

КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ТА ОБЛАСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

У статті розглядаються технології передачі інформації і їх місце в структурі глобальних бездротових мереж. Розглядаються також основні переваги та недоліки існуючих і нових поколінь мобільного зв'язку систем (5G), а також сфери їх застосування. Робота присвячена систематизації технологій передачі інформації і перспективних технологій систем мобільного зв'язку, адже це є необхідною умовою для створення системи передачі інформації на основі нових базисних функцій, добре локалізованих, як в частотній, так і в часовій області, з хорошим придушенням міжсимвольної та міжканальної інтерференції. В роботі наведено класифікацію технологій за дальністю зв'язку і кількістю абонентів бездротової мережі, а також основні етапи еволюції сучасних мереж мобільного зв'язку від 2G до 5G. Проведено порівняльний аналіз поколінь мобільного зв'язку. Також показані практично необмежені можливості покоління 5G в порівнянні з поколінням 4G. Наведено приклад побудови 5G мережі та етапи її розробки. Представлені в роботі результати вказують на те, що покоління мобільного зв'язку 5G витіснить старі системи мобільного зв'язку та призведе до створення нових унікальних мереж п'ятого покоління і нових сервісних можливостей, які забезпечать необмежений доступ до мережі для індивідуальних користувачів і пристроїв. Мережа 5G зможе надати платформу для підключення

великої кількості датчиків, пристроїв і машин з жорсткими обмеженнями енергії і передачі даних, що прискорить створення та впровадження Інтернету Речей.

Ключові слова: бездротові мережі мобільного зв'язку, 4G, 5G, LTE, WiMAX.

Вступ. Мобільний широкопasmовий доступ стає реальністю, оскільки тепер люди можуть користуватися Інтернетом, дивитися телевізор в русі, відправляти і отримувати відео або музику на своїх портативних пристроях [1]. Він стає частиною життя кожної людини, збільшуючи попит на більш ефективні системи мобільного зв'язку [1]. У 1946 році був винайдений перший мобільний телефон. Однак, тільки на початку 1980-х років мобільні телефони були вперше застосовані для комерційного використання [2]. До факторів, які мали великий вплив на розвиток мережевих технологій, в першу чергу слід віднести успіхи мікроелектронної індустрії, пов'язане з ними вдосконалення обчислювальної техніки і досягнення останнього часу в технології систем оптоволоконного і бездротового зв'язку [3]. Еволюція телекомунікаційних технологій відбувається за двома основними напрямками: за напрямком збільшення пропускної спроможності каналів зв'язку (насамперед оптоволоконних) і за напрямком переходу до мобільних технологій. Найближче до поняття «мобільності» знаходяться бездротові способи обміну даними, оскільки у всіх інших випадках існують певні обмеження як на ступінь рухливості пристроїв, так і на швидкість та обсяги переданих даних.

Метою даної роботи є проведення систематизації технологій передачі інформації і перспективних технологій систем мобільного зв'язку. Це є необхідною умовою для створення системи передачі інформації на основі нових базисних функцій, добре локалізованих, як в частотній, так і в часовій області, з хорошим придушенням міжсимвольної (МСІ) та міжканальної (МКІ) інтерференції.

Виклад матеріалу. Для простішого орієнтування у великій номенклатурі технологій, введемо класифікацію за дальністю зв'язку і кількістю абонентів бездротової мережі [3, 4]:

1) персональні бездротові мережі: IrDA (Infrared Data Association) – інфрачервоний порт; Bluetooth; UWB (Ultra-Wide Band); Wireless USB – бездротовий USB; Wireless HD – бездротова технологія передачі HD-відео; WiGig (IEEE 802.11ad) – технологія широкопasmового бездротового зв'язку; WHDi (Wireless Home Digital Interface) – бездротова технологія високошвидкісної передачі даних, яка оптимізована для передачі відео високої роздільної здатності; LibertyLink – технологія організації бездротової персональної мережі, розроблена компанією Aura; DECT/GAP – технологія бездротового зв'язку, яка використовується в сучасних радіотелефонах;

2) бездротові сенсорні мережі: DASH7 – стандарт, який використовує мініатюрні обчислювальні пристрої з сенсорними датчиками; Z-Wave – технологія, яка забезпечує дистанційне керування побутовою технікою і різними домашніми пристроями; Insteon – комбінована (частково дротова і частково бездротова) сенсорна мережа; EnOcean – технологія, яка використовує надмініатюрні датчики з генераторами електроенергії, мікроконтролерами і приймально-передавальними пристроями; ISA100.11a – стандарт промислових сенсорних мереж, мереж датчиків і приводів; WirelessHART – протокол передачі даних у вигляді HART повідомлень по бездротовій лінії зв'язку; MiWi – протокол, заснований на специфікації IEEE 802.15.4, для організації сенсорних та персональних мереж з низькою швидкістю передачі даних на невеликі відстані; 6LoWPAN – стандарт, що забезпечує взаємодію малих бездротових мереж (приватних мереж або мереж датчиків) з мережами IP за протоколом IPv6; One-Net – відкритий протокол для організації бездротових сенсорних мереж і мереж автоматизації будівель і розподілених об'єктів; RuBee – локальна бездротова мережа датчиків;

