

**Шуста В.С.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

**Сула А.І.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

**Біганич В.Ю.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

## ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: ВІД 4G ДО 5G

*Бездротовий зв'язок полягає у передачі інформації між двома точками без будь-якого фізичного середовища. Цей тип зв'язку відбувається через простір, в якому антени передають і приймають сигнали. Поява технології бездротового зв'язку сприяє зниженню вартості фізичної інфраструктури, і люди можуть спілкуватися незалежно від свого місцезнаходження. Крім того, еволюція бездротового зв'язку принесла покращену швидкість і повсюдне підключення навіть до віддалених районів.*

*Віце-прем'єр-міністр і міністр цифрової трансформації М. Федоров повідомив про появу в Україні тестової мобільної мережі 5G. Крім того, зараз проводиться робота з покращення 4G-мереж.*

*Згідно з аналізом компанії Opensignal, в країнах, таких як Саудівська Аравія, Південна Корея, Швейцарія, Кувейт, Австралія, Іспанія та Велика Британія, швидкість завантаження в мережах 5G вже перевищує швидкість Wi-Fi.*

*Бездротовий зв'язок наразі розвивався в наступних поколіннях – 1G, 2G, 3G, 4G і 5G.*

*Стаття присвячена дослідженню особливостей мереж 5G, її відмінностей від мережі 4G. На сьогоднішній день мережі мобільного зв'язку продовжують активно розвиватися і їх можливості не обмежуються голосовими послугами. Експоненціальний ріст потоків інформації в світових мережах пов'язаний з широким поширенням пристроїв, що використовують мережі мобільного зв'язку. Розвиток мобільних мереж диктує появу нових вимог до них. Розвиток технологій прямує до збільшення продуктивності і можливостей. Тому як результат розвитку технологій 3G і 4G, з'явилась технологія, що дає ті можливості, яких не було в технологіях попередніх поколінь. Грамотне поєднання існуючих і нових технологій призводить до покращення якості послуг і поява нових послуг. 5G-мережі є результатом розвитку попередніх технологій.*

*У статті розкрито методи переходу на 5G-технології та співіснування 4G та 5G мереж. 4G-мережі залишаються провідними у всьому світі і не будуть замінені на 5G. Замість цього, 5G технології будуть використовуватися для розвитку і покращення існуючих 4G мереж, додавання нових можливостей радіодоступу для конкретних сценаріїв і цілей. Поява 5G-мереж найбільш актуальна у великих містах через високі вимоги до швидкості передачі даних, пропускної спроможності та місткості мережі, а також до часу відгуку та енергоефективності мобільних пристроїв.*

*З'ясовано, що мережі 5G мають значні переваги перед мережами 4G. Розкрито, що розвиток 5G мереж є серйозним викликом як для комунікацій, так і для ІКТ, визначено, що побудова мереж 5G потребує реконструкції існуючих мереж та використання нових технологій, що принесе нові можливості для використання у сучасному суспільстві та економіці.*

*Об'єктом дослідження є перехід від 4G-мереж до 5G-мереж.*

*Предметом дослідження є особливості мереж 5G.*

**Ключові слова:** 4G, 5G, мережеві технології, трансформація, зв'язок.

**Постановка проблеми.** Дослідження актуальних проблем сучасних мереж зв'язку дозволило визначити вимоги до 5G-технологій та спрогнозувати їх використання. Розглянуті методи переходу на 5G-технології та співіснування 4G та 5G мереж. Огляд 5G мереж та їх відмінностей від 4G мереж, а також архітектура 5G мереж та питання переходу від 4G до 5G є основними завданнями дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи побудови 5G мереж на основі існуючих мереж для подолання недостатності частотного діапазону в 5G вивчаються у разі з питаннями забезпечення ефективного підключення інтернету речей (IoT) до мобільних мереж.

