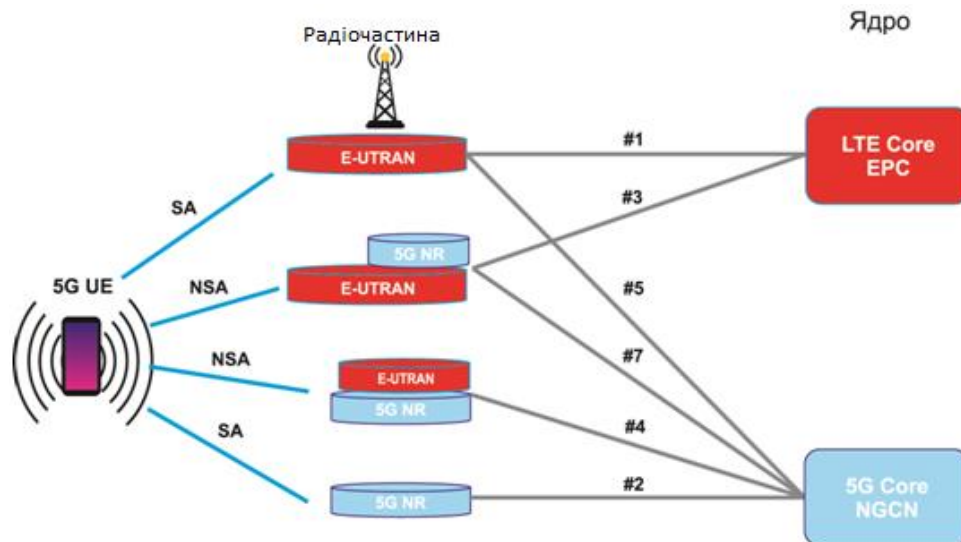


Рис. 2.22. Етапи побудови мереж 5G початкового та проміжного періодів

Оригінальна модель NSA (№ 3 на рис. 2.21) має на меті покращити якість мобільного широкопasmового Інтернету для підвищення надійності та обсягу трафіку через підключення EN-DC (E-UTRAN New Radio - Dual Connectivity) для покращення. Термінали користувача, які підтримують EN-DC, можуть підключатися до базових станцій LTE та 5G одночасно (рис. 2.22) із закріпленою базовою станцією LTE (потрібне оновлення до наступного покоління ng-eNB або eNB). UE спочатку реєструється в мережі через E-UTRAN на низьких частотах (<2 ГГц) і починає передавати в мережу вимірювання, виконані в мережі радіодоступу 5G-NR. Якщо якість радіосигналу 5G задовільна, базова станція LTE ng-eNB ініціює запит до базової станції 5G gNB щодо виділення ресурсів мережі для UE. Після завершення процедури UE підключається до базових станцій LTE-ng-eNB і 5G-gNB одночасно. Очевидно, що зона покриття базової станції 5G набагато вужча, ніж у LTE, оскільки високочастотний міліметровий сигнал має більший коефіцієнт ослаблення [47].

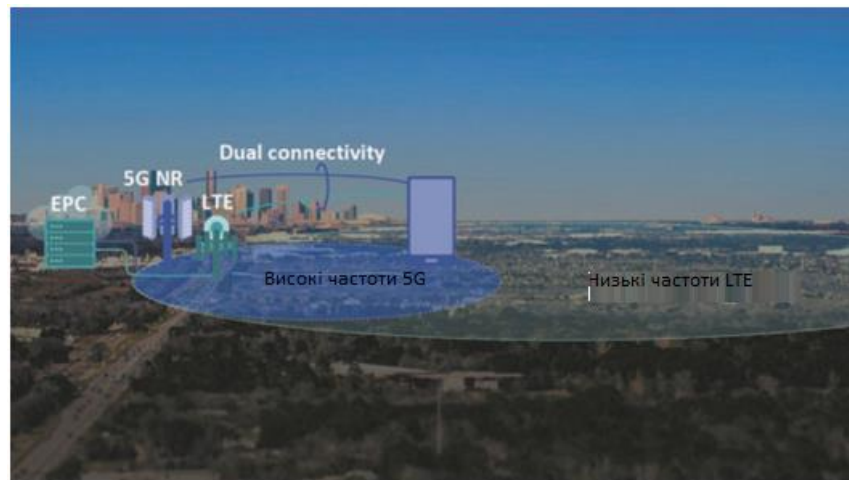


Рис. 2.23. Підключення UE до LTE ng-eNB та 5G gNB в режимі EN-DC

За допомогою комбінованих базових станцій LTE + 5G-NR можна розширити зону покриття 5G за допомогою технології DSS (Dynamic Spectrum Sharing), якщо нижній частотний діапазон E-UTRAN (<2 ГГц) динамічно пов'язаний з 5G-NR (Рис. 2.24). Поки оператори не розгорнуть ядра, мережі 5G можуть функціонувати таким чином.



Рис. 2.24. Розширення покриття 5G з низькими частотами LTE (DSS)

Починаючи з рівня 3 (рис. 2.22), коли оператори стільникових мереж інтегрують ядро 5G NGCN, вони можуть переключатися на цільовий та кінцевий режими SA (варіанти 2 і 5 на рис. 2.22) при використанні технології радіодоступу - або E-UTRAN або 5G -NEMAC. На рисунку 2.25 показано остаточний вигляд мережі 5G, здатної надавати послуги URLLC.

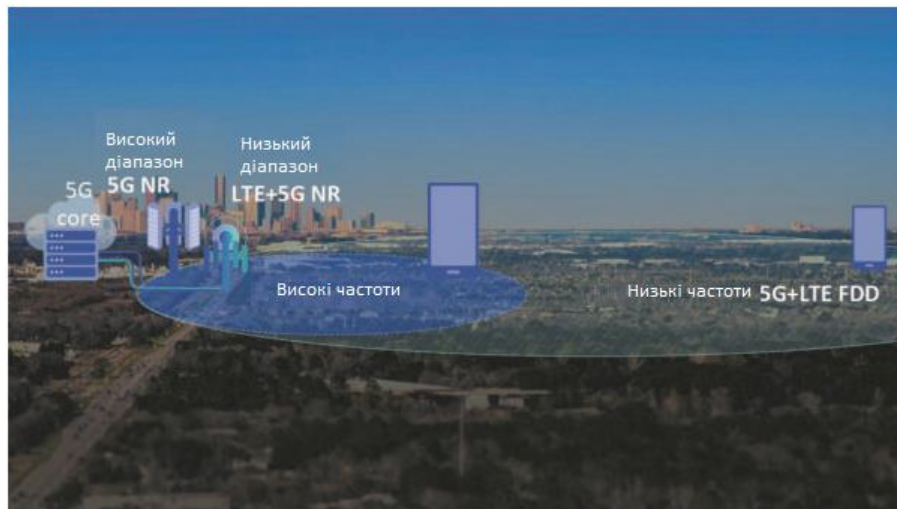


Рис. 2.25. Вирішальний етап та вигляд 5G мережі

Щоб задовольнити зростаючий попит на eMBB, можна використовувати середню смугу (2-7 ГГц), що збільшує швидкість передачі даних, також шляхом агрегування частот. Нижча частота означає більший діапазон, але також меншу ширину каналу. Однак є спосіб збільшити покриття за допомогою додаткового висхідного каналу (SUL), зберігаючи при цьому високу швидкість передачі. На рис. 2.26 показано, як додатковий неспарений канал низьких частот висхідної лінії зв'язку (SUL) призначається середньочастотному радіоресурсу UL / DL UE. Потім UE отримує канали $1 \times$ DL (середні частоти) і $2 \times$ UL (низькі та середні частоти), використання яких контролюється мережею. У цьому випадку посилений середньочастотний сигнал із "парного" діапазону на кордоні осередку використовується на каналі DL, а низькочастотний сигнал у непарному діапазоні SUL використовується на каналі UL. В результаті базова станція "бачить" UE на більшій відстані, а швидкість завантаження залишається такою ж, як і при використанні середніх частот [48].

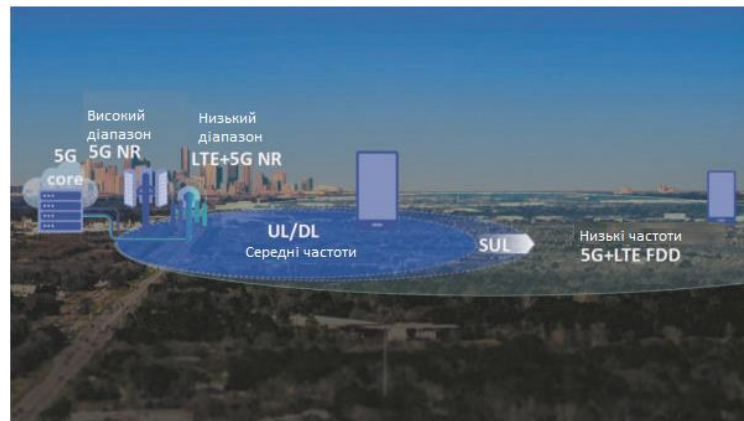


Рис. 2.26. Розширення середнього діапазону покриття за допомогою непарного каналу

2.8. Аналіз зони покриття мережі 5G.