3) малі локальні бездротові мережі: HyperLAN 1 (High Performance Radio LAN) – стандарт, що забезпечує швидкість передачі даних до 10 Мбіт/с на відстань до 50 метрів; HyperLAN 2 – стандарт, що забезпечує швидкість передачі даних до 54 Мбіт/с на відстань до 150 метрів; Wi-Fi – сімейство стандартів специфікації IEEE 802.11 для широкопasmового радіозв'язку з діапазоном частот в районі 2.4 ГГц або 5 ГГц і швидкістю передачі даних від 2

Мбіт/с на відстань до 200 метрів; Zigbee – технологія, яка забезпечує невисоке споживання енергії та передачу даних на неліцензованій частоті 2.4 ГГц зі швидкістю до 250 кБ/с, на відстань до 75 метрів в умовах прямої видимості; RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access) – технологія бездротової передачі даних з використанням оптичного сигналу і забезпеченням швидкості до 10 Мбіт/с на відстань до 1.4 км в умовах прямої видимості;

4) великі локальні бездротові мережі: WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – технологія (WiMAX (стандарт IEEE 802.16d), WiMAX Mobile (стандарт IEEE 802.16e)), яка надає бездротовий високошвидкісний зв'язок і доступ в Інтернет на великих відстанях (WiMAX 2 (стандарт IEEE 802.16m) знаходиться в розробці); HiperMAN – бездротова технологія на базі IEEE 802.16 (європейська альтернатива технології WiMAX), призначена для пакетної передачі даних і організації бездротових IP-мереж; WiBro (Wireless Broadband) – бездротова технологія на базі стандарту IEEE 802.16e (північнокорейський аналог технології WiMAX Mobile), призначена для високошвидкісної передачі даних на великі відстані; Classic WaveLAN – технологія бездротового зв'язку, яка використовується для організації локальних мереж (бездротова альтернатива дротових мереж Ethernet і Token Ring);

5) глобальні бездротові мережі (покоління: 1G; 2G (2.5G, 2.75G); 3G (3.5G, 3.75G, 3.9G); 4G; 5G (знаходиться в розробці));

б) супутниковий зв'язок: Inmarsat – перша система загальнодоступного мобільного супутникового зв'язку, яка використовується донині, для організації зв'язку у віддалених малонаселених областях, на морському транспорті, для визначення положення абонентів, передачі даних; Global Star – супутникова система зв'язку, що забезпечує покриття землі від 70° південної широти до 70° північної широти, призначена для організації супутникового зв'язку разом зі стандартними стільниковими мережами, доповнюючи їх і забезпечуючи зв'язок з важкодоступними регіонами земної кулі; Thuraya – регіональна супутникова система телефонного зв'язку, що покриває приблизно 40% земної кулі (в основному Африку, Європу і Азію); Iridium – супутникова система зв'язку, яка забезпечує телефонний зв'язок, передачу даних і коротких повідомлень, і покриває 100% поверхні Землі, проте в деяких країнах система не працює, наприклад в Угорщині, Польщі, Північній Кореї і деяких інших країнах; ICO – система супутникового зв'язку, що забезпечує повнодуплексну передачу даних і голосу; Euteltracs – система супутникового зв'язку, яка призначена для забезпечення управління і контролю за транспортними перевезеннями в Європі та ґрунтується на передачі коротких (до 1900 символів) повідомлень, що включають необхідні дані для організації транспортних перевезень; Omnitrac – супутникова система зв'язку, яка призначена для управління і контролю за транспортними перевезеннями в США; Prodat – супутникова система зв'язку для наземних об'єктів, що використовує алгоритми і технології, які дозволяють зменшити вплив рельєфу місцевості на якість сигналу, що передається; Odyssey – супутникова система зв'язку, яка покриває від 65° південної широти до 75° північної широти і забезпечує голосовий зв'язок, передачу коротких повідомлень, електронної пошти та визначення місця розташування абонентів; ACeS (Asia Cellular System) – геостаціонарна регіональна система супутникового зв'язку із зоною покриття південно-східна Азія та Індія; Orbcom – низькоорбітальна система супутникового зв'язку, призначена для передачі коротких повідомлень і забезпечує покриття всієї поверхні Землі; Гонец-ДІМ – супутникова система зв'язку і передачі даних, яка забезпечує покриттям всю територію Росії; Полярная звезда – супутникова система зв'язку, призначена для забезпечення широкосмугового мобільного зв'язку на території Росії і приполярних областях; Глонасс – російська супутникова навігаційна система; GPS – супутникова навігаційна система, створена міністерством оборони США.

Проведемо короткий огляд існуючих поколінь мобільного зв'язку (таблиця 1), ви-ділимо їх переваги та недоліки, а також сфери їх застосування (таблиця 2) [5-16].

