

УДК 621.391

**А.В. Яриловець**, канд. техн. наук**С.В. Зайцев**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**В.Д. Назарук**, начальник управління

Управління Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Чернігів, Україна

## АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

*Проаналізовано стан та перспективи розвитку телекомунікаційних мереж нового покоління Next Generation Network. Зроблено порівняльний аналіз розвитку систем мобільного зв'язку.*

**Вступ.** Розвиток інформаційних засобів і систем є в наш час одним із найважливіших факторів, що визначають темпи й досягнення науково-технічного прогресу. Жодна сфера людської діяльності вже не може розглядатися поза залежністю від засобів інформаційного обміну, значення яких неухильно зростає.

Розбудова сучасної інфраструктури держави неможлива без розвитку інформаційних технологій, які повинні задовольнити ріст суспільних потреб в інформаційних послугах. Цьому сприяє перехід до цифрових методів передачі повідомлень і цифрової обробки сигналів, застосування сигналів складної структури, а також різноманітних способів адаптації під час широкого використання мікропроцесорної техніки, що забезпечує інтеграцію засобів зв'язку і засобів обчислювальної техніки. На цій основі створюються інтегральні цифрові мережі, в яких досягається не тільки повна інтеграція за видами зв'язку, але й інтеграція засобів передачі, обробки, комутації, керування і контролю.

Кінцевою метою цього грандіозного процесу є створення єдиного інформаційного середовища, в основі якого лежить принцип мобільного доступу до всіх інформаційних ресурсів. Кожному жителю Землі повинен бути виділений персональний номер (IP адрес), по якому він міг би вийти в будь-яку інформаційну мережу, в будь-який час доби й в будь-якому місці, де б не знаходився. При цьому швидкість обміну даними повинна повністю задовольнити всі його інформаційні потреби.

Відбувається корінна перебудова сучасних інформаційних технологій, що пов'язана з їх переходом на IP-основу. І вже не викликає сумніву, що ми знаходимося на порозі нової науково-технічної революції, пов'язаної зі зміною концепції побудови систем зв'язку. Процес інформатизації набирає все більших обертів. Інформаційні ресурси стають стратегічними поряд з запасами руди, нафти, газу тощо.

До цього часу світові інформаційно-телекомунікаційні системи вже пережили дві революції.

Перша революція мала виключно технологічне значення та була пов'язана з переходом від аналогових принципів передачі й комутації до цифрових. Вона розпочалась у 60-х роках минулого століття й закінчилась у 80-х (в Україні, щоправда, цей процес завершився лише в 2006 році). Особливістю цієї революції стало те, що нові технології ніяк не стосувались сфери послуг, тобто для суспільства вона залишилась практично непоміченою.

Друга революція була пов'язана з появою стільникових мереж зв'язку. Від першої її відрізняє те, що вона змінила точку зору суспільства на світ телекомунікацій. Ідея, що в будь-який час і в будь-якому місці двоє людей можуть зв'язатись по телефону один з одним, виявилась настільки привабливою для всіх, що мобільний зв'язок став однією з нематеріальних цінностей суспільства.

Поступовий ріст інформатизації суспільства призвів до потреби використання комп'ютера майже в усіх сферах діяльності людини. Дані виявляються важливішими мо-

ви, комутація пакетів і пакетний трафік стають важливішими комутації каналів і мовного трафіку. Комп'ютер стає важливішим за телефон. У таких умовах розгорнуті телефонні мережі вже не здатні забезпечити необхідну пропускну здатність абонентського трафіку.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасна технологічна революція в інформаційно-телекомунікаційних системах асоціюється з концепцією мереж нового покоління (Next Generation Network – NGN), яка спрямована забезпечити потреби суспільства в інформаційному обміні за допомогою переходу від мовного трафіку до трафіку даних. NGN – це мережа на базі пакетів, що здатна надавати служби/послуги телекомунікацій та можливість використання декількох широкосмугових транспортних технологій, які забезпечують якість обслуговування і в яких функції, що належать до служб, не залежать від технологій, які стосуються транспортування [1]. Вона забезпечує вільний доступ для користувачів, за їхнім вибором і підтримує рухомість, що дає можливість постійного і повсюдного забезпечення служб для користувачів. Концепція NGN поєднує в собі технічні рішення розвитку обчислювальної техніки та цифрових засобів телекомунікацій і покликана забезпечувати максимально широкий доступ до інформаційних ресурсів світової цивілізації.

Враховуючи те, що в концепції NGN поняття канала зв'язку стало другорядним, поділ інформаційно-телекомунікаційних мереж на первинні і вторинні виявляється не ефективним. Більш ефективним стає поділ на транспортні мережі та мережі доступу, як це показано на рис.1. Під транспортною мережею розуміється сукупність мережевих елементів, що забезпечують передачу трафіку [2]. Під мережею доступу – сукупність мережевих елементів, що забезпечують доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі з метою отримання послуг [2].