Логіка розподілу смуг частот для різних сценаріїв впливає зі сценаріїв розгортання 5G та використовуваних діапазонів частот, як показано в таблиці 3. Ця концепція відповідає технології розподілу мережі, визначеній у специфікації 3GPP: ізольовані мережі, які можуть бути призначені за потреби (для «Інтернет», потокове відео тощо).

Таблиця 2.3.

Прогнозування застосування в частотних діапазонах 5G

Частоти	Ширина смуги	Прогнозування	Характеристика
Вище 7 ГГц (FR2)	800 МГц	eMBB	Надвисока швидкість, маленьке покриття, тільки на вулицях.
2–7 ГГц (FR1)	100 МГц	eMBB, URLLC, mMTC	Висока швидкість, широке покриття на вулицях, задовільне покриття у приміщеннях.
< 2 ГГц (FR1)	20 МГц	eMBB, URLLC, mMTC	Середня швидкість, всюдисуще покриття на вулицях та в приміщеннях.

Беручи до уваги реалізацію цих сценаріїв у мегаполісах, малих містах і селах, узагальнена схема покриття мережі, приблизно така, як на рис. 2.26. Як відомо, світ або вже відмовився від мереж 3G, або оголосив про плани їх закриття. вниз. Тому він показаний на малюнку 3G пунктирною лінією. За планами європейських операторів, замість повільного 3G в села прийде швидкий LTE (сценарій № 5 на рис. 2.27), а для голосового трафіку збережеться 2G. Приміське покриття виграє від більшої швидкості та меншої затримки, тоді як у міських районах буде більше з'єднань і надшвидке покриття Інтернету в зоні FR2. Як бачимо, мережі 5G найближчими роками не замінять мережі 4G, а поступово інтегруються в них і значно покращать загальну ситуацію.

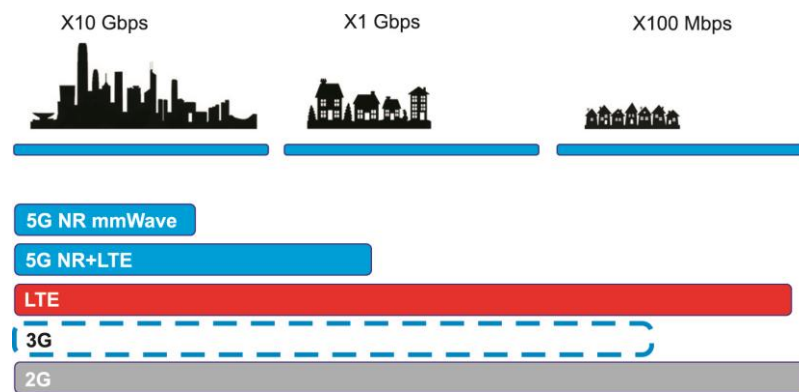


Рис. 2.27. Схема покриття мережами зв'язку 2G, LTE та 5G до 2025 року

Незважаючи на це, можна сказати, що такий розподіл мережі призведе до сильного зростання ринку FWA (Fixed Wireless Access, рис. 2.27). Виробники CPE (Customer Premises Equipment) зможуть обслуговувати мешканців районів, де швидке та надійне покриття 5G чомусь «не досягається» [49].

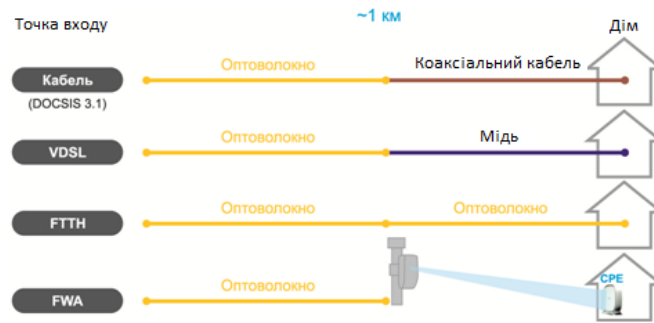


Рис. 2.28. FWA та провідні/оптоволоконні підключення

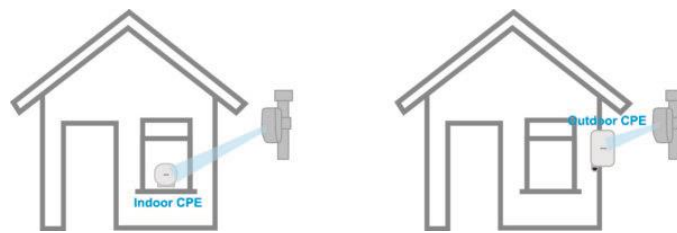


Рис. 2.29. CPE в будинку (Indoor CPE) та назовні (Outdoor CPE)

Зазвичай до таких місць приїжджають провайдери дротового та оптоволоконного Інтернету. Але 5G FWA створить серйозну загрозу для цієї сфери бізнесу. Насправді, з 5G в FWA якість широкосмугового інтернету не буде поступатися оптоволоконному, а вартість підключення буде абсолютно неперевершеною, оскільки оптоволоконне/кабельне підключення, роботи по установці та налаштування відключаються для кожного абонента окремо. Установка CPE так само проста, як установка маршрутизатора Wi-Fi і майже не вимагає обслуговування.

Можливо, це суттєво змінить ринок оптоволоконного/провідного Інтернету, він знайде своє специфічне застосування, але він ніколи не буде таким величезним, як сьогодні. Навпаки, за прогнозом експертів SNS Telecom, до 2030 року через 5G через сервіс FWA за допомогою 5G буде підключено 345 мільйонів абонентів (рис. 2.30), а в мережі 5G буде продано понад 90 мільйонів абонентських пристроїв CPE. забезпечення [52].



Рис. 2.30. Кількість наявних підключень FWA за допомогою використання мереж 5G

Щільність покриття мережі означає, що кількість базових станцій має збільшитися. Тому було запропоновано рішення Small Cells - рішення для дешевих, простих в установці та обслуговуванні базових станцій з низьким споживанням енергії. Їх можна повісити на опори вуличного освітлення, стіни будинку та інші предмети. Мережа 5G може ефективно координувати їх роботу та перерозподіляти навантаження між антенами.



Рис. 2.31. Рішення small cells (ліворуч), порівняно із звичайною базовою станцією Macro BTS у мережі попередніх поколінь

У цьому випадку можливе використання антенних систем DAS (Distributed Antenna System), тобто «накриття» багатоповерхових будинків однією або кількома базовими станціями. Невеликі антени з радіомодулями можна розмістити практично в будь-якій кімнаті, щоб забезпечити найкраще з'єднання [53].

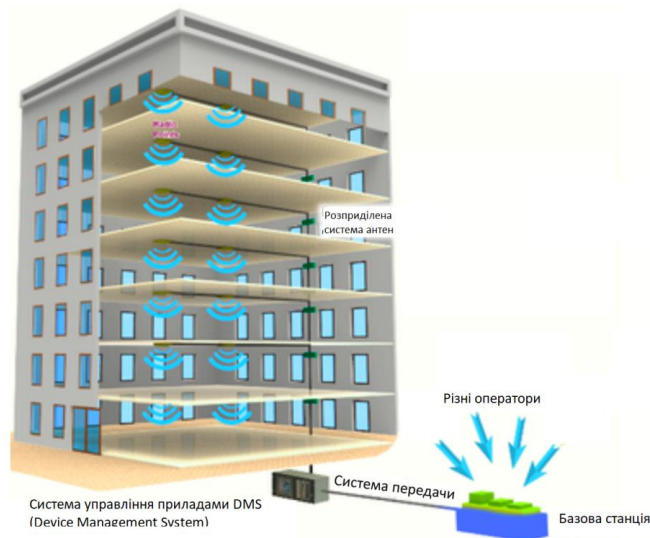


Рис. 2.32. Розподілені антенні системи DAS і одна базова станція, що охоплює всю будівлю

Одна інфраструктура, що складається з базових станцій і DAS, може використовуватися одночасно кількома телекомунікаційними операторами.

З огляду на вищезазначені переваги та особливості стільникової мережі 5G, слід звернути увагу на недоліки цієї мережі:

- які ще не врегульовані відповідно до стандартів щодо використання смуг частот;
- електромагнітна сумісність із наземними мережами та супутниковими метеорологічними системами (NOAA), зокрема (1675-1680) МГц, (23,6-24) ГГц, (36-37) ГГц, (36-37 ГГц), 50 ГГц, для виявлення дощу та сніг;
- зменшення (динамічної) потужності сигналів у високочастотних діапазонах, особливо RF2, через поширення погодних сигналів (дощ, сніг, туман);
- хвильові перешкоди від збільшення портів введення-виведення МІМО.