Таблиця 1

Основні особливості поколінь мобільного зв'язку

Поко-ління	Стандарт	Особливості	Частота, МГц	Швидкість передачі
1G	NMT (Nordic Mobile Telephone)	Вважаються першими аналоговими стільниковими системами; вузько діапазонна аналогова мобільна мережа, яка дозволяє здійснювати дзвінки і писати повідомлення (передбачена система комутації каналів)	453-457.5; 463-467.5	до 2 кбіт/с
	AMPS (Advanced Mobile Phone System)		824-849; 869-894	
	TACS (Total Access Control System); Mobitex		890-905; 935-950	
	DataTAC		80; 400; 800; 900	
				800
2G	GSM (Global System for Mobile Communications) CdmaOne (IS-95)	Вузько діапазонна бездротова цифрова мережа, що робить зв'язок більш чітким і також дає можливість використовувати комутаційну модель; впровадження цифрових сервісів даних, таких як SMS і e-mail	450; 900; 1800; 1900	до 14.4 кбіт/с
			800; 1900	до 115.2 кбіт/с
	PDC (Personal Digital Cellular)		810-888; 893-958; 1477-1501; 1429-1453	до 11.2 кбіт/с
	DAMPS		825-890	до 48.6 кбіт/с
	iDEN (integrated Digital Enhanced Network)		806-825; 851-870	до 64 кбіт/с
Проміжний після 2G (2.5G, 2.75G)	GPRS (General Packet Radio Service)	Технологія пакетної передачі даних; збільшення швидкості мереж другого покоління; наявність додаткових алгоритмів контролю і виправлення помилок; вперше використовується Інтернет-протокол IP (Internet Protocol) в мережах GSM	450; 900; 1800; 1900	до 170.2 кбіт/с
	EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)		450; 900; 1800; 1900	до 384 кбіт/с
	HSCSD		450; 900; 1800; 1900	до 57.6 кбіт/с
	CDMA2000 1X		450; 700; 800; 900; 1700; 1800; 1900; 2100	до 153 кбіт/с
	WiDEN		806-825; 851-870	до 100 кбіт/с
3G (IMT-2000)	UMTS (UTRA-FDD/W-CDMA)	Ширина смуги 5 МГц; затримка 50 мс; спектральна ефективність соти 0.5 біт/с/Гц/сота; глобальний роумінг; широкий частотний діапазон і пакетна комутація 3G пристроїв; швидке підключення до мережі Інтернет незалежно від місця розташування і часу доби; організація високошвидкісних корпоративних VPN-мереж; широкий спектр послуг мобільного мультимедіа; потужний інструмент для створення мобільних «робочих місць»	1885-2025; 2110-2200; 1710-1755; 2110-2155; 850; 900	до 384 кбіт/с
	UMTS (UTRA-TDD LCR/TD-SCDMA)			
	UMTS (UTRA-TDD HCR/TD-CDMA)			
	CDMA2000 1xEV-DO Release 0		450; 700; 800; 900; 1700; 1800; 1900; 2100	прийом до 2.4 Мбіт/с передача до 153 кбіт/с
Проміжний після 3G (3.5G, 3.75G, 3.9G)	HSPA (HSDPA, HSUPA)	Ширина смуги 5-20 МГц; затримка 20-10 мс; спектральна ефективність соти 2-4 біт/с/Гц/сота; технологія високошвидкісної пакетної передачі даних; забезпечення ефективного використання радіочастотного спектру, за рахунок застосування більш досконалих методів модуляції, при наданні послуг, які вимагають високої швидкості передачі пакетних даних, таких як доступ в Інтернет і завантаження файлів	1885-2025; 2110-2200; 1710-1755; 2110-2155; 850; 900	до 14.4 Мбіт/с до 5.7 Мбіт/с
	HSPA+			до 672 Мбіт/с до 168 Мбіт/с
	LTE (E-UTRA)		700; 750; 800; 850; 900; 1800; 1900; 1700/2100; 2300; 2500; 2600	до 300 Мбіт/с до 75 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev. A		450; 700; 800; 900; 1700; 1800; 1900; 2100	до 3.1 Мбіт/с до 1.8 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev. B			до 73.5 Мбіт/с до 27 Мбіт/с

	Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)	Підтримує ряд специфічних функцій: хендовер, idle mode і роумінг; застосовується змінний за масштабом OFDM-доступ (SOFDMA); можлива робота при наявності або відсутності прямої видимості; швидкість до 150 км/год	2300-13600	до 37 Мбіт/с до 17 Мбіт/с
	Flash-OFDM	Мобільний діапазон 30 км; розширений діапазон 55 км	450; 872	до 15.9 Мбіт/с до 5.4 Мбіт/с
	iBurst (IEEE 802.20)	Радіус соти 3-12 км; швидкість до 250 км/год; спектральна ефективність соти 13 біт/с/Гц/сота	18000	до 95 Мбіт/с до 36 Мбіт/с
4G (IMT-Advanced)	LTE Advanced (E-UTRA)	Ширина смуги 100 МГц; затримка 10 мс; спектральна ефективність соти 8 біт/с/Гц/сота; інфраструктура для 4G буде тільки пакетною, хоча старі системи готові обслуговувати існуючих користувачів; максимальна швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с для мобільного доступу і до 1 Гбіт/с для змінного або місцевого доступу	450-470; 700; 750; 800; 850; 900; 1700; 1800; 1900; 2100; 2300; 2400; 2500; 2600; 3400-4200; 4400-4990	до 1000 Мбіт/с до 375 Мбіт/с
	WiMAX (IEEE 802.16m)	Застосовується як для вирішення проблеми "останньої милі", так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам; з'єднання точок доступу Wi-Fi одна з одною та з іншими сегментами Інтернету; забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і DSL; надання високошвидкісних сервісів передачі даних і телекомунікаційних послуг; створення точок доступу, не прив'язаних до географічного положення; створення систем віддаленого моніторингу (monitoring системи)	1500-66000	до 1000 Мбіт/с (фіксований WiMAX) до 100 Мбіт/с (мобільний WiMAX)
5G		Ширина смуги 100+ МГц; спектральна ефективність соти 10+ біт/с/Гц/сота; зростання споживаного трафіку абонента в 1000 разів – до 500 Гб на користувача в місяць; збільшення кількості підключених абонентських пристроїв в соті в 10-100 разів (до 300000 на вузол); зростання M2M (machine-to-machine) пристроїв з 50 млрд. до 500 млрд.; десятикратне збільшення часу автономної роботи абонентських пристроїв з невеликим енергоспоживанням, таких як сенсори M2M; скорочення часу затримки в ланцюжку E2E (end-to-end) з 5 мс до 1 мс і менше; зниження вартості експлуатації та енергоспоживання мереж 5G до 10% від поточного споживання мереж 4G	первинний спектр: 100-6000; додатковий спектр: 6000-100000	прийом (вниз) до 10000+ Мбіт/с передача (вверх) до 5000+ Мбіт/с

Таблиця 2

Переваги і недоліки поколінь мобільного зв'язку

Покоління	Переваги	Недоліки
1G	Великий радіус дії базової станції; хороший зв'язок в передмістях і далеко від міст; відносна дешевизна організації мережі	Велика кількість перешкод у великих містах; невелика зона покриття однієї базової станції; підвищена потужність передавача базової станції
2G	Доступний напів-глобальний роумінг; підвищення конфіденційності; масштабне падіння рівня шахрайства; збільшення якості звуку за рахунок збільшення динамічного діапазону і зниження рівня шуму	Низькі швидкості; нестабільний зв'язок через пріоритет "голосу"

Проміжний після 2G	Збільшується швидкість і надійність передачі даних і зменшується сприйнятливість до перешкод	Недоступні програми: мобільне телебачення, відео-конференція, телемедицина, місцезнаходження об'єктів
3G (IMT-2000)	Більш швидкий, якісний і надійний стандарт в порівнянні зі своїм попередником; має ряд розважальних опцій: Інтернет, мобільне телебачення, відео-конференції, відео-дзвінки, MMS, ігри по мережі та ін.	Відносно висока вага мобільних терміналів поряд з низькою ємністю акумуляторних батарей; технологічні складнощі коректного забезпечення зв'язку між мережами UMTS і GSM; невеликий радіус соти (для повноцінного надання послуг він становить 1-1,5 км)
Проміжний після 3G	Значно поліпшується якість наданих Вам мультимедійних послуг (саме за рахунок високої швидкості затримка стає непомітною, а обсяг переданої інформації збільшується)	Ефект “дихання соти” (“cell breathing”) – чим більше абонентів зараз використовують дану соту, тим менше радіус її дії; при цьому максимальна швидкість “згасає” при віддаленні абонента від базової станції
4G (IMT-Advanced)	Швидкість передачі даних значно вища; доступ користувачів до IP телефонії, ширококутового Інтернету, сервісів ігр та HDTV мультимедіа; дозволить економічно більш ефективно (у порівнянні з дротовими технологіями) не тільки надавати доступ в мережу новим клієнтам, але й розширювати спектр послуг і охоплювати нові важкодоступні території; наявність функцій роумінгу і “безшовного” перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента	Не здатні вирішити наступні проблеми: вибухове зростання мобільного трафіку передачі даних – як абонентського, так і службового; перехід від з'єднань зосереджених на завданнях забезпечення зв'язку в ланцюжку “людина-людина” (H2H) або “людина-машина (сервер)” (H2M), до з'єднань “машина-машина” (M2M); необхідність скоротити капітальні витрати на розгортання мереж у порівнянні з інвестиціями, що вкладаються в мережі попереднього покоління для підвищення їх економічної ефективності
5G	Необмежений доступ до інформації та обміну даних, доступних в будь-якому місці і в будь-який час з будь-ким і з будь-чим; прогнозовані ключові послуги: мультимедійні послуги (Ultra HD відео, 3D відео, онлайн ігри), хмарні сервіси (державні послуги, бізнес додатки), сервіси віртуальної реальності (освіта, розваги), сервіси доповненої реальності (охорона здоров'я, військова промисловість, освіта, розваги), сервіси соціальних мереж (розваги, торгівля), M2M (machine-to-machine) сервіси (енергетика, транспорт, охорона здоров'я, торгівля, громадська безпека, промисловість, ЖКГ), персональні послуги (транспорт, охорона здоров'я, побутова техніка, розваги)	

Основні етапи еволюції сучасних мереж мобільного зв'язку показані на рис. 1 [17, 18].