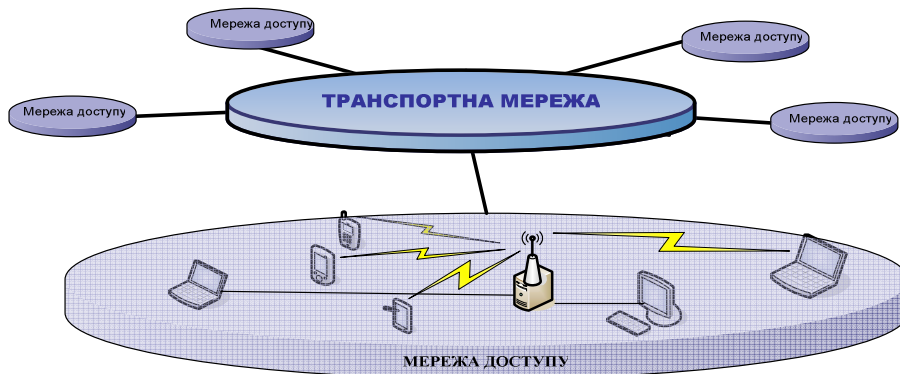


Рис. 1. Структура мережі NGN

Складність швидкого переходу до NGN пов'язана з тим, що різні мережі будуються з використанням різних інформаційних технологій і відповідно різного програмного забезпечення, яке взаємно не кореспондується. Прискорити процес переходу можливо шляхом відділення функцій надання послуг від транспортних функцій та впровадження технологій, що забезпечать взаємодію різних мереж. Це дозволить створювати нові послуги та забезпечити високий рівень їх якості, а також дасть можливість вільного підключення нових служб.

Також зрозуміло, що для пришвидшення процесів переходу телекомунікаційних систем до ідеології NGN необхідно збільшувати пропускну здатність і гнучкість транспортних мереж і мереж доступу. При цьому головне значення тут відіграє середовище передачі та обрана технологія побудови фізичного рівня мережі.

Для передачі інформації на фізичному рівні використовуються проводові та безпроводові середовища.

Головною особливістю телекомунікаційних проводових систем є штучне проводове середовище, по якому поширюються електромагнітні хвилі. Як штучне проводове середовище найбільшого поширення знайшли мідні, каоксиальні та волоконно-оптичні кабелі. Перспективи та переваги використання зазначених середовищ передачі визначаються залежно від призначення мережі.

Так, побудована в Україні протягом столітнього часу телефонна мережа загального користування ще й досі основана переважно на мідному кабелі. У наш час, на етапі впровадження нової ідеології побудови мереж, вона отримала додаткове призначення – забезпечення доступу до Інтернет за технологією DSL (функції мережі доступу).

Ще не так давно здавалося, що технології DSL розкривають невичерпні інформаційні можливості. Швидкість передачі даних 8 Мбіт/с в інтересах одного користувача вважалась вершиною очікувань. Проте вже сьогодні навіть розвинута за допомогою модемів ADSL2+ швидкість 16 Мбіт/с не дозволяє якісно забезпечити всі потрібні послуги. Незважаючи на це, на сучасному етапі поступової перебудови телекомунікаційних мереж, ці технології ще залишаються ефективними й користуються попитом. Для прикладу, в країнах Європи рівень проникнення DSL в місцеву телефонну мережу становить 40 %.

Залежність затухання сигналу в мідному й каоксиальному кабелях від частоти та від діаметра жили, а також висока вартість зменшують перспективи їх використання для побудови транспортних мереж.

Безумовним лідером серед усіх проводових середовищ передачі є волоконно-оптичні кабелі. Розвиток технології оптичних кабельних систем і поступове витіснення традиційних мідних привело до інтенсивного впровадження оптичних широкосмугових мереж. Посприяло цьому ряд переваг волоконно-оптичних кабелів, у порівнянні з іншими, а саме:

- мале загасання сигналу під час розповсюдження;
- широка смуга пропускання;
- відсутність власних зовнішніх електромагнітних випромінювань;
- можливості повного діелектричного виконання;
- можливість забезпечення високого рівня захисту даних;
- порівняно низька вартість.

Так за теоретичними розрахунками пропускна спроможність одного одномодового волокна становить 75 Тбіт/с [1]. Все більше використовуються волоконно-оптичні кабелі і для побудови мереж доступу, отримавши при цьому назву FTT (Fiber Transport To..., тобто оптична транспортна мережа доступу).

Перераховані переваги волоконно-оптичних кабелів роблять оптичні технології найбільш привабливими для побудови фізичного рівня телекомунікаційних мереж. Зрозуміло, що як основне середовище передачі транспортних мереж NGN необхідно використовувати саме волоконно-оптичні лінії зв'язку.