У зв'язку з цими застереженнями необхідно:

- встановлювати антенні системи на відстані не більше 250 м;

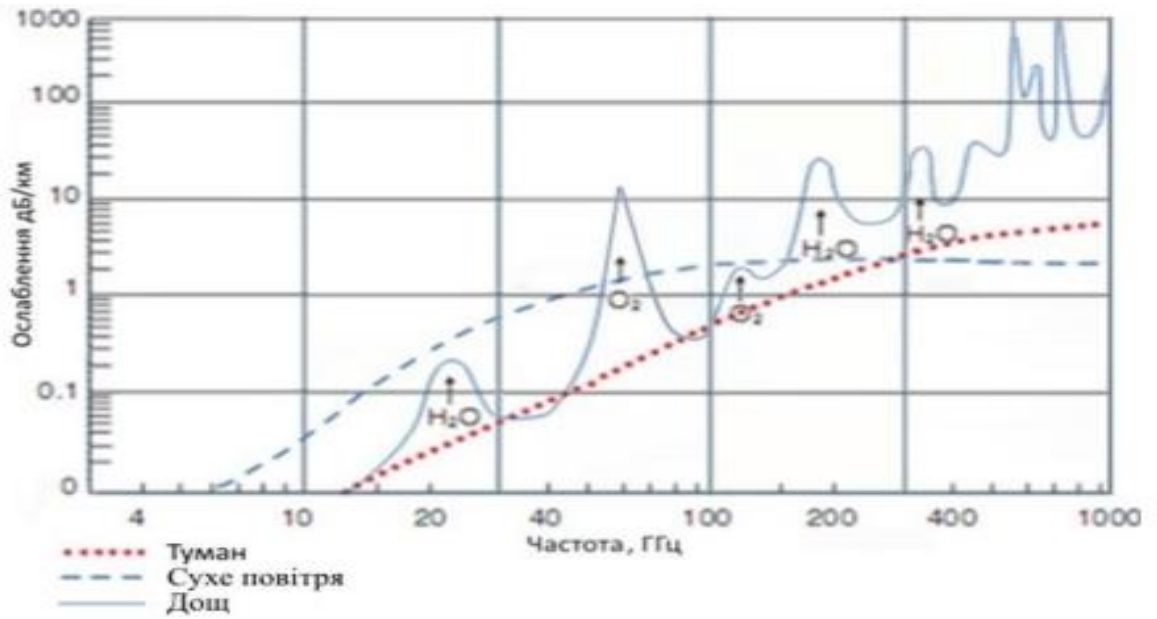


Рис. 2.33. Залежність величини затухання від частоти з врахуванням впливу дощу

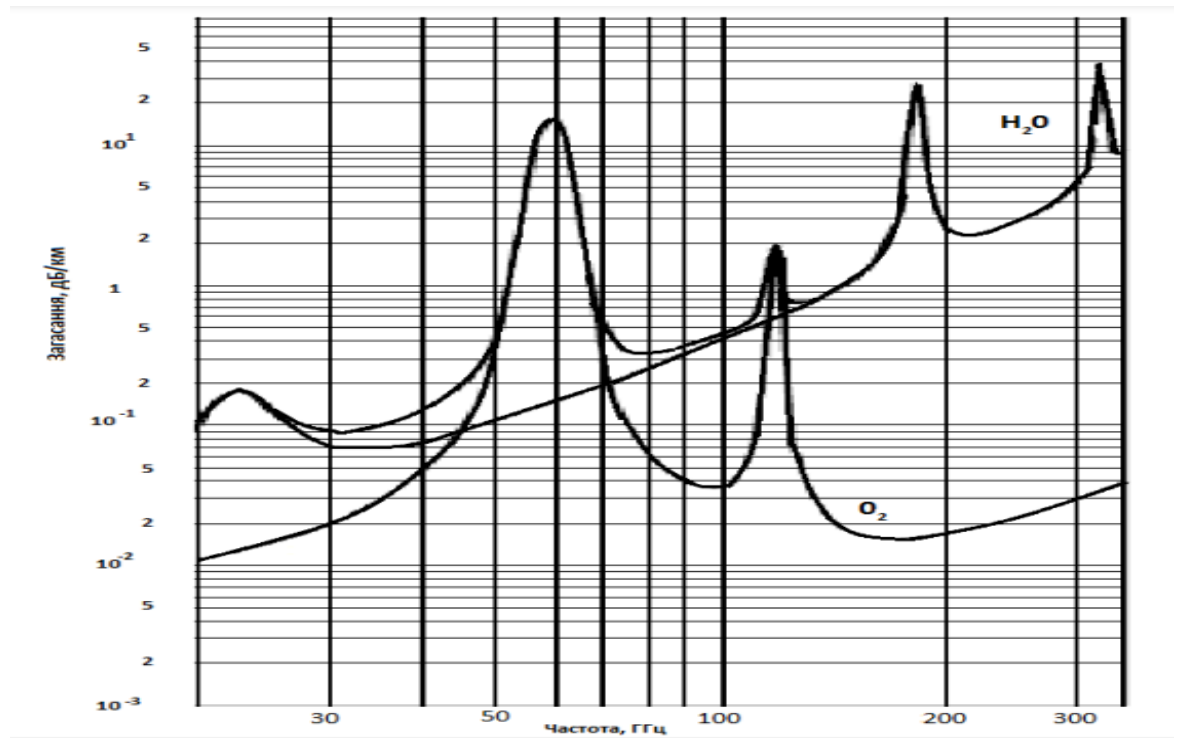


Рис. 2.34. Залежність величини затухання від частоти без врахування (б) впливу дощу

- підключення базових станцій за допомогою волоконно-оптичних мереж;

- на рівні Всесвітньої конференції радіозв'язку ВКР (WRC-15, World radiocommunication conference) уточнити та розподілити частотні діапазони.

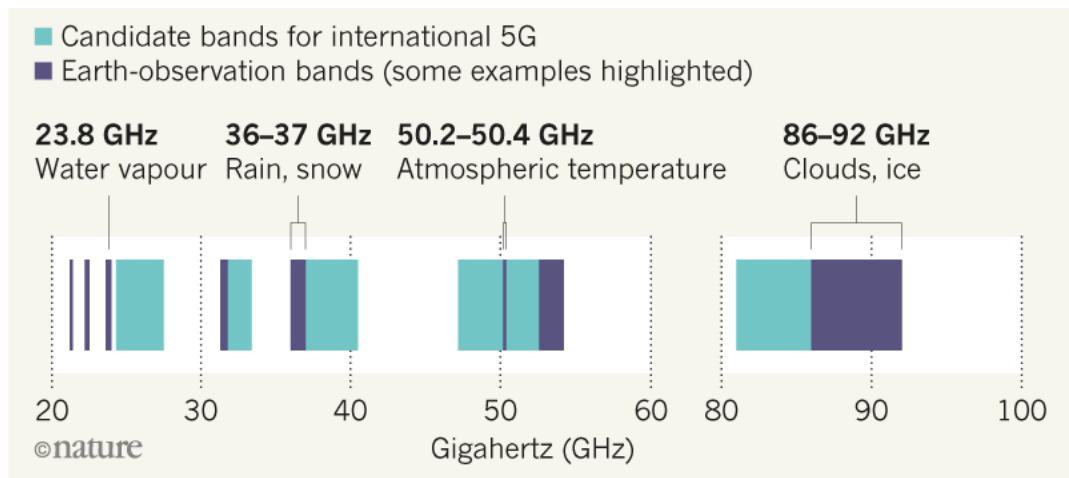


Рис. 2.35. Спільні спектри з метеорологічними супутниками ДЗЗ [2]

2.9. Висновок до розділу 2

Говорити про готовність мереж 5G поки рано. Потрібно дочекатися 16-го випуску, який консорціум планує завершити специфікацію Phase II і почати масове впровадження магістральних мереж 5-го покоління. Однак це не заважає розпочати дослідження нових технологій вже сьогодні, які закладуть основу для майбутніх проектів, оскільки мережі радіодоступу 5G-NR вже є загальнодоступними, хоча й в обмеженому вигляді. Важливо розуміти, що рано чи пізно мережі 5G стануть нашим повсякденним життям, а перехід з режиму NSA на режим SA буде плавним і непомітним, а прогрес, досягнутий сьогодні, не буде марним.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Спектр високосмугового 5G

Щоб зрозуміти, що таке 5G, важливо спочатку зрозуміти спектр. Електромагнітний спектр — це діапазон усіх видів електромагнітного випромінювання. Радіоспектр – це частина спектру, що використовується для телекомунікацій, мовлення, зв'язку літаків тощо, і коливається від 30 герц (Гц) до 300 гігагерц (1 ГГц дорівнює 1 мільярду герц). Загальний спектр також включає видиме світло, гамма-промені, рентгенівські промені, мікрохвилі тощо. Спектр на нижньому кінці, який називається низькочастотним (від 600 мільйонів герц (МГц) до 900 МГц), має довші хвилі і може поширюватися далі. Оскільки хвилі коливаються від середнього діапазону (2,5 ГГц до 4,2 ГГц) до високого діапазону, також відомих як міліметрові хвилі (24 ГГц до 47 ГГц), вони стають все коротшими, забезпечуючи більшу пропускну здатність (кількість даних, які можна передати в певну кількість часу), але втрачає здатність подорожувати так далеко [11].

Хоча низькочастотний діапазон може добре проникати через стіни, його швидкість обмежена 100 мегабайтами в секунду (Мбіт/с). Швидкість середнього діапазону частот може досягати 1 мільярда байт або 1 гігабайта в секунду (Гбіт/с); він має меншу затримку, ніж низькосмуговий, але не може так легко проходити через будівлі. Високосмугова або міліметрова хвиля (mmWave) має дуже низьку затримку та надшвидку, до 10 Гбіт/с. Ці високочастотні хвилі мм також пропонують збільшений простір для передачі, щоб одночасно можна було підключити більше пристроїв. Недоліком є те, що вони слабкіші і не можуть легко проникати в тверді речовини. 5G працює у всіх трьох діапазонах [22].