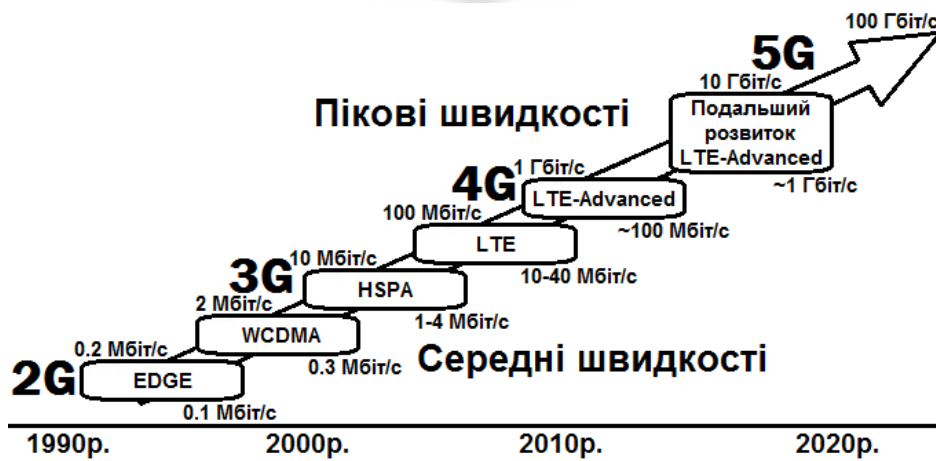


Рис. 1. Еволюція сучасних мереж мобільного зв'язку [17, 18]

Стандарт 5G – новий етап розвитку технологій, що з'єднують суспільство, який забезпечить необмежений доступ до мережі для індивідуальних користувачів і пристроїв. При розробці стандарту 5G враховуються вдосконалені можливості LTE і HSPA, а також інших технологій радіодоступу, орієнтованих на рішення конкретних завдань [19]. Це буде повністю інтегроване поєднання вдосконалених моделей бездротових і додаткових технологій, що використовуються в даний час [20].

Потенційні технології і принципи еволюційного переходу від 4G до 5G можуть бути згруповані за чотирма напрямками [14]:

1) нові радіоінтерфейси, способи передачі і прийому:

а) нові методи багаточастотної модуляції;

б) технології координації перешкод на основі перспективних методів прийому;

2) нова мережева архітектура:

а) створення ультрацільних мереж на основі малих сот за принципом “одна точка 1Tx/Rx на одного абонента”;

б) централізована архітектура (хмарні мережі радіо доступу (RAN) на основі SDR і повільно координовані центральні контролери; хмарні базові мережі CN на основі SDN);

в) багатовимірні антени MIMO;

г) еволюційні технології MIMO (активні/3D-антени MIMO);

д) фізичний розподіл трафіку і управління між площинами управління і передачі даних;

3) нові принципи і умови використання спектру:

а) використання нових діапазонів: від 6 до 100 ГГц;

б) гнучке спільне використання частотних ресурсів;

4) розумні і адаптивні мережі зв'язку:

а) використання мобільних додатків з можливістю їх оптимізації для зниження вартості радіодоступу;

б) розподіл і управління ресурсами гетерогенних мереж;

в) взаємодія між мережами різних технологій радіодоступу;

г) мережі, які самостійно налаштовуються і самостійно оптимізуються.

Практично необмежені можливості 5G в порівнянні з 4G зображені на рисунку 2.



Рис. 2. Можливості 5G в порівнянні з 4G [23]

Стандарт 5G є інтегрованим набором технологій, які вирішують проблеми широкого діапазону областей застосування і різних вимог (рисунк 3) [21].