На сьогодні найбільш популярними технологіями побудови фізичного рівня транспортних мереж є: SDH (NGSDH), ATM, MPLS/IP, Fram Relay, DWDM, магістральний Ethernet. Принципи побудови цих технологій повністю співпадають з ідеологією NGN і при незначному їх удосконаленні вони здатні швидко інтегруватися в єдину мережу.

Якщо принципи побудови транспортної мережі NGN більш-менш зрозумілі, то з мережами доступу значно складніше. Це обумовлено тим, що вони включають у себе не тільки технології безпосереднього абонентського доступу до мереж NGN, але й традиційні абонентські технології, такі як: PDH, ISDN, абонентський Ethernet, IP, DSL, VDSL, FTTx/pon, Wi-Fi, Wi-MAX, WLL, CATV, HDTV, Fibre Chanel та інші [2-5]. Ве-

лика кількість цих технологій спричинена різноманіттям умов функціонування мереж доступу і, відповідно, їх призначеннями.

На відміну від транспортної мережі використання волоконно-оптичного кабелю для побудови мережі доступу, здебільшого, є неефективним. Це пов'язано з тим, що провідні середовища передачі роблять кінцеві пристрої (комп'ютери) статичними. Якщо для транспортної мережі така статичність є абсолютно оправданою, то для користувача відсутність доступу до мережі в будь-який час і в будь-якому місці викликає певні незручності й втрати. Крім того, вартість прокладання абонентського кабелю на значні відстані поки що досить висока.

Сьогодні у світі спостерігається стрімка тенденція до поширення саме систем безпроводового доступу, що обумовлено, насамперед, невеликою вартістю такого обладнання, простотою його використання та забезпеченням високих швидкостей передачі інформації. Безпроводові технології дозволяють будувати мережі передачі даних з усуненням потреби у використанні великої кількості кабелю. Це дозволяє скоротити час на розгортання таких мереж та створює можливість швидкої зміни кількості користувачів. Безпроводові технології забезпечують мобільність розгортання мереж передачі даних та мереж абонентського доступу на незначних за розміром територіях (будинках, кораблях, літаках), а також значно підвищують оперативність доступу до інформації в довільному місці перебування користувачів. Не викликає сумніву, що безпроводові технології складають найбільшу перспективу в розвитку мереж доступу NGN.

Враховуючи зазначене, розглянемо більш детально стан та перспективи розвитку безпроводових технологій у світі.

Отже, останнім часом спостерігаються найбільші по темпам і масштабам зростання ролі мобільного зв'язку у всіх сферах діяльності людини. Нині мобільний зв'язок є передовою галуззю телекомунікаційної індустрії, яка не має собі рівних за кількістю запропонованих послуг, гнучкості розгортання й економічної ефективності.

За призначенням системи мобільного зв'язку можливо розділити на відомчі й комерційні системи загального користування, як це показано на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація систем мобільного зв'язку

*Відомчі системи* мобільного зв'язку призначені для забезпечення виробничих спеціальних потреб органів державної й виконавчої влади, відомств і підприємств.

Ці системи, традиційно, широко використовуються силовими й правоохоронними структурами, службами суспільної безпеки, транспортними, будівельними й енергетичними компаніями в процесі виконання виробничих завдань. Характерною рисою відомчих систем радіозв'язку є те, що в цих системах активно використовується режим

зв'язку, коли абоненти об'єднані в групу. При цьому абоненти групи можуть знаходитись один від одного на значних відстанях.

Відомчі системи радіозв'язку, як видно з рис. 2, залежно від призначення розділяються на три типи:

- системи типу Public Safety, що орієнтовані на забезпечення потреб служб безпеки, міліції, пожежної охорони, швидкої медичної допомоги і т. д;

- професійні (приватні) системи PMR (Professional або Private Mobile Radio), що належать організаціям, установам, компаніям і сприяють вирішенню завдань адміністративного та виробничо-технічного значення;

- системи з загальним доступом PAMR (Public Access Mobile Radio), що забезпечують вихід відомчих абонентів у мережу загального користування, забезпечуючи при цьому великий набір послуг, та орієнтовані на широке коло користувачів.

Основу комерційної системи загального користування складають системи *стільникового зв'язку та системи безпроводового доступу*. Система стільникового зв'язку [4] – це система наземної рухомої радіослужби, що складається із замкнутої системи базових радіостанцій, які покривають наземну поверхню зонами за принципом бджолиних стільників. У цих системах застосовується стільниковий принцип просторової топології мережі, що забезпечує повторне багатократне використання одних і тих же частот (структур сигналів). Цей принцип частково розв'язує проблему дефіциту частотного ресурсу та забезпечує можливість обслуговування великої кількості абонентів на великих територіях і, тим самим, визначає успіх стільникових систем.