Державні установи в кожній країні контролюють спектр і визначають, хто може використовувати які частоти. У Сполучених Штатах Федеральна

комісія зв'язку (FCC) контролює спектр і розділяє його на різні частини, які потім призначаються або продаються компаніям і галузям. У 2016 році FCC відкрила велику кількість високосмугового спектру для 5G.

3.2. Інфраструктура та передача даних

Оскільки mmWaves можуть переміщатися лише на невелику відстань, невеликі вишки стільникового зв'язку, розміром із середню валізу, потрібно буде розташовувати на відстані 250 метрів один від одного, наприклад, на дахах, телефонних стовпах, деревах та вуличних ліхтарях, щоб забезпечити повне покриття в містах [21].



Рис. 3.1. Стільникові антени 5G на даху

На відміну від високих веж стільникового зв'язку 4G, які передають хвилі більшої частоти на великі відстані, базові станції малих стільників, що містять обладнання, яке передає дані на пристрої та від них, потребують прямого видимості до пристроїв, з якими вони спілкуються.

Базові станції містять велику кількість антен, що збільшує пропускну здатність мережі. Ці антени використовують «формування променя» для координації численних передач, запобігання їх заваді один одному та надсилання сфокусованих даних конкретному окремому користувачеві. Це

дозволяє маленькій комірці обробляти багато різних потоків даних одночасно. Маленькі комірочки підключаються до мережі 5G та Інтернету, як правило, за допомогою оптоволоконного кабелю або бездротової мережі. Їм також потрібне джерело живлення. Типовий невеликий елемент може вимагати від 200 до 1000 Вт потужності [28].



Рис. 3.2. Базові станції 5G

Щоб мережа могла відповідати всім типам запитів, «нарізка мережі» створює автономні мережі або фрагменти, які відповідають різним потребам і вимогам. Наприклад, одному сегменту мережі може знадобитися лише низький рівень безпеки та низька пропускну здатність, тоді як інший потребує високої безпеки та високої надійності.

3.3. Супутники для покриття мережі 5G

Супутники можуть забезпечити покриття 5G там, де важко побудувати достатню кількість веж стільникового зв'язку, а також взяти на себе важливі функції, якщо стихійне лихо або терористична атака виводить з ладу комунікаційну інфраструктуру на суші. Нещодавно SpaceX, компанія Ілона

Маска, запустила 2100 малих супутників (з кінцевою метою 30 000), які обертаються на низькій орбіті Землі (LEO), від 500 до 2000 кілометрів над Землею. FCC схвалила інші супутникові системи LEO, включаючи систему Kuiper від Amazon з 3236 супутників; а також ряд систем схвалено іншими країнами. Сузір'я супутників LEO передасть передачу між окремими супутниками, щоб забезпечити широке покриття в повітрі, на морі та у віддалених районах. Але більші супутники, які вже працюють на орбітах, віддалених від Землі, також можуть обробляти передачу 5G [51].

3.4. Мережа 5G і позитивний вплив на довкілля

Швидкість, потужність і підключення 5G нададуть багато можливостей для захисту та збереження навколишнього середовища. Технологія 5G з IoT зможе підвищити енергоефективність, зменшити викиди парникових газів і дозволить більше використовувати відновлювані джерела енергії. Це може допомогти зменшити забруднення повітря та води, звести до мінімуму кількість води та харчових відходів, а також захистити дику природу. Це також може розширити наше розуміння та, отже, покращити прийняття рішень щодо погоди, сільського господарства, шкідників, промисловості, скорочення відходів та багато іншого.

За даними ООН, до 2050 року 68 відсотків населення світу житимуть у містах. Міські уряди та підприємства шукають 5G, штучний інтелект (AI) та технології IoT, щоб створити розумні міста, де будуть підключені датчики, камери та смартфони; зв'язність і швидкість цих мереж дозволить містам краще керуватись, а також більш ефективними та стійкими.

Міжнародні стандарти вимагають, щоб 5G вимагало набагато менше енергії для роботи, ніж 4G, що означає використання менше енергії при передачі більше даних. Наприклад, один кіловат-година (кВт-год) електроенергії необхідний для завантаження 300 фільмів високої чіткості в

4G; з 5G за один кВт·год можна завантажити 5000 фільмів у надвисокій чіткості [16].



Рис. 3.3. Інтернет речей

5G, пов'язаний з Інтернетом речей, також зменшить споживання енергії, оскільки пристрої зможуть автоматично вмикатися та вимикатися, коли вони не потрібні. Датчики в електроприладах, транспортних мережах, будівлях, фабриках, вуличних ліхтарях, житлових приміщеннях тощо будуть контролювати та аналізувати їхні потреби в енергії та споживання в режимі реального часу та автоматично оптимізувати використання енергії. Наприклад, розумні лічильники електроенергії, встановлені в Емпайр Стейт Білдінг, допомогли скоротити витрати на електроенергію на 38 відсотків. Цифрова електростанція GE для Steam у Франції, оснащена 10 000 датчиків для підвищення ефективності установки, потрапила до Книги рекордів Гіннеса як найефективніша електростанція в світі [15].

Оскільки економія енергії також означає скорочення викидів парникових газів, очікується, що програмне забезпечення GE Digital Power

Plant зменшить викиди вуглецю на 3 відсотки і споживання палива на 67 000 тонн вугілля на рік. Дослідження, проведене Ericsson, провідним постачальником інформаційно-комунікаційних технологій, передбачає, що IoT може скоротити викиди вуглецю на 15 відсотків до 2030 року [20].

5G і IoT дозволять вмикати мікромережі, коли основна мережа виходить з ладу або недоступна. Це дозволить краще інтегрувати в мережу періодичні поновлювані джерела енергії, такі як вітер і сонце. Ameresco, компанія з штату Массачусетс, замінила стару паровузолу повністю автоматизованою установкою, яка підтримується 20 000 сонячних модулів і власною мікромережею на базі новобранців морської піхоти США на острові Парріс, Південна Кароліна. Система зменшила споживання енергії на 75 відсотків.

Дозволяючи більшій кількості людей працювати або отримувати доступ до розваг віддалено, а також уникати поїздок і польотів у справах, 5G заощадить енергію та зменшить викиди парникових газів від транспортних засобів і літаків.

Якщо водіння є необхідністю, 5G може заощадити час, паливо та викиди транспортних засобів, зменшуючи затори і холостий хід. Завдяки датчикам і камерам 5G використовує дані в реальному часі, щоб підтримувати рух транспорту, змінюючи світлофори, щоб уникнути затримок. Розумна система контролю дорожнього руху Carnegie Mellon Metro21: Інституту розумних міст, яка використовує радар і камери для зменшення простою, призвела до зменшення викидів парникових газів у Піттсбурзі на 20 відсотків. 5G також може зменшити кількість автомобілів на дорозі, допомагаючи водіям знайти місця для паркування та дозволяючи ділитися поїздкою [30].

За даними EPA, домогосподарства США витрачають один трильйон галонів щороку через витоки. Розумні датчики води можуть виявляти витоки, а також забруднення і забруднення води.

Датчики також можуть оптимізувати використання сільськогосподарської води. Arable, інноваційна сільськогосподарська компанія, використовує розумні сільськогосподарські датчики, які включають

інформацію про погоду та умови ґрунту та посівів, щоб краще керувати зрошенням та зробити його більш ефективним. Системи також контролюють стрес рослин, поживні речовини та шкідників, щоб допомогти планувати врожай.

За підрахунками ООН, приблизно одна третина виробленої у всьому світі їжі витрачається даремно, що також витрачає енергію та воду, які в неї витрачаються. Сільськогосподарські датчики можуть визначати, коли рослина в'яне, тож вони можуть допомогти гарантувати, що врожай буде зібрано в потрібний час. Інші датчики можуть виявляти свіжість і псування їжі, щоб споживачі знали, коли їжа безпечна для вживання, не залежно від термінів придатності. Згодом 5G можна було б використовувати для позначення всієї їжі, де вона виробляється, відстеження дат збору врожаю або ідентифікації конкретних тварин, а потім відстеження розумних тегів під час транспортування їжі на фабрику. Інші сенсорні системи можуть контролювати умови на заводі, оцінюючи якість їжі та відповідність нормам. Автоматизована та прозора система може гарантувати, що правильні інгредієнти будуть доставлені в потрібний час і правильно упаковані [31].

3.5. Потенційно негативний вплив 5G на навколишнє середовище

Оскільки 5G є новою технологією, її довгостроковий вплив на навколишнє середовище невідомий. Проте вже є побоювання, що 5G може негативно вплинути на навколишнє середовище через використання енергії, а також вплив виробництва нової інфраструктури та безлічі нових пристроїв.

Нині інформаційно-комунікаційні технології відповідають за близько 4% світового споживання електроенергії та 1,4% глобальних викидів вуглецю. Але у звіті Еріксона прогнозується, що до кінця 2025 року 5G матиме 2,6 мільярда абонентів; Очікується, що на той час загальна кількість підписок на мобільний зв'язок у світі досягне 5,8 мільярдів. До 2030 року кількість пристроїв IoT у всьому світі може становити 125

мільярдів. Очікується, що на той момент інформаційні технології відповідатимуть за п'яту частину всього світового споживання електроенергії, а до 2040 року вони можуть генерувати 14 відсотків світових викидів парникових газів. Якщо вся система не буде енергоефективною, 5G в кінцевому підсумку не буде стійким [23].