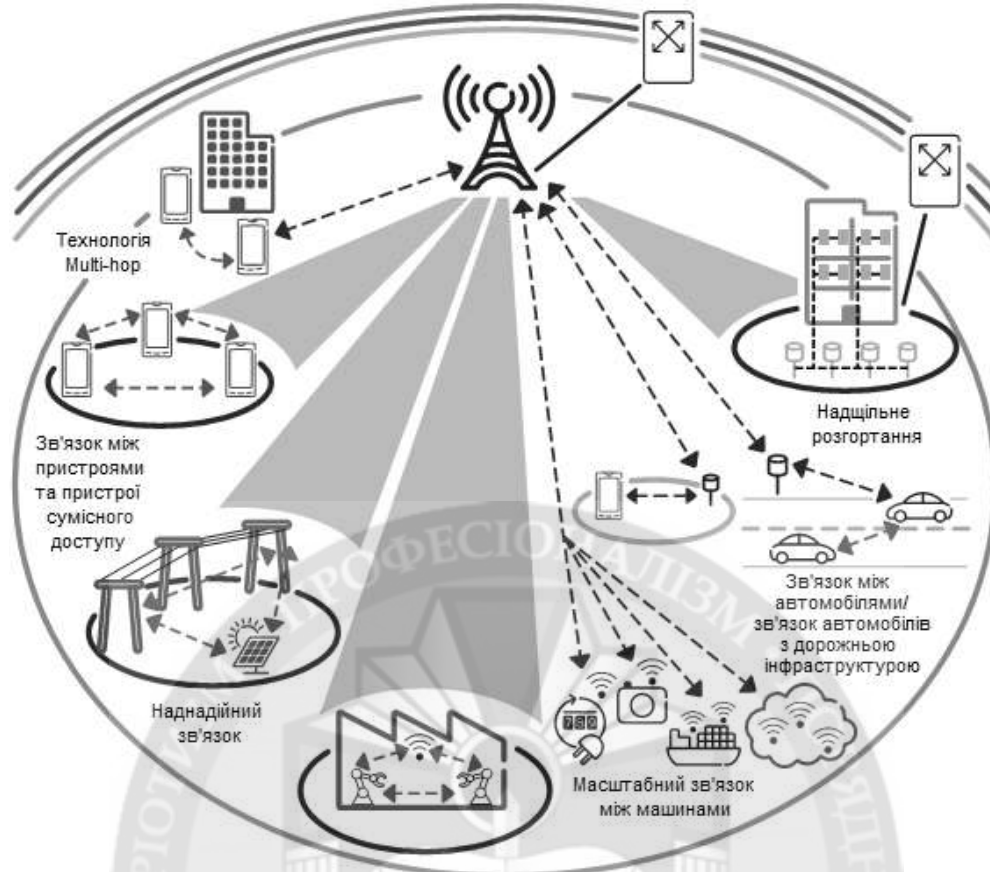


Рис. 3. Области застосування і різні вимоги до стандарту 5G [21]
Розглянемо приклад побудови 5G мережі “Розумне місто” (рис. 4) [22]



Рис. 4. Приклад побудови 5G мережі “Розумне місто” [22]

Для здійснення такого проекту необхідно пройти ряд етапів від досліджень до розгортання мережі 5G (таблиця 3) [23].

Таблиця 3

Етапи розробки мережі 5G [23]

Етапи	Опис
2014-2015 р.	Дослідницька фаза, під час якої необхідно зрозуміти детальні вимоги майбутніх систем 5G і визначити найбільш перспективну функціональну архітектуру і технологічні можливості, які будуть відповідати цим вимогам. Ці заходи будуть ґрунтуватися на попередній науково-дослідній роботі в промисловості і наукових дослідженнях структурних програм, так само як глобальні заходи в інших областях і органах стандартизації.
2015-2017 р.	Детальне дослідження системи і розвиток для всіх засобів доступу, магістральних і базових мереж (в тому числі SDN, NFV, хмарних систем та ін.), беручи до уваги економічні умови для подальшого розгортання.
2016-2018 р.	Детальна оптимізація системи з урахуванням всіх виявлених вимог і обмежень. Виявлення і аналіз частотних діапазонів, передбачених для всіх 5G комунікацій (також з урахуванням результату WRC 15), а також визначення та оптимізація остаточного варіанту системи за допомогою симуляції, перевірки концептів і раних випробуваннях. Внесок в першочергову глобальну діяльність по стандартизації, наприклад, в 3GPP. Підготовка WRC19. Підтримка регулюючих органів щодо виділення вперше виявлених смуг частот для розгортання нових систем. Нові частотні діапазони повинні бути доступні до 2020 року.
2017-2018 р.	Дослідження, прототипи, демонстраційні версії і пілотні проекти мережевого управління і експлуатації, на основі хмарних розподілених обчислень і великих обсягів даних для роботи в мережі. Розширення пілотних проектів та випробувань для не зацікавлених осіб у сфері ІКТ, щоб оцінити технічні рішення і їх вплив в реальному секторі економіки. Детальний процес стандартизації на основі затверджених концепцій системи за допомогою моделювання та, наближених до реальних, всесвітніх випробувань.
2018-2020 р.	Демонстрації, пробні випробування і масштабоване тестування різної складності, в залежності від готовності стандарту і доступності компонентів.
2020 р.	Нові частотні діапазони, доступні для розгортання пробної мережі і початкового комерційного розгортання нових систем. Наближене до комерційних систем розгортання в реальних умовах з обраними клієнтами, для підготовки до експлуатації в глобальному масштабі.

Різні технології будуть доповнювати одна одну для досягнення спільної мети забезпечення повсюдного обслуговування за допомогою мереж рухомого зв'язку 5G. Очевидно, що є величезний потенціал використання смуг спектра більш вищих частот, багатоантенних методів і розгортання малих сот, слідом за чим йдуть схеми, що підтримують міжмашинну взаємодію і скорочують енергоспоживання в мережах рухомого зв'язку. Wi-Fi має великий потенціал в якості підтримуючої технології доступу, і рішення на базі програмного забезпечення будуть відігравати важливу роль в базових мережах.

Значна частина концепцій знаходиться на раних етапах розробки. Протягом наступних п'яти років буде потрібно докласти значних зусиль в області наукових досліджень і стандартизації, для того щоб задовольнити нові потреби і вирішити завдання, пов'язані з мережею 5G. В результаті можна очікувати, що конвергентні мережі будуть енергоефективним чином забезпечувати надання широкого спектру нових послуг, а конвергенція стандартів забезпечить повсюдний доступ, створюючи повністю інтегроване бездротове майбутнє [24].