Системи безпроводового доступу (БД) – найновіші з різновидів мобільного радіозв'язку, основним призначенням яких є забезпечення мобільним зв'язком на невеликих територіях з надзвичайно високою щільністю трафіку до 10000 Ерл/км<sup>2</sup>, та для забезпечення високих швидкостей передачі інформації між абонентськими станціями. При цьому головною особливістю цих систем є мікро- та пікостільниковий принцип побудови, й обмеження в рухомості абонентів. Взагалі під безпроводовим доступом розуміють [3; 5] електрозв'язок з використанням радіотехнологій, під час якого кінцеве обладнання хоча б одного із споживачів може вільно переміщатися із збереженням унікального ідентифікаційного номера в межах пунктів закінчення телекомунікаційної мережі, які під'єднані до одного комутаційного центру.

На цьому етапі реалізації ідеології NGN відбувається інтеграція мобільних систем зв'язку в єдину, яка має забезпечити всі функції розглянутих вище систем. І безперечними лідерами тут виступають системи стільникового зв'язку і системи БД, які й становитимуть основу NGN. Відомчі ж системи будуватимуться на основі використання трафіку безпроводових NGN і будуть відокремлюватися від них лише за допомогою впровадження відповідних організаційних та технічних заходів на рівні абонентського устаткування. Про такий перебіг подій свідчить і те, що вже сьогодні переважна більшість радіотелекомунікаційних мереж поєднує в собі функції та послуги стільникового зв'язку та безпроводового доступу.

Так, на сьогодні існує близько 40 різних стандартів БД [3, 5]. Стислі характеристики найбільш розповсюджених стандартів наведені в табл. 1. Із таблиці видно, що для систем БД виділені діапазони частот 2,4...2,4835; 5,15...5,35; 5,67...5,85; 10...66; 2...11 ГГц. Ці діапазони частот у більшості країн призначені для безліцензійного використання в промисловості, науці і медицині [3; 5]. До систем БД висуваються високі вимоги щодо реалізації фізичного рівня, що забезпечує їх якісну роботу в умовах великої “забрудненості” смуги частот.

Загальна структура побудови мереж БД показана на рис. 3.



Рис. 3. Структура побудови мереж БД

Кожна з абонентських станцій (АС) має вільний вихід до телекомунікаційної мережі через радіоінтерфейс з базовою станцією (БС). Це забезпечує можливість обміну потоками даних як між АС, що знаходяться в зоні дії однієї БС, так і між АС, які знаходяться в робочій зоні різних БС. Всі БС з'єднані між собою через телекомунікаційну мережу. Це дозволяє забезпечити доступ до інших мереж, у тому числі і до всесвітньої інформаційної системи загального доступу Інтернет.

Стисла характеристика найпоширеніших стандартів стільникового зв'язку із зазначенням їх приналежності до одного з поколінь наведена в табл. 2. Якщо провести аналіз стандартів стільникового зв'язку (табл. 2) із стандартами безпроводового доступу (табл. 1), то не складно помітити, що на рівні четвертого покоління ці системи вже об'єднуються в єдину систему мобільного зв'язку. Деякі науковці взагалі не розрізняють ці системи і розуміють їх як єдину, а появу технологій безпроводового доступу пов'язують з третім поколінням розвитку мобільних систем зв'язку. Це обґрунтовано тим, що саме на основі розвитку стільникових систем зв'язку попередніх поколінь і виникли безпроводові системи доступу. І тут важко не погодитися. Тому в подальшому будемо використовувати поняття мобільного зв'язку, що поєднує в собі функції зазначених вище двох систем.

Розглянемо стисло розвиток мобільного зв'язку. Так нинішнім поколінням передувала передісторія становлення мобільного зв'язку, іноді іменована «поколінням 0». Основні ідеї і технічні рішення були сформовані в 40-50 роках ХХ століття, однак їх реалізація залишалася неможливою до появи мікроелектронної техніки в 80-х роках.

Зазначені стандарти передбачали використання виключно аналогових сигналів.

Таблиця 1

Аналіз стандартів безпроводового доступу

Стандарт	Найменування	Діапазон частот, ГГц	Швидкість передачі інформації, Мбіт/с	Стисла характеристика
1	2	3	4	5
802.11	WLAN	2,4 ... 2,483	до 2	Використовується <i>DSSS</i> і <i>FHSS</i> . Вид модуляції: <i>DBPSK</i> , <i>DQPSK</i> , (для <i>DSSS</i> ), <i>GFSK-2</i> та <i>GFSK-4</i> (для <i>FHSS</i> ). Радіус зв'язку до 100 м
802.11a	–	5,15 ... 5,25 5,25 ... 5,35 5,725 ... 5,825	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	Використовуються сигнали з <i>OFDM</i> , кожна піднесуча якого модулюється за допомогою <i>BPSK</i> , <i>QPSK</i> , <i>16-QAM</i> і <i>64-QAM</i> . Радіус зв'язку до 50 м
802.11b	Wi-Fi	2,4 ... 2,483	до 11	Застосовується <i>HR – DSSS</i> (використовується технологія компліментарних кодів або двійкового пакетного кодування згортаючим кодом). Вид модуляції: <i>DQPSK (CCK)</i> , <i>BPSK</i> і <i>QPSK (PBCC)</i> . Радіус зв'язку до 100 м

