

УДК 621.391.1.037.37

Ю.А. Харина

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ ЦИФРОВОГО ТРАНКІНГОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядаються функціональні та технічні характеристики наявних стандартів транкінгового радіозв'язку, що можуть бути використані в Національній поліції та підрозділах МВС. Порівнюються переваги та слабкі сторони цих стандартів у різних умовах використання, а також їх відмінності від звичайних громадських стандартів стільникового зв'язку. Порушується питання важливості розширення використання радіозв'язку в Національній поліції та в підрозділах МВС, а також їх потреб у різних його видах. Також розглядається питання можливої конвергенції оперативного та широкопосмугового зв'язку в майбутньому.

Ключові слова: транкінг, радіозв'язок, частота, TDMA, FDMA.

В статье рассматриваются функциональные и технические характеристики существующих стандартов транкинговой радиосвязи, которые могут быть использованы в Национальной полиции и подразделениях МВД. Сравниваются преимущества и слабые стороны этих стандартов в различных условиях использования, а также их отличия от обычных общественных стандартов сотовой связи. Поднимается вопрос важности расширения использования радиосвязи в Национальной полиции и в подразделениях МВД, а также их потребностей в различных его видах. Также рассматривается вопрос возможной конвергенции оперативной и широкополосной связи в будущем.

Ключевые слова: транкинг, радиосвязь, частота, TDMA, FDMA.

In the paper functional and technical characteristics of the existing standards of a trunking radio communication which can be used in National police and subdivisions of the Ministry of Internal Affairs are considered. Advantages and lacks of these standards in different conditions of use, and also their difference from normal public standards of cellular communication are compared. The question of an importance of the extension of use of a radio communication in National Police and in subdivisions of the Ministry of Internal Affairs, as well their needs for its different types is brought up. Also the issue of possible convergence of operative and broadband communication in the future is considered.

Keywords: trunking, radio communication, frequency, TDMA, FDMA.

Для Національної поліції та служб МВС взаємодія підрозділів є тією їх властивістю, яка хоча й опосередковано, але визначає рівень роботи служби в цілому. А рівень взаємодії підрозділів визначається, насамперед, оперативним радіозв'язком. Тому він є одним із найважливіших організаційно-технічних моментів, який забезпечує грамотне керівництво підрозділами і оперативне реагування на обстановку – а відтак і взагалі їх існування на сучасному рівні. І саме з подальшим упровадженням якісного радіозв'язку та його інтенсивним

використанням пов'язане принципове підвищення рівня керівництва підрозділами, наскільки це взагалі можливо внаслідок покращення технічних засобів.

Але, незважаючи на розвиток звичайного стільникового зв'язку останніми роками, його оперативність є незадовільною для тих задач, що ставляться перед громадськими службами та службами МВС, які потребують принципово іншої оперативності зв'язку. Відтак, радіозв'язок у цих сферах розвивається своїми шляхами, які багато в чому відрізняються від "традиційного" стільникового. Для кінцевого користувача це, перш за все, його оперативність: для встановлення каналу зв'язку строк встановлення декілька секунд, навіть десятки секунд є неприпустимим.

При впровадженні нових радіосистем, насамперед транкінгових, кожна країна бере до уваги наявні системи зв'язку, під які вже виділені частоти, використовується обладнання та інша інфраструктура. Її повна та одночасна заміна коштує надто багато, щоб не спромогтися використати вже наявну інфраструктуру на новій системі – завдяки її підтримці зворотної сумісності зі старим обладнанням. Відповідно, виробники стандартів та систем радіозв'язку, насамперед транкінгового, намагаються впровадити таку сумісність, але оскільки задля цього потрібно йти на поступки, жертвуючи тими чи іншими можливостями, то це робиться далеко не завжди.