Висновки. Проведене дослідження показало, що покоління мобільного зв'язку 5G буде не тільки еволюцією мобільних широкосмугових мереж попередніх поколінь, а й призведе до створення нових унікальних мереж і сервісних можливостей. Буде забезпечена висока мобільність доступу до мережі, безперебійний доступ до Інтернету в дуже густо або малонаселених районах. До того ж, мережа 5G буде ключовим фактором для Інтернету Речей, надаючи платформу для підключення великої кількості датчиків, пристроїв і машин з жорсткими обмеженнями енергії і передачі даних. Крім того, критично необхідні послуги, що вимагають дуже високої надійності, глобального охоплення і/або дуже малого часу затримки, які до сих пір оброблялися спеціальними мережами, як правило, громадської безпеки, будуть від самого початку підтримуватися інфраструктурою мережі 5G. Також, стандарт 5G буде

інтегрувати мережі, обчислювальні ресурси і пам'ять в одну програмовану і єдину інфраструктуру, що дозволить забезпечити більш оптимізоване і динамічне використання всіх розподілених ресурсів, і призведе до зближення фіксованих, мобільних і мовленнєвих послуг.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Madhow, U. *Fundamentals of Digital Communication*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
2. Benvenuto, N. and Cherubini, G. *Algorithms for Communications Systems and their Applications*. – Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd., 2002.
3. Финогеев А. Г. Беспроводные технологии передачи данных для создания систем управления и персональной информационной поддержки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005654/62331e1-st18.pdf>.
4. Скрынников В. Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. – М.: Спорт и Культура, 2012. – 864 с.
5. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / А. Л. Гельгор, Е. А. Попов – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
6. Сукачев Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ. [3-е изд., перераб. и доп.] – О.: ОНАС им. А. С. Попова, 2013. – 256 с.
7. Skold, Johan. Research trends and IMT beyond 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Documents/Events/2014/IMT%202020%20Feb_2014%20Vietnam/Presentations/ERICSSON_Research%20trends%20and%20IMT%20beyond%202020%20%28Rev%20V%29.pdf.
8. Тихвинский В. О. Концептуальные аспекты создания 5G. / В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка // *Электросвязь*. – 2013. – №10. – С. 29-33.
9. Тихвинский В. О. Развитие сетей мобильной связи 5G. Основные задачи и ход реализации программ METIS и 5G PPP. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/09_Astana/Session_1_Tikhvinskiy_2.pdf.
10. Тихвинский В. О. От GERAN/UTRAN к LTE. Перспективы развития и эволюция технологий радиointерфейса / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.media-publisher.ru/pdf/Nom-7-8.pdf>.
11. Тихвинский В. О. Эволюция современных сетей мобильной связи 2G, 3G, 4G. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/09_Astana/Session_1_Tikhvinskiy_1.pdf
12. Тихвинский В. О. Особенности и перспективы использования радиочастотного спектра в сетях 5G. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/09_Astana/Session_2_Tikhvinskiy.pdf.
13. Стоянов В. Е. Технологии мобильной связи пятого поколения (5G). //Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 9: Новый вектор развития высшего образования и науки» посвященная дню Первого Президента Республики Казахстан. – 2013. – Т.2, ч.2. – С. 50-52.
14. Технологии мобильной связи пятого поколения (5G). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ericsson.com/res/region_RECA/docs/whitepapers/wp-5g-ru.pdf.
15. Singarajah, K. Ensuring sustainable & viable access to spectrum for satellite services and IMT / 5G services. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/danang-2015/Documents/Presentations/Kumar%20Singarajah%20-%20Sustainable%20Access%20and%205G%20-%20Clean.pdf>.
16. 5G Vision. The 5G Infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>.
17. Закржевска А. На пути к конвергентным сетям подвижной связи 5G: проблемы и современные тенденции / А. Закржевска, С. Руешп, М. С. Бергер. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://itunews.itu.int/Ru/Note.aspx?Note=5416>.

REFERENCES:

1. Madhow, U. *Fundamentals of Digital Communication*. – Cambridge: Cambridge University Press,

2008.

2. Benvenuto, N. and Cherubini, G. Algorithms for Communications Systems and their Applications. – Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd., 2002.

3. Finogeev A.G. Wireless data transmission technologies for creation of systems of management and personal information support. – Penza, Russia: Penza State University Press, 2004. – 51 p.

4. Skrynnikov V.G. Radio subsystems UMTS/LTE. – M.: Sport and Culture, 2012. – 864 p.

5. Gelgore A.L. LTE Mobile Data Transfer Technology: tutorial / A. L. Gelgor, E. A. Popov – SPb.: Publishing house of Polytechnic University, 2011. – 204 p.

6. Sukachev E. A. Cellular radio communication networks with mobile objects: tutorial [3d Edition] – O.: ONAC named by A.S. Popov, 2013. – 256 p.

7. Skold, Johan. Research trends and IMT beyond 2020. – Danang, Vietnam: Asia Pacific, 2014. – 21 p.

8. V. O. Tikhvinskiy. Conceptual aspects of creating 5G / V. O. Tikhvinskiy, G.S. Bochechka // Telecommunications. – 2013. – №10. – P. 29-33.