Рис. 3.5. Хмарний центр обробки даних

Центри зберігання даних, які обробляють хмарні обчислення та веб-сайти, а також зберігають нашу інформацію, споживають величезну кількість енергії — до 80 відсотків загального енергоспоживання мережі. Приблизно половина цієї суми йде на те, щоб устаткування передачі на базових станціях охолоджуватися. У звіті Berkeley Lab встановлено, що центри обробки даних США спожили 70 мільярдів кВт-год у 2014 році; цього року планується спожити 73 млрд кВт-год. Базові станції малої стільникової мережі можуть споживати втричі більше енергії, ніж базові станції 4G [29].

У 2020 році президент французького аналітичного центру The Shift Project, який виступає за перехід до поствуглецевої економіки, сказав: «...за кожним байтом ми маємо видобуток і металообробку, видобуток нафти та нафтохімію, виробництво та проміжний транспорт, громадські роботи.

(прокопувати кабелі) та виробництво електроенергії з вугілля та газу. В результаті вуглекислий слід глобальної цифрової системи становить уже чотири відсотки світових викидів парникових газів, а споживання енергії зростає на дев'ять відсотків на рік».

Збільшення викидів парникових газів частково буде пов'язано з тим, що споживачам потрібно буде купувати нові мобільні телефони 5G, щоб повністю скористатися перевагами 5G. Шведське дослідження підрахувало, що смартфон справив 45 кг CO₂ в протягом усього терміну служби, причому більшість з нього йде від виробництва поетапного виробництва інтегральних схем, пошук сировини, виробництва телефонної оболонки, то збірка і розподілу. Якщо включити аксесуари та мобільну мережу, загальний вплив життєвого циклу становить 68 кг CO₂.

Виробництво більшої кількості IoT-пристроїв і мобільних телефонів, а також малих клітин також означає більше видобутку та використання багатьох невідновлюваних металів, які важко переробити [37].



Рис. 3.6. Електронні відходи

Оскільки споживачі в усьому світі переходять на телефони 5G, багато старих телефонів та пристроїв IoT будуть викинуті, якщо для них не буде планів викупу чи переробки. Це призведе до величезної кількості електронних відходів, що вже є величезною глобальною проблемою.

Повне розгортання 5G може мати руйнівний вплив на екосистеми. Дослідження Пенджабського університету показало, що горобці, піддані радіації веж стільникового зв'язку протягом 5-30 хвилин, виробляли спотворені яйця. В Іспанії мікрохвильове випромінювання від вежі стільникового зв'язку порушувало гніздування, розмноження та ночівлю птахів. Також було виявлено, що бездротові частоти заважають навігаційним системам і циркадним ритмам птахів, впливаючи на міграцію.

Інше дослідження показало, що бджоли, піддані впливу випромінювання низького діапазону протягом 10 хвилин, страждали від розладу колонії. І деякі дослідження показали, що комахи, в тому числі медоносні, поглинають більше радіації від середньої смуги і 5G спектра. Це може призвести до змін поведінки та функцій комах з часом [49].

3.6. Висновок до розділу 3

У даному розділі виділені основні переваги та недоліки під час впровадження мережі передачі даних 5G. Нова технологія мережі 5G матиме значний позитивний вплив на енергію, відходи, ризики, водні ресурси та економічне управління, що призведе до більшої стійкості з меншим впливом зміни клімату.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Забезпечення електробезпеки користувачів ПК

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Ураження електричним струмом – одна з основних небезпек, які виникають при використанні ПК. Електричний струм, який проходить через організм людини, викликає термічну, електролітичну, біологічну і механічну дії.

Термічна дія електричного струму призводить до опіків шкіри, нагріву до високої температури кров'яних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які знаходяться на шляху струму, і викликає в них серйозні функціональні розлади. Термічна дія струму може призвести до руйнування тканин аж до їх обуглення.

Електролітична дія електричного струму виявляється в електролізі (розкладі) рідин, в тому числі крові, що спричиняє зміну їх фізико-хімічного складу і органів загалом, а також суттєво змінює функціональний склад клітин.

Біологічна дія електричного струму виявляється в подразненні та збудженні живих тканин організму, внаслідок чого спостерігається судомне скорочення м'язів, що може призвести до зупинки дихання, розриву тканин і органів, вивихів кінцівок, спазмів голосових зв'язок.

Механічна дія електричного струму виявляється в розшаруванні тканин і навіть у відриванні частин тіла.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки включають:

- ізоляцію струмовідних частин;

- недоступність струмовідних частин;
- електричний розподіл мереж;
- захисне заземлення;
- блокування безпеки;
- засоби орієнтації;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин забезпечує технічну працездатність ПК, зменшує вірогідність потраплянь людини під напругу, замикань на землю і на корпус, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз із пошкодженою ізоляцією [46].

Забезпечення недоступності струмовідних частин. Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язані з дотиком до струмовідних частин (близько 55%). Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є:

- застосування захисних огорожень;
- застосування закритих комутаційних апаратів (паketних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії);
- розміщення неізольованих струмовідних частин на недосяжній для ненавмисного доторкання до них висоті;
- обмеження доступу сторонніх осіб.

Мета електричного розподілу мереж – зменшення величини ємнісного струму замикання на землю, що збільшує комплексний опір ізоляції фаз відносно землі.

Електричний розподіл мереж застосовують у протяжних або розгалужених мережах з ізолюваною нейтраллю, що характеризуються значними ємнісними струмами замикання на землю. Цей метод реалізують шляхом підключення окремих споживачів електричної енергії через розділові трансформатори, що живляться від магістральної мережі. Захисне заземлення — заземлення точки або точок у системі чи в процесі монтажу системи або в обладнанні, з метою забезпечення електробезпеки. Це спеціальне електричне сполучення із землею або її еквівалентом струмопровідних елементів обладнання, які не повинні перебувати під напругою, але в процесі експлуатації можуть опинитися під напругою, наприклад, у разі пошкодження ізоляції, дефектів дугогасних пристроїв, комутаційних апаратів, в аварійних випадках тощо.

Застосування блокування безпеки. Блокування безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огорожених струмовідних частин помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки (електроустановки на плавзасобах, в гірничодобувній промисловості).

Призначення блокування безпеки: унеможливити доступ до неізолюваних струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації, не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухознахисту електрообладнання без попереднього відключення його від джерела живлення. Основними видами блокування безпеки є механічні, електричні і електромагнітні.

Засоби орієнтації дають можливість персоналу чітко орієнтуватись при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям. До засобів орієнтації належать: маркування частин електрообладнання, проводів і струмопроводів (шин), бирки на проводах, кольорові рішення неізолюваних

струмовідних частин, ізоляції. Вирівнювання потенціалів застосовується з метою зниження можливих напруг дотику і кроку при експлуатації ПК або потраплянні людини під ці напруги за інших обставин.

Вирівнювання потенціалів досягається за рахунок навмисного підвищення потенціалу опорної поверхні, на якій може стояти людина, до рівня потенціалу струмовідних частин, яких вона може торкатись, або за рахунок зменшення перепаду потенціалів на поверхні землі чи підлозі приміщень в зоні можливого розповсюдження струму.

При забезпеченні електробезпеки користувача необхідно взяти до уваги таке явище як статична електрика.

Статична електрика - сукупність явищ, що виникає внаслідок накопичення вільного електричного заряду на поверхні.

Заряди статичної електрики можуть утворюватись чи передаватись тілу людини контактним або індукційним шляхом. Статична електрика може діяти на організм людини у вигляді малого струму, який тривалий час проходить через тіло людини, короткочасного електричного розряду, а також електричного поля. Для людини розряди статичної електрики прямої небезпеки не становлять. Однак, враховуючи неочікуваність такого розряду, у людини може виникнути переляк, внаслідок якого може відбутися рефлекторний рух, що в низці випадків призводить до травмування (робота на висоті, біля рухомих незахищених частин устаткування тощо). Тіло людини легко електризується. Його потенціал може досягати 15 кВ, але струми розряду досить малі - мікроампери. Іскрові розряди викликають у людини відчуття слабого або гострого поколювання і лише при різниці потенціалів 30 кВ викликають тимчасову судому.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникненню та накопиченню статичної електрики;
- прискоренням стікання електростатичних зарядів;

– нейтралізацією електростатичних зарядів.

Електромережа живлення має бути трипровідною з фазовим, нульовим робочим і нульовим захисним провідниками, площа перерізу яких має бути не меншою площі перерізу фазового провідника. Нульовий захисний провідник використовують для заземлення електрообладнання, але використовувати, як нульовий робочий його не можна. Підключення нульового робочого і нульового захисного провідників до одного контактного затискача щита живлення заборонено. Усі провідники мають відповідати номінальним 83 параметрам мережі, її навантаженню, умовам навколишнього середовища, температурному режиму, типам апаратури та вимогам.

Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Недопустимими є:

– експлуатація кабелів і проводів з пошкодженою ізоляцією або з такою, що втратила захисні функції;

– застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПУЕ до переносних електропроводок;

– користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

– підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх із знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають рекомендаціям підприємств-виготовлювачів [35].

4.2. Класи виробничих та складських приміщень по вибуховій та пожежній небезпеці. Вогнестійкість будівельних конструкцій і матеріалів

Відповідно до чинних будівельних норм і правил (БНіП) будівлі й споруди за вогнестійкістю поділяються на п'ять ступенів.