Поділ систем за цим параметром проходить, як правило, за ступенем радіозавантаження тієї чи іншої локації, на якій передбачається використання оновленої системи. Так, є принципова різниця між об'єктами на зразок аеропортів та сільською місцевістю з невеликою густиною населення. У першому випадку є величезна потреба в ущільненні каналів зв'язку для якомога більшої ефективності використання доступного спектру, а також у постійному використанні каналів, що в цей момент не задіяні. Це означає необхідність використання каналів шириною 6,25 кГц замість більш широких 12,5 кГц, а також дієвого контролю за їх використанням.

Саме для таких умов призначений відкритий європейський стандарт транкінгового зв'язку TETRA. Його особливістю є використання фізичного каналу завширшки 25 кГц з розділенням на чотири логічних канали завдяки його часовому поділу (TDMA) на чотири часових інтервали. Один часовий інтервал становлять 18 кадрів тривалістю 14,167 мс кожний. Чотири таких інтервали формують один мультикадр тривалістю 1,02 с. Кадри кожного інтервалу рівномірно розподіляються по цьому мультикадру, перемежуючись з іншими інтервалами. Водночас останній кадр кожного інтервалу – контрольний. Він використовується для передачі сигналів керування і завдяки своїй постійній присутності в трафіку даних не перериває його, коли в цьому з'являється необхідність.

На відміну від TETRA, система DMR, яка теж заснована на часовому поділі каналів (TDMA), передає дані вдвічі вужчим каналом, 12,5 кГц, із відповідно двома часовими слотами. Це означає значно меншу смугу пропускання при передачі цифрових даних: 28,8 кбіт/с та 9,6 кбіт/с відповідно. Втричі, а не вдвічі більша смуга пропускання пояснюється використанням у стандарті TETRA методу модуляції – використовується метод диференційної квадратурної фазової модуляції зі зсувом сигналів на $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK). На відміну від неї, у стандарті DMR прийнята чотирьохрівнева частотна маніпуляція (four-level FSK).

Але при такій ефективності використання доступного радіоспектру TETRA має і значні вади порівняно з DMR (у транкінговій версії Tier III) та, наприклад, системою APCO 25 (P25). Одна з найбільших – значно менша площа покриття базової станції – для покриття тієї ж самої території потрібно в чотири рази більше радіосайтів (при тій самій частоті та енергії трансляції). У результаті розгортання системи TETRA коштує більш ніж вдвічі більше, аніж згадана вище APCO 25 для тієї ж самої площі – і це при тому, що APCO 25 теж не є найдешевшою системою. Порівняно ж з DMR Tier III різниця буде ще більшою.

Однак така вартість може бути цілком виправдана на об'єктах із відносно невеликою площею та з великою щільністю розміщення абонентів. Наприклад, аеропорт чи морський порт, велике виробництво або потужна, але локальна мілітарна чи охоронна структура, така як поліція великого міста. Крім того, на таких об'єктах можуть бути затребувані й інші функції системи TETRA, такі як відносно велика швидкість передачі мультимедійних даних порівняно з іншими транкінговими системами, розвинута система пріоритизації викликів, приховане прослуховування радіопереговорів (уповноваженими пристроями) та обстановки через пристрої, динамічне формування груп викликів диспетчером тощо.

Більше того, система може працювати, знаходячись у різних режимах залежно від завантаження та його характеру – здебільшого пакетні дані (стандарт TETRA PDO, packet data optimized), слабке, середнє чи повне мовленнєве навантаження – відповідно підлаштовуючись під задачі.

Однак існують випадки, коли всі ці функції користувачеві просто не потрібні, а пріоритетом у нього є площа покриття базової станції та легкість упровадження нової системи, в тому числі фінансова. У цьому плані у системи TETRA є суттєві недоліки, до яких додається невелика дальність прямого режиму роботи радіостанцій – не більш ніж 3 км (2 милі). Останнє зумовлене невеликою їх потужністю, яка обмежена 1 Вт.

Крім того, слід зауважити, що транкінгові мережі не призначені для пересилання великих об'ємів мультимедійних даних внаслідок того, що ці мережі становлять принципово вузькосмуговий зв'язок.