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
802.11d	–	2,4 ... 2,483	до 11	Універсальна форма фізичного рівня з <i>FHSS</i> . Розширює сферу дії стандарту 802.11 на країни, в яких існує обмеження за частотою
802.11e	–	2,4 ... 2,483	до 54	Визначає механізми високошвидкісної передачі даних з гарантованою якістю обслуговування при сумісності з 802.11a і 802.11b
802.11f	–	–	–	Регламентує механізми обміну службовою інформацією між точками доступу в розподілених безпроводових локальних мережах
802.11g	–	2,4 ... 2,483	1, 2, 5,5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48, 54	Використовується <i>DSSS-OFDM</i> , <i>ERP-PBCC</i> , <i>ERP-OFDM</i> . Вид модуляції <i>QPSK</i> , <i>16-QAM</i> і <i>64-QAM</i> забезпечує сумісність з 802.11b. Радіус зв'язку до 100 м
802.11h	–	5,15 ... 5,35 5,67 ... 5,85	до 54	Забезпечує управління частотним ресурсом і контроль за потужністю, яка випромінюється з використанням протоколів <i>DFS</i> і <i>TPS</i> запропоновані <i>ETSI</i>
802.11i	–	2,4 ... 2,483	до 2	Передбачається використовувати кращий механізм аутентифікації і шифрування. Доповнює <i>MAC</i> рівень доступу до середовища передачі стандарту 802.11 і фізичний рівень специфікації 802.11a
802.11j	–	4,9 5,03 ... 5,091	до 54	Регламентує роботу для суспільного використання відповідно до правил специфікації 802.11a перший діапазон для США та Японії, другий в Японії
802.11k	–	Визначається керуючими органами країн	–	Регламентує передачу між точками доступу спеціальних даних для додатків вищого рівня. Визначає алгоритм ефективного вибору частот
802.11n	–	2,4 ... 2,483 5,15 ... 5,35 5,67 ... 5,85	до 100	Розширює можливості специфікації 802.11g з використанням нових одночипових <i>WLAN</i> адаптерів
802.11r	–	–	–	Регламентує швидкий хендовер клієнтських пристроїв між різними точками доступу. Основу технології взято з документів 802.11i і 802.11k
802.15.1	<i>Bluetooth</i> , <i>WPAN</i>	2,4 ... 2,483	1 (асиметричний 0,7323/0,057, або повнодуплексний канал передачі 0,4339)	Використовує <i>FHSS</i> (1600 стрибків за секунду). Вид модуляції <i>GFSK-2</i> з <i>BT=0,5</i> . Радіус зв'язку: 1) до 10 м; 2) до 100 м
802.15.2	–	–	–	Розробка практичних рекомендацій за сумісністю пристроїв 802.11 і 802.15
802.15.3	<i>WPAN</i>	2,4 ... 2,483	11, 22, 33, 44, 55	Використовується <i>DSSS</i> . Вид модуляції <i>OQPSK</i> . Призначений для високошвидкісної передачі даних. Радіус зв'язку до 100 м
802.15.4a	<i>UWB</i>	3,1 ... 10,6	до 500	Зверхширокопосмугова високошвидкісна передача даних. Використовуються імпульси форми Гауса (ширина спектру сигналу 500 МГц) і додаткове розширення спектра методом програмного перестроювання центральної частоти імпульсу. Використовується внутрішня фазова модуляція імпульсу
802.15.4	<i>ZigBee</i> <i>IN-Home</i> <i>Net</i>	2,4 ... 2,483 0,902 ... 0,928 0,868...0,8686	до 0,25 до 0,04 до 0,02	Використовується <i>DSSS</i> . Вид модуляції <i>BPSK</i> , <i>QPSK</i> . Передбачений для автономного обладнання і побутової техніки з низьким енергоспоживанням. Радіус зв'язку до 10 м

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
802.16	BWA	10 ... 66	32 ... 134,4	Використовується радіоінтерфейс <i>WMAN-SC1</i> (модуляція однієї несучої). Вид модуляції несучої: <i>BPSK, QPSK, 16 - QAM, 64 - QAM</i> . Радіус зв'язку до 50 км
802.16a	WiMAN	2 ... 11	до 70	Використовується три види радіоінтерфейсів <i>WMAN-SC2</i> (модуляція однієї несучої), <i>WMAN-OFDM</i> (з БПФ на 256 точок) <i>WMAN-OFDM-OFDM</i> (з БПФ на 2048 точок). Вид модуляції несучої та піднесучих: <i>BPSK, QPSK, 16 - QAM, 64 - QAM, 256 - QAM</i> . Радіус зв'язку до 50 км
802.16e	WiMAX	2,4 ... 2,483 3,4 ... 3,6 5,7 ... 8,8	до 15	Використовується радіоінтерфейс <i>WMAN-OFDM-OFDM</i> (з БПФ на 2048 і 4096 точок). Вид модуляції несучої та піднесучих: <i>16 - QAM, 64 - QAM</i> . Зв'язок забезпечується при швидкості до 150 км/годину і на ліцензійній основі