Ступінь вогнестійкості будівель і споруд визначається границями вогнестійкості основних будівельних конструкцій, границями поширення вогню по цих конструкціях, а також відповідними їм групами займання.

Границя вогнестійкості елементів і будівельних конструкцій - це проміжок часу (в годинах або хвилинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до виникнення одного з граничних станів елементів і конструкцій. Стандартне випробування виконують відповідно до стандарту.

Для того щоб перевірити, чи відповідає вогнестійкість будівлі або споруди" що проектується, протипожежним вимогам, необхідно зробити розрахунок вогнестійкості конкретних будівельних конструкцій, який зводиться до визначення розрахункової тривалості горіння і потрібної границі вогнестійкості. Розрахунок вогнестійкості завершується порівнянням фактичної і потрібної границі вогнестійкості.

Границя поширення вогню - це проміжок часу (в годинах або хвилинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до настання будь-якої з ознак, які характеризують поширення вогню по конструкціях.

Ступінь вогнестійкості будівель і споруд характеризується групою займання будівельних матеріалів, з яких виготовлена споруда і вогнестійкості несучих будівельних конструкцій та їхніх частин. Відповідно до цього всі об'єкти поділяються на п'ять ступенів займистості. Нормований ступінь вогнестійкості будівель за вимогами СНІП залежить від категорії пожежної безпеки виробництва, висотності будівель тощо. Із зростанням номера категорії приміщення збільшується ступінь займання конструкції і зменшується границя їхньої вогнестійкості [46].

За ступенем вогнестійкості вибирають матеріал для стін, перекриттів і колон та визначають необхідні границі між будівлями або спорудами. Необхідну кількість води для зовнішнього гасіння пожеж можна визначити, знаючи категорію пожежної безпеки виробничої будівлі, ступінь її вогнестійкості і об'єм. Вибір необхідних систем вентиляції, опалення, водопостачання, освітлення і електропроводки, електрообладнання і засобів для гасіння пожеж здійснюють залежно від категорії пожежної безпеки будівель або споруд.

Категорія А (вибухопожежонебезпечна). Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху $t < 28^{\circ}\text{C}$ в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, під час займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск $\Delta P_{\text{ф}} > 5$ кПа у фронті ударної хвилі вибуху в приміщенні. Речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним в такій кількості, що розрахунковий тиск $\Delta P_{\text{ф}} > 5$ кПа у фронті ударної хвилі у приміщенні. До них відносяться водневі станції, склади балонів для зріджених газів, приміщення стаціонарних кислотних і лужних акумуляторних установок, насосні станції з перекачування рідин з температурою спалаху до $t = 28^{\circ}\text{C}$ та склади цих рідин, приміщення малярних цехів, де застосовують нітрофарби, лаки і нітроемалі, ацетиленові станції і приміщення ацетиленових генераторів та ін. [9].

Категорія Б (вибухопожежонебезпечна). Горючі порохи або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху $t > 28^{\circ}\text{C}$, горючі рідини в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні порохоповітряні або пароповітряні суміші, під час займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні $\Delta P_{\text{ф}} = 5$ кПа. До них відносяться, наприклад, виробництва із застосуванням аміаку, пального для ТГД і ТРДД, а також складські приміщення, в яких зберігаються дизельне пальне, мінеральні мастила, закриті склади вугілля, пакгаузи змішаних вантажів, гаражі тощо.

Категорія В (пожежонебезпечна). Легкозаймисті, горючі й важкозаймисті рідини, тверді горючі й важкозаймисті речовини і матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним горіти тільки за умови, що приміщення, в якому вони знаходяться (обертаються), не відносяться до категорії А або Б.

Категорія Г. Негорючі речовини і матеріали в горючому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевого тепла, Іскор та полум'я; горючі гази, рідини й тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо (ливарні цехи, станції випробування двигунів, котельні і т. ін.).

Категорія Д. Негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Це - цехи холодної обробки металів (крім магнієвих сплавів), повітродувки, інструментальні цехи, насосні станції для перекачування негорючих рідин тощо [9].

Категорію виробництва вибирають за нормами технологічного проектування або за спеціальним переліком виробництв.

Відповідно до ПУЕ існує також класифікація виробничих приміщень і зовнішніх установок з вибухової і пожежної безпеки. Віднесення приміщень і зовнішніх установок до вибухо- або пожежонебезпечних залежить від умов створення можливих вибухо- і пожежонебезпечних середовищ.

Вибухонебезпечними називаються приміщення і зовнішні установки, в яких згідно з умовами технологічного процесу можуть створюватися вибухонебезпечні суміші: горючих газів або пари з повітрям чи киснем та іншими газами-окислювачами (наприклад, з хлором), горючих пилу або волокна з повітрям у разі переходу їх у завислий стан. Усі вибухонебезпечні виробничі приміщення і установки відповідно до ПУЕ поділяються на такі класи: В-1, В-1а, В-1б - приміщення з безпекою вибуху пари і газів, В-1 г - зовнішні установки з безпекою вибуху горючого пилу або волокна. Наприклад, в приміщеннях класу В-1 виділяються горючі гази або пара в об'ємі, що створює з повітрям або іншими окислювачами вибухонебезпечні

суміші не тільки при аварійних, але й при нормальних режимах роботи, невеликих за тривалістю (при зберіганні або зливанні, наливанні, переливанні легкозаймистих і горючих речовин, які знаходяться у відкритих посудинах, тощо).

У приміщеннях класу В-1а при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів і пари з повітрям та іншими окислювачами не виникають, а створюються тільки в результаті аварій або несправностей. До класу В-1г відносяться зовнішні установки, які містять у собі вибухонебезпечні гази, пару, легкозаймисті речовини (газгольдери, зливно-наливні естакади для легкозаймистих речовин та ін.).

У приміщеннях класу В-ІІ виділяються горючі пил або волокна, які переходять у завислий стан і здатні створювати з повітрям та іншими окислювачами вибухонебезпечні суміші не тільки при випадкових, але й при нормальних, недовгочасних режимах роботи (наприклад, при завантажуванні технологічних апаратів).

У приміщеннях класу В-ІІа, на відміну від В-ІІ, небезпечні стани не виникають під час нормальної експлуатації, вони можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Найбільш вибухонебезпечними є приміщення класів В-І і В-ІІ, найменш вибухонебезпечними — приміщення класів В-1б, установки класу В-1г.

Пожежонебезпечними називаються приміщення і установки, в яких використовують або зберігають горючі речовини. Відповідно до ПУЕ вони поділяються на класи ІІ-І, ІІ-ІІ, ІІ-ІІа, ІІ-ІІІ.

До класу ІІ-І відносяться приміщення, в яких використовують або зберігають горючі рідини з температурою спалаху пари вище 45°C (склади мінеральних мастил, регенераційні установки для них тощо).

До класу ІІ-ІІ відносяться приміщення, в яких небезпека виникає внаслідок виділення горючих пилу або волокна, які переходять у завислий стан. Виникаюча при цьому небезпека призводить до пожежі (але не до вибуху).

До класу II-IIa відносяться виробничі й складські приміщення, в яких знаходяться тверді або волокнисті горючі речовини (дерево, тканини тощо) і в яких горючих пилу або волокна, що переходять у завислий стан, немає.

До класу II-III відносяться зовнішні установки, в яких використовують або зберігають горючі рідини з температурою спалаху пари вищою 45°C, наприклад, відкриті склади мінеральних масел, а також тверді горючі речовини [9].

4.3. Висновок до розділу 4

У четвертому розділі охорона праці розглянуті такі питання як забезпечення електробезпеки користувачів ПК, та класи виробничих та складських приміщень по вибуховій та пожежній небезпеці, вогнестійкість будівельних конструкцій і матеріалів. У першому підрозділі розглянуті правила безпеки експлуатації електронно-обчислювальних машин та вплив виробничого середовища на працездатність та здоров'я користувачів комп'ютерів. У другому підрозділі визначені основні заходи, які впливають на надійність роботи об'єктів. Визначено основні способи захисту робітників і службовців та заходи щодо підвищення роботи підприємств радіотехнічної галузі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Отримано результати порівняльного аналізу існуючих технологій мобільного стільникового, телекомунікаційного зв'язку та новостворених супутникових мереж (фірми Starlink), досліджено можливості надійної роботоздатності мобільного бездротового зв'язку в змінних кліматичних зонах різного частотного спектру на основі графіків залежності частотних спектрів від атмосферного покриву, створено рекомендації по використанні заявлених виробниками технології 5G в реальних кліматичних зонах.

Вирішено проблемні питання, які впливають на якість, швидкодію, електромагнітну сумісність та мінімальну завадостійкість з суміжними телекомунікаційними системами зв'язку, управління та передачі даних, мінімальні втрати за рахунок температурної та атмосферної нестабільності, на рівні густини потоків випромінювання у відповідності до санітарних міжнародних норм. А також розглянуто умови існування та спряження суміжних мобільних стільникових мереж нижчого рівня (2-4G) на можливість впровадження нових видів сервісів (віртуальна реальність, інтелектуальний аналіз стану частин мережі, обмін інформацією M2M.)