Тому великі вкладення у впровадження стандарту TETRA не у великих містах та інших подібних місцях концентрації абонентів будуть цілком нераціональними. У таких випадках TETRA зможе проявити лише свої недоліки, такі як потребу в достатньо широких каналах зв'язку, вартість обладнання та велику його потребу на одиницю площі, а також відсутність зворотної сумісності зі старими конвенційними та транкінговими аналоговими системами.

На відміну від TETRA, стандарт APCO 25 (Project 25) з'явився на зміну аналоговим транкінговим системам і призначений для використання насамперед у громадських організаціях і саме на великих площах. Власне, можливість спільної роботи з аналоговими транкінговими системами і є однією з переваг APCO 25 перед TETRA. Єдине слід зазначити, що це стосується варіанту реалізації цього стандарту Фаза 1. У Фазі 2 передбачається відсутність зворотної сумісності з аналоговими системами, у першу чергу, через перехід стандарту на розділення каналів за часом – TDMA.

А в Фазі 1 використовується метод розділення каналів за частотою – FDMA. Його застосування було визначено призначенням системи – великі площі

нерівномірного покриття із невеликим навантаженням з рідкими сплесками, оскільки саме цей метод дозволяє мати великий радіус зони обслуговування від однієї базової станції. Крім того, система дозволяє створення як багатозонової конфігурації, кількість базових станцій якої сягає 30, так і однозонової. При цьому кількість каналів однієї станції – 24.

Системи з частотним поділом каналів використовують метод модуляції GMSK (гаусівська модуляція по частоті з мінімальним зміщенням) як найбільш стійкий до перешкод, зі сталою амплітудою, що виключає погіршення сигналу за рахунок інтермодуляційних ефектів між передавачами та випромінюванням надлишкового широкосмугового шуму. Останнє важливе тим, що дає можливість обійтися без встановлення широких захисних смуг при усуненні перешкод, що створюються сусіднім системам. Системи, засновані на технології TDMA, навпаки, для захисту від таких перешкод потребують збільшення захисної смуги, що ще більше знижує їх спектральну ефективність. Це засвідчують результати моделювання можливості використання технології FDMA на устаткуванні стандарту TETRA у проекті ACROPOL (цифрова транкінгова мережа радіозв'язку для поліції Парижа, стандарт TETRAPOL): при використанні однакової кількості базових станцій для системи технології FDMA для TETRA виявилася потрібною удвічі ширша смуга частот.

Тому для систем TETRA необхідне виділення окремої цілої смуги частот. При цьому переваги, в плані економії частотного ресурсу, виявляться, насамперед, у мережах з інтенсивним трафіком, а переваги APCO 25 Фази 1 будуть виявлятися в мережах зв'язку з невисоким трафіком і широкою зоною охоплення.

У дещо аналогічних умовах проявляє свої переваги і стандарт DMR у своїй транкінговій реалізації Tier III. Як і в APCO 25, він оперує каналом завширшки 12,5 кГц, але оскільки він заснований на технології TDMA, як і TETRA, цей фізичний канал розбивається на два тайм-слоти, які утворюють два логічних канали. Порівняно з аналоговим каналом 12,5 кГц це збільшує спектральну ефективність вдвічі. Таким саме шляхом йде у своєму розвитку і APCO 25 в Фазі 2, але це дійсно тільки для мовленнєвого трафіку.

Причина вибору розбиття за часом каналу 12,5 кГц замість цілком частотного його поділу полягає в тому, що перший підхід не створює інтермодуляційну інтерференцію між сусідніми каналами 6,25 кГц, викликану неспроможністю сучасної апаратури на беззаперечний частотний поділ каналу. Крім того, згідно з законодавством деяких країн (зокрема США) на канали 6,25 кГц треба отримувати окрему ліцензію, і водночас забороняється створювати два канали на вже ліцензованому каналі 12,5 кГц. І, отже, в таких країнах при наявності вже ліцензованого каналу 12,5 кГц при використанні часового поділу множинного доступу можна фактично мати два канали; знімається необхідність мати окрему ліцензію на відміну від частотного поділу множинного доступу вже ліцензованого каналу 12,5 кГц.