У зв'язку з обмеженістю частотного діапазону для 5G, необхідні нові підходи для забезпечення

надійності передачі даних у режимі реального часу та управління системами IoT [1, с. 551; 2, с. 310]. Висота розташування деяких IoT-пристроїв може ускладнювати пряму видимість до стільникових веж, що впливає на процес прийому та передачі сигналів Command & Control і може впливати на звичайних користувачів мережі [3, с. 784]. Для вирішення цих проблем розглядаються технічні рішення, визначені у стандартах 4G LTE та 5G NR, такі як підтримка підключення кількох IoT-пристроїв, використання перевернутих стільникових базових станцій, технології масивних MIMO та альтернативні безстільникові архітектури. Однак, впровадження цих рішень може вимагати значних вкладень для короткострокової модернізації існуючих мереж [5, с. 816]. Дослідження в цьому напрямку спрямовані на оптимізацію та розширення частотного спектру для забезпечення ефективності та стійкості 5G мереж у контексті великої кількості підключених IoT-пристроїв [7, с. 322].

**Постановка завдання.** Метою статті є вивчення можливостей розвитку мереж 5G.

**Виклад основного матеріалу.** Протягом останніх десятиліть спостерігався поступовий розвиток загальнодоступних мереж зв'язку. Однак, їхні можливості були обмежені, оскільки вони були спрямовані переважно на передачу голосу [1, с. 551]. Поява стільникових мобільних мереж та Інтернету в 1990-х роках стала результатом перших значних змін у розвитку мереж для загального користування. Це призвело до ідеї конвергенції, коли мережі мали можливість передавати різноманітні дані, такі як голос, дані та відео, за тими самими правилами на основі комутації пакетів [2, с. 310].

З переходом до мереж наступного покоління з'являється шанс розвитку електронного суспільства та підвищення ролі інформаційно-комунікаційних технологій у суспільному розвитку. З розвитком бездротових технологій зростає швидкість передачі даних, мобільність і покриття. 2.5G і 3G використовують комутатори пакетів і каналів, тоді як наступні покоління 3.5G використовують комутатори пакетів. Він також розрізняє ліцензований спектр і неліцензований спектр.

Усі наступні покоління бездротових технологій використовують ліцензований спектр і мають свої особливості. Перше покоління мало дуже низьку швидкість передачі даних – до 2,4 Кбіт/с. Основними користувачами цієї технології були Advanced Mobile Phone System, Nordic Mobile Telephone і Total Access Communication System.

Проте перше покоління мало багато недоліків, таких як обмежена пропускна здатність, ненадійна передача, низька якість голосу та відсутність безпеки. Голосові дзвінки зберігалися та відтворювалися на радіовежах, що робило їх більш вразливими до небажаного прослуховування [3, с. 784].

Друге покоління мобільних телефонів з'явилося наприкінці 1990-х років. У цьому поколінні використовувалася цифрова технологія. Першою системою другого покоління була глобальна система мобільного зв'язку (GSM), що дозволяла здійснювати голосовий зв'язок і передавати дані зі швидкістю до 64 Кбіт/с. Батарея мобільного телефону другого покоління працювала довше завдяки низькій потужності радіосигналів. Також ці телефони надавали послуги коротких повідомлень та електронної пошти. Важливими технологіями другого покоління були GSM, множинний доступ із кодовим розділенням каналів (CDMA) і IS-95 [3, с. 784]. Покоління 2.5G поєднувало в собі систему стільникового зв'язку другого покоління з додатковими послугами пакетного радіозв'язку (GPRS). Ця система використовувалася у мережах другого або першого покоління і мала швидкість передачі даних до 144 Кбіт/с. Основними технологіями 2.5G були GPRS, EDGE і CDMA 2000. [3, с. 784].