Таблиця 2

## Аналіз стандартів стільникового зв'язку

Стандарт	Рік	Стисла характеристика
1	2	3
Покоління 0G		
MTS	1946	Мобільний телефонний зв'язок (Mobile Telephone Service). Система напівдуплексного радіозв'язку операторського класу із забезпеченням виходу в PSTN (до 25 каналів, діапазон частот біля 900 МГц)
AMTS	1965	Передова мобільна телефонна система зв'язку (Advanced Mobile Telephone System)
IMTS	1969	Удосконалена система мобільного телефонного зв'язку (Improved Mobile Telephone Service) – дводіапазонна система дуплексного зв'язку із забезпеченням виходу в PSTN (до 9 каналів у діапазоні 35-44 МГц, до 11 каналів у діапазоні 152-158 МГц, до 12 каналів у діапазоні 454-460 МГц; радіус дії 60 – 100 км)
Покоління 0,5G		
PALM	1971	Public Automated Land Mobile – автоматизована наземна мережа мобільного зв'язку із забезпеченням виходу в PSTN. Перша система з використанням цифрових сигналів для передачі керуючих повідомлень й аналогових сигналів для передачі голосу
ARP	1971	Auto Radio Puhelin – система автомобільного напівдуплексного (пізніше – повнодуплексного) радіозв'язку операторського класу з розміром зони обслуговування до 30 км (до 80 каналів у діапазоні частот 150 МГц)
Покоління 1G		
NMT	1979	Nordic Mobile Telephone – скандинавська дводіапазонна аналогова система мобільного стільникового радіозв'язку операторського класу, орієнтована на покриття великих територій (ширина каналу 12,5 кГц, робочий діапазон частот біля 450 й 900 МГц)
AMPS	1981	Advanced Mobile Telephone System – удосконалена рухома телефонна система мобільного зв'язку в діапазоні частот від 825 до 890 МГц (більше 600 дуплексних каналів, ширина каналу 30 кГц, потужність передавача БС 45 Вт, потужність передавача автомобільної рухомої станції – 12 Вт, потужність передавача переносного апарата – 1 Вт)
TACS	1983	Total Access Communication Systems – аналогова система радіозв'язку загального користування в частотному діапазоні біля 900 МГц (ширина каналу 25 кГц, «Європейська версія» AMPS)
Hicap	1985	Система мобільного стільникового радіозв'язку – вдосконалена версія системи NTT (Nippon Telegraph and Telephone, Японія)
Mobitex	1988	Національна загальнодоступна мережа бездротової передачі даних – система передачі даних, із загальним доступом, що включає мережеву службу двостороннього пейджингового зв'язку (ширина каналу – 12,5 кГц)
Data Tac	1990	Двудіапазонна система бездротової передачі даних, (ширина каналу 25 кГц, діапазон частот 403 – 433 МГц й 806 – 870 МГц, пропускна здатність 19,2 кбіт/с)