Крім того, в деяких випадках (при використанні репітерів) стандарт DMR дозволяє мати два канали зв'язку з одним репітером, однією антеною та простим дуплексером. Тобто, порівняно із FDMA-рішеннями, двохслотова система TDMA дозволяє роботу на полосі 6,25 кГц із мінімальними інвестиціями в репітери та ущільнююче обладнання, що ілюструється на рис. 1.

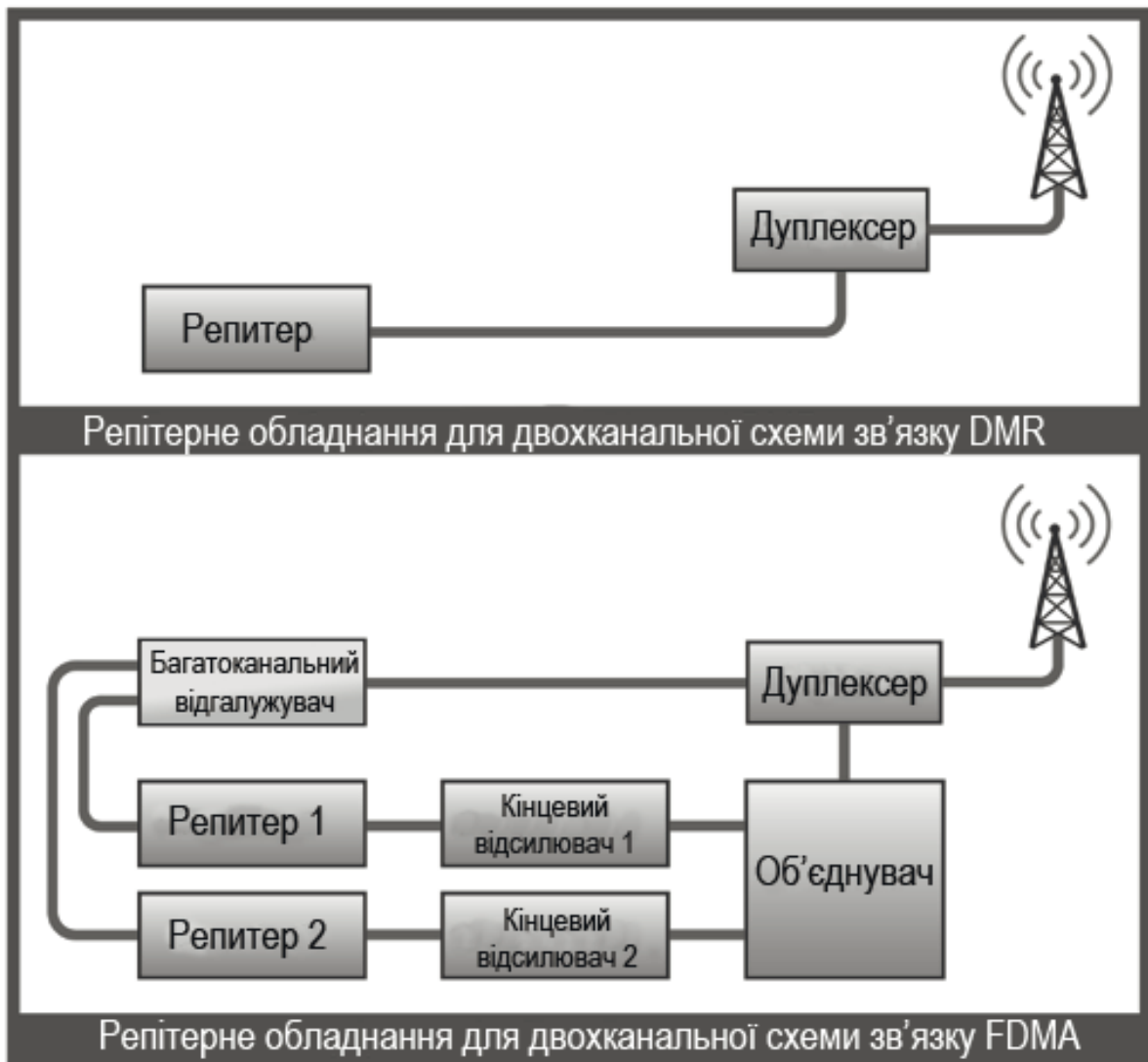


Рис. 1

Відповідно, DMR має суттєву перевагу перед Фазою 1 APCO 25 у вигляді вдвічі більшої спектральної ефективності, а перед Фазою 2 – відсутністю необхідності додаткового ліцензування радіоканалів, даючи змогу працювати на тих самих вже ліцензованих каналах 12,5 кГц та 25 кГц відповідно двома та чотирма каналами. Крім того, слід зазначити значно більшу вартість побудови системи APCO 25 порівняно із DMR.

Серед FDMA-рішень наявне і таке, що має можливість досить гнучко підлаштовуватися під потреби конкретного користувача – служби чи підприємства. Стандарт NXDN може бути побудований під конкретні вимоги, враховуючи при цьому доступний для використання спектр радіочастот, використовуючи вже встановлене аналогове обладнання тощо. Водночас він спроможний використовувати ширину каналів 6,25 кГц, а загальна вартість побудови мережі в нього одна із найнижчих.

Однак NXDN підтримується тільки двома виробниками – його розробниками Icom та Kenwood. Заразом у транкінговій версії їх продукція несумісна навіть