Покоління 3G, створене наприкінці 2000 року, забезпечує швидкість передачі до 2 Мбіт/с і високошвидкісний мобільний доступ до послуг на основі Інтернет-протоколу (IP). В порівнянні з попереднім поколінням, 3G має покращену якість обслуговування, глобальний роумінг і покращену якість голосу. Однак, недоліками 3G є більше споживання енергії телефонами цього покоління та вища вартість планів мережі [3, с. 784]. У 21 столітті спостерігався значний розвиток сенсорних пристроїв, які стали доступні для широкого кола користувачів. Це призвело до появи бездротових сенсорних мереж та концепції Інтернету речей. Також, самоорганізовані мережі стали об'єктом досліджень для подальшого розвитку зв'язкових систем [6, с. 608; 8, с. 37].

На сьогоднішній день планується широке впровадження мереж п'ятого покоління (5G) в телекомунікаційних системах, які є ключовим компонентом цифрової економіки. Мережі 5G поєднують мобільні та фіксовані мережі зв'язку, і це дозволяє надавати високі швидкості доступу та наближати хмарні обчислення до користувачів. Ці мережі є базою для розвитку цифрової економіки за стандартом IMT 2020, але перед їх впровадженням необхідно модернізувати існуючу базу,

враховуючи проблеми з відсутністю вільних частот для 5G. Мережі 5G відрізняються здатністю надавати послуги з низькими затримками, що відкриває можливості для тактильного Інтернету та революціонує розробку та надання послуг. З метою досягнення цих цілей необхідно модернізувати існуючі технології та стратегії проектування бездротових мереж з використанням нових методів, таких як massive MIMO та великі антенні масиви. Цей підхід допомагає зменшити втрати сигналу через перегородки будівель, покращити енергоефективність та спектральні характеристики, але вимагає значних витрат на інфраструктуру.

У новій архітектурі мережі 5G використовуються різні технології, такі як massive MIMO, мережі когнітивного радіо та Інтернет речей, для оптимізації функціональних завдань та забезпечення високої швидкості передачі даних з меншими втратами потужності сигналу. Однак, зростаючий попит на швидкі та надійні мережі 5G створює виклики через обмежений частотний ресурс. Існуючі мережі попередніх поколінь та інші служби вже використовують більшість доступних діапазонів, тому необхідно знайти ефективні методи використання обмежених ресурсів для задоволення потреб 5G.

Одним із можливих рішень проблеми відсутності вільних частот для 5G є переконфігурація вже використовуваних частотних діапазонів. Це може включати перегляд виділених частот для інших служб та використання більших частотних діапазонів, які раніше вважалися менш придатними для телекомунікацій. Такий підхід потребує ретельного аналізу та координації між різними службами для максимальної ефективності використання частот. Іншим перспективним рішенням є використання технологій множинного використання спектру, що дозволяє ефективно використовувати частоти, які раніше використовувалися іншими службами. Це дозволяє 5G ділити спектр з іншими технологіями, що може значно полегшити проблему обмеженості частотного ресурсу. Для досягнення цілей 5G необхідно розробляти нові стратегії та технології для оптимізації використання частот. Розробка нових методів, які дозволяють максимально використовувати обмежені частоти, є ключовим завданням для подолання викликів, пов'язаних з відсутністю вільних частот для 5G. Дослідження показують, що більшість користувачів використовують бездротовий зв'язок у приміщенні приблизно 80 % часу, а 20 % часу – назовні.

Мобільний зв'язок стає все більш важливою галуззю світової економіки, оскільки розвивається з вражаючою швидкістю. Технологія мобільного зв'язку має значний вплив на життя та роботу людей, і цей вплив буде продовжуватися в майбутньому. Зростає залежність від мобільного зв'язку, і попит на нього постійно зростає. Останнім часом виникає конкуренція в галузі мобільного зв'язку, що призводить до швидкого розвитку технологій зберігання та обробки великих обсягів даних.

Протягом останнього часу було досягнуто значних проривів у дослідженні та розробці процесорів штучного інтелекту та обладнання, яке працює в режимі реального часу. Ці нові технології полегшують життя людей. Однак вони також ставлять перед собою великі виклики для сучасних технологій мобільного зв'язку, зокрема 5G, яка зіткнеться як з можливостями, так і з проблемами.