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу https://uk.wikipedia.org/wiki/5G#cite_note-49 (дата звернення 12.09.2021). Назва з екрану.
2. 5G: Новая парадигма телекоммуникаций . [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.iksmedia.ru/blogs/post/5396128-5G-Novaya-paradigma-telekommunikaci.html> (дата звернення 12.09.2021). Назва з екрану.
3. Раскройте потенциал сетевых технологий 5g с помощью hpe . [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу <https://www.hpe.com/ru/ru/solutions/5g.html> (дата звернення 14.09.2021). Назва з екрану.
4. Развитие сетей 5G в мире. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_в_мире (дата звернення 14.09.2021). Назва з екрану
5. Развитие сетей 5G на Украине. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_на_Украине (дата звернення 15.09.2021). Назва з екрану.
6. 5G - Пятое поколение мобильной связи. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:5G_\(пятое_поколение_мобильной_связи\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:5G_(пятое_поколение_мобильной_связи)) (дата звернення 15.09.2021). Назва з екрану.
7. Технологии 5G: поэтапное внедрение и элементная база для абонентского. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://wireless-e.ru/gsm/tehnologiya-5g/> (дата звернення 18.09.2021). Назва з екрану.
8. Что такое 5G и чего нам от него ожидать? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://json.tv/tech_trend_find/chto-takoe-5g--20151217051925 (дата звернення 21.09.2021). Назва з екрану.

9. Охорона праці в авіації. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://subj.ukr-lit.com/oxorona-praci-v-aviaci%D1%97-burichenko-l-a-16-2-vognestijkist-budivel-i-sporud-klasifikaciya-virobnictv-za-vibuxo-i-rozhezhonebezpekoju/> (дата звернення 23.09.2021). Назва з екрану.
10. Проникновение 5G достигло 10% только у 14% операторов. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <http://www.dailycomm.ru/m/53446/> (дата звернення 12.09.2021). Назва з екрану.
11. Технологія 5G mmWave розіграла швидкість Wi-Fi до 1,8 Гбіт/с. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://deps.ua/ua/news/novostirynka/9799.html/> (дата звернення 27.09.2021). Назва з екрану.
12. Фокус на 5G. Почему стоит обратить внимание на эту технологию будущего. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://lenovo.ua/blog/fokus-na-5g-chomu-varto-zvernuti-uvagu-na-syu-tehnologiyu-majbutnogo/> (дата звернення 27.09.2021). Назва з екрану.
13. Держспецв'язку проведе дослідження 5G-частот в Україні після чого регулятори встановлять плату за їх користування. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://itc.ua/news/derzhspeczvyazku-provede-doslidzhennya-5g-chastot-v-ukraini-pislya-chogo-regulyatori-vstanovlyat-platu-za-ih-koristuvannya/> (дата звернення 27.09.2021). Назва з екрану.
14. Українці вперше спробували швидкість 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.vodafone.ua/news/vodafone-5g> (дата звернення 30.09.2021). Назва з екрану.
15. Чому Кабмін відтермінував запуск 5G в Україні. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://suspilne.media/153695-comu-kabmin-vidterminuvav-zapusk-5g-v-ukraini-poasnue-ekspert/> (дата звернення 30.09.2021). Назва з екрану.
16. 5G Інтернет стукає в двері. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://futurenow.com.ua/5g-internet-vse-shho-vam-treba-znaty-pro-novitniu-tehnologiyu/> (дата звернення 01.10.2021). Назва з екрану.

17. 5G в світі. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:<https://rb.ru/5g-likbez/> (дата звернення 01.10.2021). Назва з екрану.

18. Телеком-корпорації перевірили рекордну швидкість 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.unian.ua/economics/telecom/vstanovleno-rekord-shvidkosti-5g-novini-11226839.html/> (дата звернення 01.10.2021). Назва з екрану.

19. В Україні мобільний інтернет розігнали до «космічної» швидкості. . [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://glavcom.ua/techno/telecom/v-ukrajini-mobilniy-internet-rozignali-do-kosmichnoji-shvidkosti-786816.html/> (дата звернення 03.10.2021). Назва з екрану.

20. Запуск 5G в Україні перенесли на наступний рік. [Електронний ресурс]//Стаття.Режим доступу: https://zaxid.net/zapusk_5g_v_ukrayini_perenesli_na_nastupniy_rik_n1523649/ (дата звернення 03.10.2021). Назва з екрану.

21. Samsung встановила рекорд швидкості в передачі даних по мережах 5G. Таких цифр ви ще не бачили. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/samsung-5g-rekord-shvidkosti-50189711.html?utm_campaign=langanalytics&utm_content=set_lang&utm_medium=in_article/ (дата звернення 05.10.2021). Назва з екрану.

22. Разбираемся с 5G-интернетом: ответы на основные вопросы. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://apelsin.net/news/5g-internet.html/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

23. WI-FI 6E, технология 5G с выгодой более \$12 трлн. 5 телеком-трендов, которые нужно знать. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://tech.liga.net/telecom/opinion/wi-fi-6e-tehnologiya-5g-s-vygodoy-bolee-12-trln-5-telekom-trendov-kotorye-nujno-znat/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

24. Новая эра зв'язку 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:

<https://eufordigital.eu/uk/a-new-era-in-communication-what-is-5g-and-how-is-this-technology-changing-europe/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

25. Що таке 5G, як він узагалі працює, і чому люди палять вишки? Відповідаємо на запитання. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://hromadske.ua/posts/sho-take-5g-yak-vin-uzagali-pracyuye-i-chomu-lyudi-palyat-vishki-vidpovidayemo-na-zapitannya/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

26. Everything you need to know about 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

27. T-mobe com 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.t-mobile.com/5g/> (дата звернення 07.10.2021). Назва з екрану.

28. What is 5G. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/5G/> (дата звернення 09.10.2021). Назва з екрану.

29. 5G technology and networks. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/mobile/inspired/5G/ (дата звернення 10.10.2021). Назва з екрану.

30. What is 5G? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.verizon.com/about/our-company/5g/what-5g/> (дата звернення 12.10.2021). Назва з екрану.

31. What is 5G? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.pcmag.com/news/what-is-5g/> (дата звернення 12.10.2021). Назва з екрану.

32. 5G Global Mobile Network Experience Awards 2021. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.opensignal.com/reports/2021/09/global/5g-global-mobile-network-experience-awards/> (дата звернення 12.10.2021). Назва з екрану.

33. What is 5G and where can I get 5G in the UK? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.which.co.uk/reviews/mobile-phone->

providers/article/5g-phones-uk-providers-and-prices-a1AEz0M12C8w/ (дата звернення 12.10.2021). Назва з екрану.

34. Spectrum compact analyzer. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:https://spectrumcompact.com/?gclid=EAIaIQobChMIrD76LD88wIVAhd7Ch3ufg2tEAAAYASAAEgIES_D_BwE (дата звернення 12.10.2021). Назва з екрану.

35. Why do we need 5G? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.etsi.org/technologies/mobile/5g/> (дата звернення 13.10.2021). Назва з екрану.

36. 5G Technology Training Courses. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://wraycastle.com/collections/5g-technology-training-courses?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=5gtraining/ (дата звернення 15.10.2021). Назва з екрану.

37. Accredited 5G Active Antenna Testing. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://verkotan.com/services/5g-wireless-testing/?gclid=Cj0KCQjw5oiMBhDtARIsAJi0qk1VC8UOc_rKtXP_zJhTQlxyJlEAZgo4hIGnD9u7MT17ryh8DM5I9EaAujBEALw_wcB/ (дата звернення 15.10.2021). Назва з екрану.

38. Will 5G mobile networks wreck weather forecasting? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.dw.com/en/will-5g-mobile-networks-wreck-weather-forecasting/a-52350669/> (дата звернення 15.10.2021). Назва з екрану.

39. 5G wireless may lead to inaccurate weather forecasts. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200924082706.htm/> (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

40. Next generation mobile networks: Problem or opportunity for climate protection? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/344948545_Next_generation_mobile_net

works_Problem_or_opportunity_for_climate_protection/ (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

41. Next generation mobile networks. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://plus.empa.ch/images/5G%20climate%20protection_University%20of%20Zurich_Empa.pdf/ (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

42. What Will 5G Mean for the Environment? [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://jsis.washington.edu/news/what-will-5g-mean-for-the-environment/> (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

43. Global 5G wireless networks threaten weather forecasts. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01305-4/> (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

44. Global 5G wireless deal threatens weather forecasts. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03609-x/> (дата звернення 17.10.2021). Назва з екрану.

45. The Coming 5G Revolution: How Will It Affect the Environment?. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://news.climate.columbia.edu/2020/08/13/coming-5g-revolution-will-affect-environment/> (дата звернення 19.10.2021). назва з екрану.

46. Вогнестійкість будівель і споруд. Класифікація виробництв за вибухо- і пожежонебезпекою [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://pidru4niki.com/14821111/bzhd/vognestiykist_budivel_sporud_klasifikatsiya_virobnitstv_vibuho-_pozhezhonebezpekoу (дата звернення 21.10.2021). Назва з екрану.

47. Study on 5G and climate protection. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.ifi.uzh.ch/en/isr/news/news/5G-study-published.html/> (дата звернення 21.10.2021). Назва з екрану.

48. 5G testing. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://www.exfo.com/en/solutions/communication-service-providers/wireless/5g-testing/?gclid=eaiaiqobchmi4o7ywlh88wivnoodbx3hfg35eamyasaegj5rvd_bwe/ (дата звернення 21.10.2021). Назва з екрану.