між собою. Враховуючи також закритість формату, можна зрозуміти, що його гнучкість досить умовна – адже в довготривалому використанні прив'язка до конкретного виробника може призвести до великих складнощів у використанні та подальшому розвитку системи радіозв'язку. Крім того, в результаті використання частотного розділу каналів портативні пристрої стандарту споживають значно більше заряду батарей, унаслідок чого час роботи між заряджанням у них помітно менший, аніж у аналогічних пристроїв TDMA. Власне, по тій же причині цей недолік стосується і ARCO 25 – якнайменше в варіанті Фаза 1, але частково і в Фаза 2.

Ще один важливий недолік NXDN – відсутність можливості одночасного ширококомовлення (simulcast). Тобто саме тієї функції, що необхідна більшості служб громадської безпеки. Наразі ця можливість не підтримується жодним виробником.

Дещо осторонь від згаданих вище стандартів стоїть широкосмуговий новітній закритий стандарт McWILL китайської компанії Xinwei, який варто розглянути. Він позиціонується виробником як універсальний стандарт радіозв'язку 4G, і, відповідно, спроектований насамперед для передачі мультимедійних даних. На це вказує навіть його назва: Multicarrier Wireless Internet Local Loop (багаточастотний бездротовий інтернет-доступ). Його ключовими технологіями є CS-OFDMA (Code Spread OFDMA, ортогональний багаточастотний доступ з частотним поділом каналів та змінним коефіцієнтом розширення), адаптивна модуляція, динамічне надання каналів, SDMA (багатостанційний доступ з просторовим розділенням каналів), TDD (дуплексування з часовим поділом каналів), надання м'якого хендоверу тощо.

При цьому McWILL забезпечує ефективне поєднання високо- та низькошвидкісних служб, таких як передача мовленнєвого трафіку, текстових повідомлень та GPS-даних.