## Продовження табл. 2

1	2	3
PHS	1990	Personal Handy-phone System – розроблена в Японії система радіозв'язку, заснована на використанні портативних телефонів, (TDMA-TDD, діапазон частот 1880-1930 МГц, швидкість передачі даних до 32 кбіт/с)
GSM	1991	Global System for Mobile Communications – чотиридіапазонна глобальна система мобільного стільникового зв'язку (TDMA, діапазон частот 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц, модуляція GMSK, ширина каналу 200 кГц)
Digital AMPS	1991	Цифровий варіант аналогової системи AMPS (FDMA, діапазон частот 825-890 МГц, модуляція $\pi/4$ - DQPSK, ширина каналу 200 кГц)
PDC	1992	Personal Digital Cellular – стандарт персонального цифрового стільникового зв'язку (TDMA, діапазон частот 800 МГц, ширина каналу 25 кГц). Використовується тільки в Японії
CdmaOne	1995	Перша система з CDMA-доступом і прямим розширенням спектра, відома як стандарт IS-95 або TIA-EIA-95 (CDMA, робочий діапазон частот біля 800 МГц, ширина каналу 1,25 МГц, модуляція BPSK/QPSK)
CSD	1997	Circuit Switched Data – технологія передачі даних з комутацією каналів, початково розроблена для систем GSM
Покоління 2,5G		
WiDEN	1996	Wideband integrated Dispatch Enhanced Network – широкопasmово інтегрована диспетчерська вдосконалена мережа (до 4 каналів по 25 МГц, пропускна швидкість 100 кбіт/с)
GPRS	2000	General Packet Radio System – удосконалена технологія пакетної передачі даних для систем GSM (ширина каналу 200 кГц, максимальна пропускна здатність 171,2 кбіт/с)
HSCSD	2000	High-Speed Circuit Switched Data – удосконалена технологія високошвидкісної передачі даних з комутацією каналів, сумісна з GSM. Максимальна швидкість передачі даних 57,6 кбіт/с
Покоління 2.75G		
cdma2000	2000	Еволюційний варіант розвитку стандарту CdmaOne (швидкість передачі даних збільшена до 2,4 Мбіт/с, нараховує на сьогодні кілька модифікацій)
EDGE	2003	Enhanced Data rates for GSM Evolution – удосконалена цифрова технологія передачі даних для систем мобільного зв'язку GSM (TDMA, модуляція 8-PSK, максимальна швидкість передачі даних до 384 кбіт/с, ширина каналу 200 кГц)
Покоління 3G		
UMTS	1999	Universal Mobile Telecommunications System – універсальна система мобільного стільникового зв'язку технології W-CDMA (діапазон частот біля 850 МГц, 1900 МГц, 2100 МГц, ширина каналу 5 МГц, швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с)
1xEV-DO	2000	Удосконалена версія системи cdma 2000 (IS-856) (максимальна пропускна здатність по лінії «донизу» – 307 кбіт/с, максимальна пропускна здатність по лінії «наверх» – 153 кбіт/с)
FOMA	2001	Freedom of Mobile Multimedia Access – перший W-CDMA 3G сервіс японської торговельної марки NTT DoCoMo (W-CDMA/FDD, для смуги частот 1920-1980 МГц, 2110-2170 МГц)
GAN/UNA	2006	Generic access network – мережа загального доступу, раніше відома як неліцензований мобільний доступ. Забезпечує мобільні послуги GSM, GPRS у неліцензованих діапазонах частот
Покоління 3,5G		
HSDPA	2006	High-Speed Downlink Packet Access – удосконалена технологія швидкісної пакетної передачі даних по лінії «донизу» для системи W-CDMA (швидкість передачі даних до 14,4 Мбіт/с)
Покоління 3,75G		
HSUPA	2007	High-Speed Uplink Packet Access – удосконалена технологія високошвидкісної передачі даних по лінії «вверх» для систем W-CDMA (швидкість передачі даних до 5,76 Мбіт/с)
Покоління 4G		
Широке застосування технологій MIMO, MultiCarrier, CDMA (MC-CDMA), WCDMA+, OFDMA, W-OFDMA, UWB і радіо, що програмно реконфігурується (Software Defined Radio), систем WiMax та LTE		
Покоління 5G		
Не визначено		

Передавати дані в цифровій формі дозволили стандарти 1-го покоління (1G), хоча це обмежувалося тільки сигналами керування. Мова оброблялася і передавалася в аналоговому вигляді. Про послуги передачі даних навіть і розмов не було – ні SMS, ні MMS, ні, тим більше, доступу до мережі Інтернет. Мобільний телефон використовувався тільки для обміну мовною інформацією.

Перехід мобільних систем зв'язку на цифрові принципи обробки й передачі даних пов'язують з розвитком мікропроцесорної техніки та елементної бази. Так, застосування передачі мови і сигналів керування в цифровому вигляді в стандартах 2-го покоління (2G), як вже зазначалося, призвело до нової революції в галузі телекомунікацій. На цьому етапі відбувається інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки. Це змінює погляди суспільства на телекомунікаційні мережі. Виникає потреба оперативного доступу користувачів до мережі Інтернет і здійснення обміну даними між комп'ютерами та базами даних.

З часу появи стандартів 2-го покоління постійно зростають потреби в обміні даними, що призвело до еволюційного розвитку мобільного зв'язку протягом наступних двох поколінь. Розроблялися нові стандарти, які дозволяли збільшити ємність мережі й поліпшити якість обслуговування. Основною відмінною рисою мереж мобільного зв'язку 2-го й 3-го поколінь (відповідно, 2G й 3G) стала можливість передавати дані. Кожен новий стандарт забезпечував збільшення пропускної здатності каналів передачі даних, організованих на вже існуючих мережах. При цьому з самого початку ці канали були орієнтовані на передачу голосу.

Розвиток мультимедійних й інших інформаційно-ємнісних послуг вимагав постійного підвищення ефективності використання радіоспектра під час зниження питомої вартості переданих даних. Розроблялись все більш досконалі технології, направлені на збільшення продуктивності мережі шляхом підвищення спектральної ефективності під час надання послуг з високою швидкістю передачі пакетних даних.

Реалізоване в мобільних системах 3-го покоління кодове мультиплексування каналів дозволило вдвічі збільшити число користувачів на стільнику й майже втричі – обсяг передачі даних. Спільне використання загальних каналів підвищує ефективність використання ресурсів мережі з комутацією пакетів. Крім того, зменшення середньої затримки передачі пакетів з 10 мс до 2 мс поліпшило якість мультимедійних послуг.