49. Пожежна безпека на підприємстві [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/10/OPGHTF.doc> (дата звернення 21.10.2021). Назва з екрану.

50. Potential Applications of 5G Network Technology for Climate Change Control: A Scoping Review of Singapore. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9720/htm/> (дата звернення 23.10.2021). Назва з екрану.

51. US meteorologists worried over 5G roll-out. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.bbc.com/news/technology-48772008/> (дата звернення 23.10.2021). Назва з екрану.

52. Debate rages over 5G impact on US weather forecasting. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.bbc.com/news/technology-48772008> (дата звернення 23.10.2021). Назва з екрану.

ДОДАТКИ

Копія тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник тез доповідей Том I

**X Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів
24-25 листопада 2021 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2021**

Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів

«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль 24-25 листопада 2021 року

УДК 621.391.812

Григорій Химич, Володимир Демчук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НАЗЕМНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ 5G

Hryhoriy Khymych, Volodymyr Demchuk

RESEARCH OF CONDITIONS OF DISTRIBUTION OF TERRESTRIAL AND SATELLITE COMMUNICATION ON 5G TECHNOLOGY

Стрімкий розвиток бездротових наземних та супутникових мобільних систем зв'язку на основі цифрових технологій та програмного забезпечення (штучний інтелект, нейронні мережі, великі масиви (big data) та ін.) ознаменувався технологіями 1G - 5G, 6G.

Технологія 5G передбачає:

- пікова швидкість завантаження даних на базову станцію до 20Гб/сек;
- швидкість завантаження даних до 100 Мб/сек. та вивантаження до 50 Мб/сек. для одного абоненту;
- можливість абонентському пристрою рухатись зі швидкістю до 500 км/год;
- можливість пристроям перемикатись між режимом заощадження енергії та повністю робочим за 10 мсек.;
- затримки до 4 мсек. за сприятливих умов, і до 1 мсек. для спеціалізованих з'єднань;
- поліпшена ефективність використання радіочастотного спектру: FR1- (450–6000)МГц, FR2 - (24250–52600)ГГц, зокрема (24,25–29,5)...(37–43,5) ГГц;
- обробка та накопичення даних з сенсорів на основі вбудованого комп'ютера (Raspberry Pi, Intel Edison);
- обмін інформацією між пристроями Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN;
- передача даних зі швидкістю 1(10) Гб/сек водночас для багатьох користувачів;
- можливість роботи ≥ 1 млн пристроїв на 1 км²;
- використання пристроїв типу «інтернет речей (Internet of Things, **IoT**)» з можливістю обміну інформацією між собою, всеосяжний інтернет (Internet of Everything, **IoE**), «розумні» комп'ютерні системи, віртуальну реальність, розумні міста та мережеві роботи;
- використання інтелектуальних інтерфейсів без участі людей;
- ідентифікація кожного об'єкту на основі системи унікальної ідентифікації збору та накопичення інформації може забезпечуватись за допомогою мікросхем **RFID** (Radio-Frequency Identification);
- тактильний Інтернет (Tactile Internet) для забезпечення нових якостей послуг, де передається не тільки інформація, але і відчуття, дотики, переміщення, дії.

Мережу 5G називають не «network», а «fabric» — тканина, яка забезпечує не тільки мережеві, але і розрахункові ресурси по всій мережі.

Створення технології 5G потребує впровадження нових технологій, зокрема:

- використання у базових станціях по кілька сотень **масивів MIMO**, що реалізується на основі багатоеlementних цифрових антенних решіток. У базових станціях 4G технологія MIMO має в наявності лише 8 портів для передачі та 8 для отримання даних;
- використання технології BeamForming для усунення проблем з інтерференцією хвиль через збільшення портів вводу-виведення MIMO;
- підвищення спектральної ефективності на основі неортогонального множинного доступу (NOMA) та різних варіантів неортогональних за частотою (N-OFDM) сигналів;
- кодування LDPC.

Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів

«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль 24-25 листопада 2021 року

Враховуючи вище приведені переваги мережі 5G потрібно звернути увагу на недоліки, які є присутніми у даній мережі, які на теперішній час ще не врегульовані на рівні стандартів з точки зору використання частотних діапазонів, електромагнітної сумісності з наземними мережами та супутниковими метеорологічними системами (NOAA), особливо спектри (1675 – 1680) МГц, (23,6-24) ГГц, (36-37) ГГц, 50 ГГц, яка використовується для виявлення дощу та снігу, зменшення потужності (динамічної) сигналів високих частотних діапазонів, особливо RF2, із-за погодних умов (дощ, сніг, туман) розповсюдження сигналів, інтерференція хвиль через збільшення портів вводу-виведення MIMO.

На основі цих застережень необхідно:

- установлювати антенні системи на відстанях, не більше 250м;

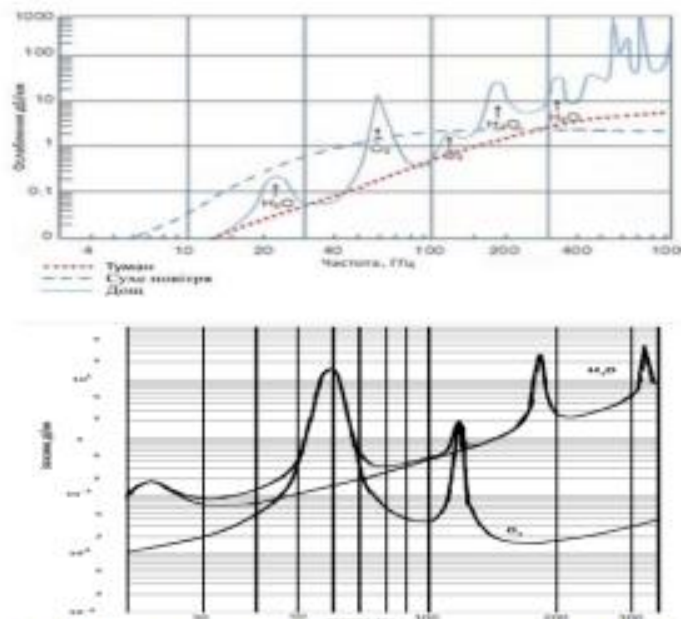


Рисунок 2. Залежність величини затушення від частоти з врахуванням (а) та без врахування (б) впливу дощу, розрахована ІТУ в 1996 році (Rec.676) [1].

- з'єднувати базові станції за допомогою оптоволоконних мереж;
- на рівні Всесвітньої конференції радіозв'язку ВКР (WRC-15, World radiocommunication conference) уточнити та розподілити частотні діапазони (2015, 2019р.).

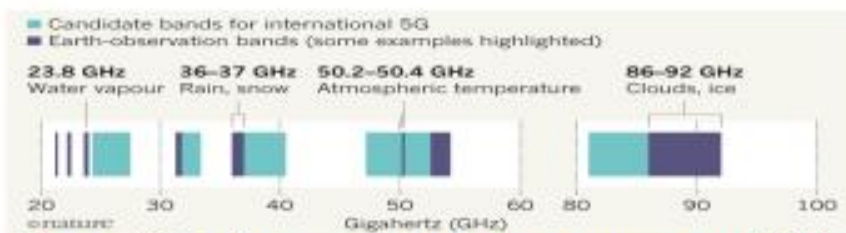


Рисунок 3. Спільні спектри з метеорологічними супутниками ДЗЗ [2].

Література:

1. Авдєєнко Г.Л. Обґрунтування частотних діапазонів для високошвидкісних безпроводових телекомунікаційних систем терагерцового діапазону. Електронне наукове фахове видання журнал «Проблеми телекомунікацій», 1(20), 2017 р.
2. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01305-4>

	77
32. Є.В. Тиш, В.В.Б. Кохан ФОРМУВАННЯ СУСПІЛЬНОЇ ДУМКИ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ПРИКЛАДІ МЕРЕЖІ TWITTER	127
33. Р. Трач, Ю. Баляс, Р. Трембач ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІБРОКОНТРОЛЮ МЛИНА	129
34. Г.І.Франчевська ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПЛОДУ НА ФОНІ МАТЕРІ ТА ШУМУ	131
35. Г.П.Химич, В.В.Демчук ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НАЗЕМНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ 5G	133
36. Г.П.Химич, І.Є.Яцюк ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТА ПІШОХІДНИМ РУХОМ НА ВУЛ. РУСЬКА МІСТА ТЕРНОПОЛЯ	135
37. О. К. Шкодзінський, М. М. Луцків, І-М. С. Смолій РОЗВИТОК ЗАСОБІВ ВЕРИФІКАЦІЇ ОСОБИ ТА ЇЇ ДІЙ ПРИ КОНТРОЛІ ЗНАНЬ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	138
38. М.І. Шоцький, В.В. Федина, С.В. Марценко ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМИ ПРИСТРОЯМИ	140
39. М.І. Шоцький, В.В. Федина ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗОНОВОЇ БЕЗПЕКИ У КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ	141
40. А. В. Юхименко, О. В. Чебанюк МЕТОДИКА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИТОКУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ ГІРОСКОП У МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ НА ОС ANDROID	142
41. В.В. Яцишин, О.О.Щербаков, М.Р.Лова АНАЛІЗ БАЗ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ГАЛУЗІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	144
42. В.В.Яцишин, В.В.Шуптарський, Д.А.Цісарук АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ У МАРКЕТИНГОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	145