Слід сказати декілька слів про технологію надання доступу до радіочастотного спектру, використану McWILL. Вона є комбінацією OFDMA та SCDMA (Synchron Code Division Multiple Access), і, відповідно, має переваги обох. Так, за технологією OFDMA передача даних виконується за великою кількістю піднесучих, розподіляючи таким чином основний потік даних по одночасних низькошвидкісних потоках, досягаючи великої швидкості передачі. Наявність циклічного префікса при передачі усуває можливу міжсимвольну інтерференцію. Також використовується потужне кодування потоку (методи турбокодування та LDPC-кодування) для протистояння затримкам каналу, які, звісно, значно знижують швидкість передачі.

Але множинний доступ користувачів тільки за допомогою OFDMA неможливий, тому технологія SCDMA додає до нього синхронне кодове розділення каналів, яке, як зазначалося вище, має істотні переваги перед частотним їх поділом. До цього додається дуплексна передача з часовим поділом (TDD), що спрощує застосування смарт-антен та регулювання асиметричного трафіку, а також полегшує носивну апаратуру.

Коди, що використовуються в SCDMA, генеруються для кожного абонента і є незалежними та квазіортогональними. Але в таких кодів є недолік – інтерференція, що виникає при великій кількості одночасно працюючих пристроїв. Вона є головним обмежуючим фактором ємності мережі та її пропускну здатності. Для боротьби з нею в технології SCDMA використовується декілька способів:

- 1) механізм визначення сумісної передачі (Joint detection). Для цього в сигнал від кожного абонента додається спеціальна тренувальна послідовність, яка дозволяє оцінити параметри радіоканалу на прийомному боці радіолінії (в тому числі і рівень інтерференції);
- 2) використання смарт-антен;
- 3) динамічне розподілення кодів у різних частотних діапазонах та часових інтервалах;
- 4) чітка синхронізація системи.

Таким чином, при можливості виділити полосу сигналу в 5 МГц (з п'ятьма несучими), яка вимагається стандартом McWILL, він може надати велику кількість мультимедійних можливостей, окрім низькошвидкісних транкінгових сервісів з дальністю дії 40 км (до 70 км). Фактично цей стандарт стоїть між звичайними транкінговими системами та стільниковими телефонними стандартами на зразок UMTS та CDMA2000, об'єднуючи в собі їх функції. Його важко порівнювати із згаданими вище виключно транкінговими та транкінгово-конвенціональними стандартами радіозв'язку, але, оскільки формально він відповідає критерію наявності транкінгового типу зв'язку та ще й активно розвивається в Китаї, виходячи останніми роками на міжнародний ринок, його ніяк не можна обійти увагою.

Зрозуміло, що для тих абонентів, що не потребують мультимедійних можливостей McWILL, його впровадження, швидше за все, буде недоцільним. І навпаки, при потребі в передачі великих обсягів відео- та фотоконтенту він, маючи велику ефективність у використанні спектра (15 Мбит/с у смузі 5 МГц), є найкращим з усіх розглянутих, включаючи стандарт TETRA, який в останніх своїх реалізаціях має режим передачі виключно пакетних даних, TETRA PDO (Packet Data Optimized). З іншого боку, що стосується суто мовленнєвого трафіку, то, якщо розглядати використання радіочастотного спектру тільки для нього, стандарт вимагає надто велику безперервну смугу пропускання, порівняно з іншими транкінговими стандартами. Але це не є проблемою власне стандарту, просто він є більш універсальним рішенням, аніж транкінгово-конвенційні системи. Наприклад, McWILL надає можливість інтеграції своєї мережі з мультисервісними мережами NGN та системами IP Multimedia (IMS), що додатково наближує стандарт до "традиційних" стільникових стандартів, таких як UMTS та LTE.

Підбиваючи підсумки, ми бачимо що універсальних стандартів транкінгового зв'язку не існує, і в кожному випадку при побудові чи реконструкції мережі до вибору стандарту треба підходити стратегічно, враховуючи потенційні можливості стандартів та задачі мережі, які наразі чи в майбутньому можуть ставитися перед нею.