Еволюція показала, що прагнення кожного нового покоління систем мобільного зв'язку до підтримки зворотної сумісності з попередніми, значно знижувала швидкість подальшого їх розвитку. Стало зрозумілим, що без революційного підходу не обійтись. Таким чином, на стику 3-го й 4-го поколінь відбувся своєрідний розкол. Одна частина співтовариства продовжила роботу над удосконаленням стандартів на основі GSM і CDMA, у той час як інша перейшла до розробки й впровадження принципово нових стандартів, оснований на використанні більш ефективних сигналів OFDM (OFDMA).

Поява концепції переходу телекомунікаційних мереж до рівня NGN вже зараз вимагає організації безпроводового доступу з високою швидкістю передачі даних – до 20 Мбіт/с. При цьому така швидкість має співвідноситися з основними технологіями побудови безпроводових мереж. Реалізувати це можливо підвищенням ефективності розподілу частотного ресурсу, збільшенням ефективності керування потужністю випромінювання, а також впровадженням протоколів коміркової маршрутизації (Mesh Routing Protocol) з різними шляхами між вузлами мережі. Вирішення цього завдання покладено на системи мобільного зв'язку четвертого покоління (4G) HSOPA (High Speed OFDM Packet Access).

Впровадження концепції мобільних систем зв'язку четвертого покоління остаточно поставило крапку у визначенні напрямків подальшого розвитку мереж доступу. Із

табл. 2 видно, що системи мобільного зв'язку четвертого покоління застосовують на фізичному рівні складні багаточастотні сигнали, основані на OFDM (OFDMA). При цьому ці системи вже поєднують у собі функції й переваги систем безпроводового доступу (табл.1) та стільникових систем зв'язку.

Незважаючи на значні переваги та перспективи розвитку систем мобільного зв'язку четвертого покоління, вони не здатні повністю задовольнити всі вимоги мереж доступу NGN. Тому на сьогодні залишається актуальним питання проведення їх вдосконалення. І значне місце тут відводиться розробці нових підходів до побудови фізичного рівня, що, насамперед, визначається ефективністю обраних сигнально-кодових конструкцій.

### **Висновки.**

1. Розвиток технологій фізичного рівня систем мобільного зв'язку викликаний, насамперед, переходом телекомунікацій до ідеології NGN, що обумовило потреби у високих швидкостях передачі даних, у збільшенні ефективності використання частоти та переходом до нових смуг частот.

2. Удосконалення технологій побудови фізичного рівня дозволяє підвищити якість зв'язку і збільшити електромагнітну сумісність різних радіозасобів. Свобода пересування, висока мобільність і відсутність потреби прокладки кабеля роблять мобільні системи зв'язку безперечним лідером для побудови мереж доступу NGN. Поряд із зазначеним, та враховуючи тенденції розвитку телекомунікацій, обмежена абонентська й пропускна здатність не дозволяють у найближчому майбутньому забезпечити обмін даних на рівні з проводовими мережами доступу.

3. Для вирівнювання інформаційних можливостей мобільних мереж зв'язку з проводовими мережами, необхідно переглянути підхід до побудови радіоінтерфейсу. Це можливо зробити під час використання перспективних сигнально-кодових конструкцій, побудованих на базі оптимальних багатопозиційних багаточастотних сигналів [6]. Використання цих конструкцій з ефективними методами завадостійкого кодування забезпечить високу достовірність передачі даних і дозволить підвищити частотну ефективність, збільшить гнучкість систем до потреб користувачів, а також посприє у вирішенні ряду завдань, що стоять перед мережами NGN. Для цього спочатку необхідно провести детальний аналіз технологій побудови фізичного рівня перспективних телекомунікаційних радіосистем, який і дозволить визначити напрямки подальших досліджень.

### **Список використаних джерел**

1. Ільченко М. Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2008. – 328 с.
2. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / И. Г. Бакланов. – М.: Информационно-технический центр «Эко-Трендз», 2007. – 400 с.
3. Яриловец А. В. Аналіз інформаційних можливостей сигнальних конструкцій систем безпроводового доступу стандартів IEEE 802.11 / А. В. Яриловец // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. – 2006. – Вип. 1 (12). – С. 5-14.
4. Яриловец А. В. Беспроводной доступ. Физический уровень в перспективных решениях / А. В. Яриловец, С. В. Зайцев // Сети и телекоммуникации. – 2008. – № 12. – С. 54-63.
5. Яриловец А. В. Три кита третьего поколения / А. В. Яриловец, В. Ф. Яриловец // Сети и телекоммуникации. – 2009. – № 1-2. – С. 58-65.
6. Бабіч В. Д. Радіоінтерфейс системи безпроводового доступу технології CDMA/TDMA/TDD на основі фазо-частотно-часових сигнальних конструкцій / В. Д. Бабіч, А. В. Яриловец, С. Г. Пасічник // Зв'язок. – 2007. – Вип. 2. – С.31-35.