Для користувачів мережі 5G, це означає, що інформація буде надходити так, як вони хочуть і завжди буде доступна. Ми особисто відчуватимемо велику кількість інформації, яка буде доступна нам у будь-який час. Метою 5G є створення стійкої, зручної та економічної інформаційної екосистеми для людей. У розробці 5G будуть враховані різні особливості сучасної інформаційної ери, що дозволить користувачам насолоджуватися більш зручним та розумним життям. Зі зростанням популярності мобільних пристроїв, типи та кількість мобільних терміналів зростають експоненційно. В майбутньому передбачається зростання попиту на віртуальну реальність та розширену реальність, хмарне зберігання великих обсягів офісних даних, бездротове управління виробництвом та процесами, віддалену медичну хірургію, автоматизацію в інтелектуальних мережах, безпеку транспорту та інші аспекти. Це вимагатиме не тільки високої швидкості передачі даних для досягнення високого рівня, але й майже миттєвої реакції в реальному часі. Крім того, важливо враховувати зменшення витрат та енергозбереження.

У сучасній архітектурі бездротових мереж, коли користувачі перебувають всередині будівель, сигнали від зовнішньої базової станції повинні пройти через стіни, що може призвести до втрати сигналу, зменшення швидкості передачі даних та енергоефективності бездротового зв'язку. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано нову техніку проектування архітектури бездротової мережі 5G, яка використовує технологію massive MIMO [7, с. 608]. Ця техніка дозволяє значно зменшити втрати сигналу через стіни

будівель. На вулиці базові станції мають великі антенні масиви, які підключені до базової станції оптичними волоконними кабелями. Користувачі, які знаходяться поза будівлями, можуть використовувати великий віртуальний антенний масив для співпраці з антенними масивами базової станції. Кожна будівля має великі антенні масиви для зв'язку з зовнішніми базовими станціями через пряму видимість. Це покращує енергоефективність, пропускну здатність, швидкість передачі даних та спектральну ефективність системи, але збільшує витрати на інфраструктуру. Користувачі всередині будівель зможуть спілкуватися лише з точками бездротового доступу всередині будівлі [3, с. 784].

Архітектура мобільних мереж 5G складається з двох логічних шарів: радіомережі та хмари мережі. Радіомережа включає різні компоненти, які виконують різні функції, тоді як хмара мережевої віртуалізації містить сутності користувача та контрольного плану. Одним з прикладів спеціальної функціональності мережі, наданої як сервіс (ХaaS), є пул ресурсів. ХaaS є зв'язком між радіомережею та хмарою мережевої функціональності. Архітектура мобільних мереж 5G пояснена в [3, с. 536] (рис. 1). Ця архітектура має важливе значення як для фронт-енда, так і для мережевої зв'язності.

Основна різниця між 4G і 5G визначаються такими параметрами [9]: швидкість, затримка, покриття і пропускну здатність.

4G в даний час може забезпечувати максимальну швидкість до 100 Мбіт/сек, хоча реальна швидкість цієї мережі в реальних умовах обмежується значенням 35 Мбіт/сек.

Швидкість передачі даних в мережі 5G може бути в 100 разів швидшою, ніж у мережі 4G, з максимальною теоретичною швидкістю приблизно

20 Гбіт/с. Однак, в реальних умовах швидкість може варіюватися від 50 Мбіт/с до 3 Гбіт/с.

Але на практиці все трохи інакше. Існує три основні різновиди стандарту 5G, і кожен характеризується своєю швидкістю. Низькочастотний 5G забезпечує швидкість трохи вищу швидкості мереж 4G – з продуктивністю близько 50–250 Мбіт/с. Найшвидша версія 5G стандарту, високочастотний 5G, – може забезпечити швидкість до 3 Гбіт/с.

