

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 перемикались 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  $\geq 1$  млн пристроїв на 1 км<sup>2</sup>;
  - 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 реалізовується на основі багатоелементних 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.

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 МІМО.

На основі цих застережень необхідно:

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

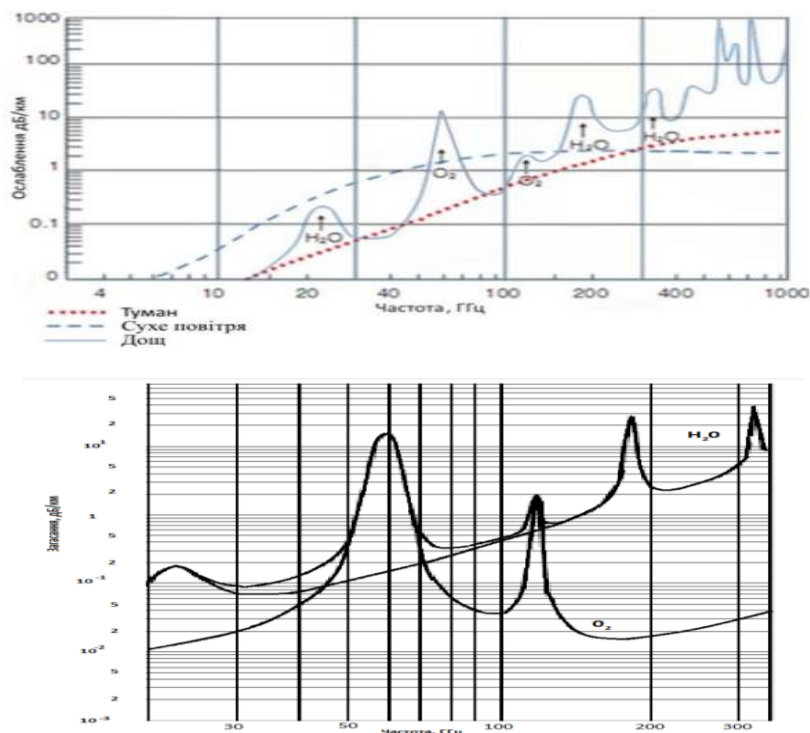


Рисунок 2. Залежність величини затухання від частоти з врахуванням (а) та без врахування (б) впливу дощу, розрахована ІТУ в 1996 році (Rec.676) [1].

- 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.).

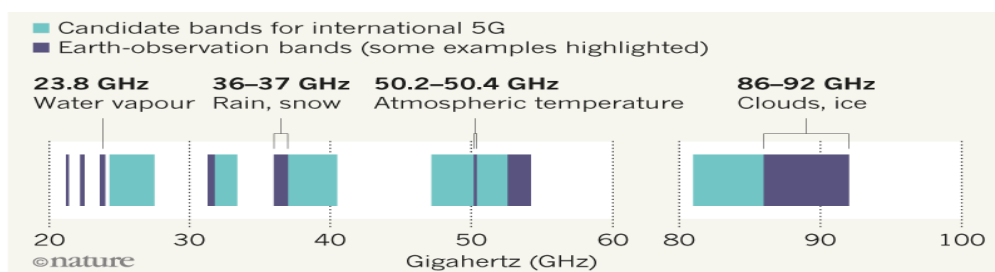


Рисунок 3. Спільні спектри з метеорологічними супутниками ДЗЗ [2].

### Література:

1. Авдєнко 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>