9. Tikhvinskiy V. O. Development of mobile communication networks 5G. Main tasks and progress of the implementation of programs METIS and 5G PPP. Astana, Kazakhstan: Prospects for the development of infocommunications: technology and sector regulation issues, 2014. – 34 p.

10. V. O. Tikhvinskiy., S.V. Terentyev. From GERAN/UTRAN to LTE. Prospects for the development and evolution of radio interface technologies. // T-Comm – Telecommunications and Transport. – 2007. – V.7-8. – P. 44-51.

11. Tikhvinskiy V. O. Evolution of modern mobile communication networks 2G, 3G, 4G. Astana, Kazakhstan: Prospects for the development of infocommunications: technology and sector regulation issues, 2014. – 62 p.

12. Tikhvinsky V.O. Features and Perspectives of Using the Radio-Frequency Spectrum in 5G Networks. Astana, Kazakhstan: Prospects for the development of infocommunications: technology and sector regulation issues, 2014. – 15 p.

13. Stoyanov V.E. Technologies of mobile communication of the fifth generation (5G). // Proceedings of the Republican Scientific and Theoretical Conference "Seipullin Readings - 9: A New Vector in the Development of Higher Education and Science" dedicated to the Day of the First President of the Republic of Kazakhstan. – 2013. – V.2, p.2. – P. 50-52.

14. Technologies of mobile communication of the fifth generation (5G). Stockholm, Sweden: Ericsson AB, 2013. – 10 p.

15. Singarajah, K. Ensuring sustainable & viable access to spectrum for satellite services and IMT / 5G services. // ITU satellite workshop on efficient use of orbit / Spectrum resource. – 2015. – 18 p.

16. 5G Vision. The 5G Infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services. // EU Commission: 5G Vision Brochure. – 2015. – 16 p.

17. Zakrzhevskaya A. On the way to convergent networks of mobile communication 5G: problems and current trends / A. Zakrzewska, S. Ruepp, M. S. Berger. ITU Scientific Conference "Kaleidoscope-2014". – 2014. – V.4. – 9 p.

Рецензент: д.т.н., доц. **Чечельницький В.Я.**, доцент кафедри інформаційної безпеки Одеського національного політехнічного університету

Брянский А.Э.

КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В статье рассматриваются технологии передачи информации и их место в структуре глобальных беспроводных сетей. Рассматриваются также основные преимущества и недостатки существующих и новых поколений мобильной связи систем (5G), а также области их применения. Работа посвящена систематизации технологий передачи информации и перспективных технологий систем мобильной связи, поскольку это является необходимым условием для создания системы передачи информации на основе новых базисных функций, хорошо локализованных как в частотной, так и во временной области с хорошим подавлением межсимвольной и межканальной интерференции. В работе приведена классификация технологий по дальности связи и количеству абонентов беспроводной сети, а также основные этапы эволюции современных сетей мобильной связи от 2G к 5G. Проведен сравнительный анализ

поколений мобильной связи. Также показаны практически неограниченные возможности поколения 5G по сравнению с поколением 4G. Приведен пример построения 5G сети и этапы ее разработки. Представленные в работе результаты указывают на то, что поколение мобильной связи 5G вытеснит старые системы мобильной связи и приведет к созданию новых уникальных сетей пятого поколения и новых сервисных возможностей, которые обеспечат неограниченный доступ к сети для индивидуальных пользователей и устройств. Сеть 5G сможет предоставить платформу для подключения большого количества датчиков, устройств и машин с жестким ограничением энергии и передачи данных, что укорот создание и внедрение Интернета Вещей.

Ключевые слова: беспроводные сети мобильной связи, 4G, 5G, LTE, WiMAX.

Bryanskiy A.E.

CLASSIFICATION OF MODERN WIRELESS SYSTEMS OF INFORMATION TRANSMISSION AND THEIR APPLICATION AREAS

The article is devoted to the study of technologies of information transmission and their place in the structure of global wireless networks. The advantages and disadvantages of existing and new generations of mobile communication systems (5G) and their application areas are also considered. The article is devoted to the systematization of information transmission technologies and advanced technologies of mobile communication systems, since this is a necessary condition for creating a system for information transferring based on new basic functions that are well localized both in the frequency and time domains with good suppression of intersymbol and interchannel interference. The paper categorizes the technologies by the range of communication and the number of subscribers of the wireless network, as well as the main evolution stages of modern mobile communication networks from 2G to 5G. A comparative analysis of mobile communication generations is carried out. Practically unlimited possibilities of the 5G generation in comparison with the 4G generation are also showed. An example of constructing a 5G network and the stages of its development are given. Results, presented in this work, indicate that the generations of mobile communication systems (5G) replace old mobile communication systems, and create the new unique networks of the fifth generation and the new service capabilities, that will provide unlimited access to the network for individual users and devices. The 5G network will be able to provide a platform for connecting a large number of sensors, devices and machines with a tight limitation of power and data transfer, which will reproach the creation and implementation of the Internet of Things.

Keywords: wireless mobile communication systems, 4G, 5G, LTE, WiMAX.