Затримка – проміжок часу, що необхідний для передачі пакета інформації від одного пункту до другого. Затримка ускладнює будь-який процес передачі даних, незалежно від швидкості з'єднання. У мережах 4G вона становить приблизно 50 мс, а в мережах 5G передбачається зменшення часу затримки до 1 мс.

Зменшення затримки може бути важливим для багатьох програм, оскільки технологія 5G дозволить пристроям використовувати хмарні обчислення, наприклад, для автопілотованих автомобілів, які можуть звертатися до хмарного штучного інтелекту для навігації в реальному часі.

У всьому світі існують віддалені і сільські райони, які мають проблеми з покриттям або повністю відсутнім зв'язком 4G. Розгортання мережі 5G тільки починається, тому покриття в цьому стандарті практично відсутнє за межами кількох великих міст. Для досягнення рівня покриття, подібного до мереж четвертого покоління, мережі 5G знадобиться кілька років. Крім того, новий стандарт матиме різні рівні, такі як високочастотний, середньочастотний і низькочастотний 5G, кожен з яких матиме свою власну швидкість і пропускну здатність.

Пропускна спроможність. Мережі 5G мають більшу пропускну здатність, ніж мережі 4G, оскільки технологія 5G дозволяє ефективніше

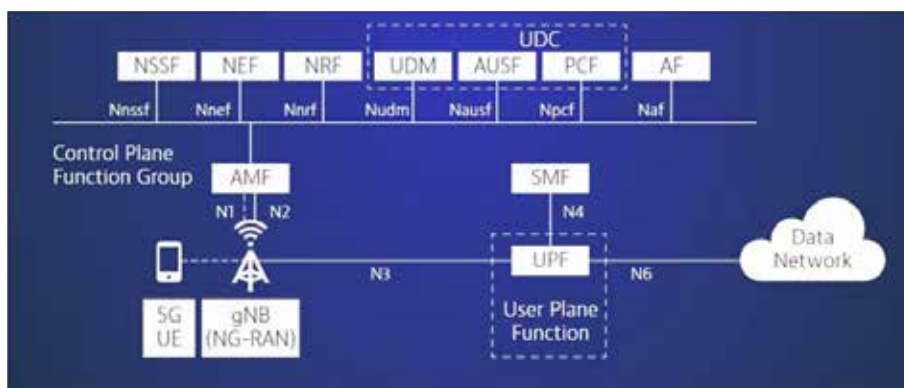


Рис. 1. Загальна архітектура мережі 5G

Джерело: сформовано на основі [3, с. 536]

використовувати доступний частотний спектр. Мережі 4G використовують лише вузьку частину спектра від 600 МГц до 2,5 ГГц, тоді як спектр частот для 5G розділений на три різних діапазони з власними смугами частот і швидкостями. Це означає, що пропускна здатність мереж 5G значно вища, ніж у мереж 4G, і будуть різні варіанти їх використання для додатків, споживачів, підприємств і галузей.

**Висновки.** Мережі 5G мають значні переваги перед мережами 4G. В той же час розвиток 5G мереж є серйозним викликом як для комунікацій, так і для ІКТ. Побудова мереж 5G потребує

реконструкції існуючих мереж та використання нових технологій, але це варто зробити, оскільки вони принесуть нові можливості для використання у сучасному суспільстві та економіці. 5G сприятиме прогресу у таких галузях, як автономні транспортні засоби, технології медицини та інші. Разом із підключеними пристроями та програмами, 5G має потенціал для цифрової трансформації та прогресу сучасної людської спільноти. Не дивлячись на складнощі впровадження цих мереж, вони обіцяють надати нам значні можливості для застосування у майбутньому.