Так, при побудові недорогої транкінгової цифрової мережі при переході від конвенціонального типу зв'язку чи від аналогової мережі оптимальним вибором буде DMR Tier III. У ньому не стандартизовано використання конкретного мовленнєвого кодеку та шифрування, що потенційно додає можливості замовити конкретне апаратне та програмне забезпечення під задачу користувача. Хоча наявне наразі обладнання на ринку використовує тільки вокодер прогресивного багатосмугового збудження (AMBE) від Digital Voice Systems, Inc.

Крім того, DMR дозволяє реалізовувати рішення в будь-якому спектрі частот від 50 МГц до 999 МГц, а не тільки в класичних діапазонах 136-174 МГц та 403-470 МГц. Водночас дуплексний рознос для рішень, що застосовують

ретрансляцію, допускається будь-який, у тому числі класичні 4,6 МГц для діапазону 160 МГц та 45 МГц для діапазону 900 МГц.

Тобто цей стандарт дозволяє здійснювати м'який перехід на цифровий транкінговий зв'язок за конкретними вихідними умовами, не вимагаючи жорсткої перебудови використання радіочастотного спектру, та в деяких умовах економити на встановленні обладнання, порівняно зі стандартами зв'язку на базі частотного поділу каналів.

Інша сфера застосування транкінгових систем радіозв'язку – об'єкти з великим навантаженням, часто більш зосереджені просторово. Тут фаворитом є інша система, теж з часовим поділом каналів зв'язку – TETRA. Серед значущих переваг цього стандарту перед іншими “класичними” транкінговими, що були тут згадані, є такі:

- великі можливості по управлінню абонентами, диспетчером мережі чи автоматичного;
- автоматична диспетчеризація усіх типів з'єднань відповідно до типу та пріоритету виклику, завантаженості мережі та прав абонентів;
- власне, розвинута система пріоритетів викликів, які включають в себе також безумовний виклик, який відключає поточне з'єднання;
- режим подвійного спостереження, що дозволяє прийом повідомлень від транкінгових абонентів та від тих, що працюють у режимі конвенціонального зв'язку;
- зв'язок радіоабонентів із абонентами телефонної мережі загального користування.

Що стосується можливого створення в майбутньому стандарту, який буде поєднувати спеціалізовані IP-мережі, а також транкінгові та традиційні стільникові, то, зважаючи на попит на спеціалізовані системи, що зберігається, на протигагу попиту на ті, що мають більш універсальні мультимедійні можливості, можна зробити висновки про не дуже велику актуальність такого стандарту на часі – особливо у світових службах на зразок Національної поліції України. Найбільш наближений з розглянутих до такого гіпотетичного стандарту – McWILL, що існує вже кілька років, незважаючи на активне його просування виробником, поки що застосовується у світі досить обмежено. Версія TETRA-2 зі швидкістю передачі пакетних даних, збільшеною до рівня стільникового стандарту EDGE, теж лише намагається зайняти певну ринкову нішу, а не замінити собою старий стандарт TETRA. Тобто створення таких нових стандартів означає лише створення нових ніш застосування, але ніяк не їх витіснення.

А ще сегрегація мереж за призначенням має під собою і виключно тактичне підґрунтя, оскільки ще не створена модель одночасного і досить повного використання всіх типів мереж в одному пристрої. Так чи інакше, акцент робиться на якомусь одному, чи то ширококутний мультимедійний зв'язок, чи вузькокутний мовленнєвий. Але в майбутньому якнайменше слід проводити дослідження щодо поєданого використання мереж радіозв'язку та створення відповідних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Comparing TETRA with P25. Tony Gray, Chairman, TCCA Critical Communications Broadband Group (CCBG), Board Member, TCCA [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.tandcca.com/>.

2. Benefits and features of DMR. White paper [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dmrassociation.org>.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rus.neicon.ru>.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.wsj.com/>.
5. White paper NXDN™. NXDN™ Forum [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.nxdn-forum.com/resources/data/2013-0221_NXDN_whitepaper.pdf.

Отримано 17.05.2016

Рецензент Марченко О.С., к.т.н.