#### Список літератури:

1. Al-Dulaimi A., Cosmas J., & Al-Raweshidy H. (Eds.). 5G and Beyond: Fundamentals and Standards. CRC Press, 2021. 543 p. DOI: 10.1007/978-3-030-58197-8.
2. Corcoran G., & Naderi M. 5G and Satellite Spectrum, Standards, and Scale. Artech House, 2021. 310 p.
3. Chih-Lin I., Han, S., Xu, Z., & Pan, Z. 5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management. Wiley, 2021. 784 p.
4. H., Toskala, A., & Nakamura, T. 5G Technology: 3GPP New Radio. Wiley, 2019. 536 p.
5. Sharma S.K., Care C.M., Le L.B. Internet of Things (IoT) and Data Analytics Handbook. John Wiley & Sons, 2017. 816 p.
6. Dahlman E., Parkvall S., & Skold J. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. Academic Press, 2018. 608 p.
7. Abd-Elhamid M., ElHajjar M., & Hanzo L. 5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components. Springer, 2018. 608 p.
8. Федоров С.О., Правило В.В. Надширокосмуговий мобільний зв'язок як один із перших сервісів 5G : матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій 2020» (13–17 квітня 2020 р., Київ). Київ, 2020. 34 с.
9. 4G і 5G: Ключові відмінності між двома поколіннями стільникових мереж. Вебсайт Технофан. 30.12.2020. URL: <https://tehnofan.com.ua/2020/12/30/4g-i-5g-klyuchovi-vidminnosti-mizh-dvoma-pokolinnnyamy-stil%CA%B9nykovykh-merezh/> (дата звернення: 13.05.2024).

#### **Shusta V.S., Susla A.I., Biganych V.Yu. TRANSFORMATION OF NETWORK TECHNOLOGIES: FROM 4G TO 5G**

*Wireless communication is the transfer of information between two points without any physical medium. This type of communication occurs through the space in which antennas transmit and receive signals. The advent of wireless communication technology helps reduce the cost of physical infrastructure, and people can communicate regardless of their location. In addition, the evolution of wireless communication has brought improved speeds and ubiquitous connectivity even to remote areas.*

*Deputy Prime Minister and Minister of Digital Transformation M. Fedorov announced the launch of a 5G test mobile network in Ukraine. In addition, work is currently underway to improve 4G networks.*

*In countries such as Saudi Arabia, South Korea, Switzerland, Kuwait, Australia, Spain and the UK, download speeds on 5G networks already exceed Wi-Fi speeds, according to analysis by Opensignal.*

*Wireless communication has currently evolved through the following generations – 1G, 2G, 3G, 4G and 5G.*

*The article is devoted to the study of the features of 5G networks, their differences from the 4G network. To date, mobile communication networks continue to actively develop and their capabilities are not limited to voice services. The exponential growth of information flows in global networks is associated with the wide spread of devices using mobile communication networks. The development of mobile networks dictates the emergence of new requirements for them. The development of technologies leads to increased productivity and capabilities. Therefore, as a result of the development of 3G and 4G technologies, a technology appeared that provides those opportunities that were not available in the technologies of previous generations. A competent combination of existing and new technologies leads to the improvement of the quality of services and the emergence of new services. 5G networks are the result of the development of previous technologies.*

*The article describes the methods of transition to 5G technologies and the coexistence of 4G and 5G networks. 4G networks remain the dominant worldwide and will not be replaced by 5G. Instead, 5G technologies will be used to develop and improve existing 4G networks, adding new radio access capabilities for specific scenarios and purposes. The emergence of 5G networks is most relevant in large cities due to high requirements for data transfer speed, bandwidth and network capacity, as well as response time and energy efficiency of mobile devices.*

*It has been found that 5G networks have significant advantages over 4G networks. It was revealed that the development of 5G networks is a serious challenge for both communications and ICT, it was determined that the construction of 5G networks requires the reconstruction of existing networks and the use of new technologies, which will bring new opportunities for use in modern society and economy.*

*The object of the study is the transition from 4G networks to 5G networks.*

*The subject of the study is the peculiarities of 5G networks.*

**Key words:** 4G, 5G, network technologies, transformation, communication.