

регіональних і міських системах зв'язку розглядаються формати DP-16QAM і DP-64QAM [2]. Перший з них при виконанні ряду умов (поліпшення необхідного OSNR, зменшення довжини прольотів) зможе використовуватися і на магістральних мережах.

Інший спосіб збільшення пропускної здатності - підвищення символної швидкості - обмежений фізичними можливостями електроніки (в даний час в обладнанні використовуються модулятори на швидкості 30 ГБод, тестуються модулятори 45 і 60 ГБод). Альтернативою є ущільнення каналів при тій же символній швидкості (наприклад, передача 30 ГБод в смузі не 50 ГГц, а 33 ГГц). Підвищення символної швидкості в заданій смузі (або скорочення смуги при тій же швидкості) також призводить до деякого зниження дальності.

В даний час активно розвивається ще один спосіб збільшення каналної швидкості - використання декількох піднесних (суперканалів, під суперканалом розуміється набір з декількох оптичних піднесних, яким можна керувати в оптичному тракті як єдиним цілим). Він не призводить до зростання ефективності використання спектра, але дозволяє надати клієнтові будь-яку необхідну каналну швидкість.

Таким чином існують три незалежні шляхи збільшення каналної швидкості систем зв'язку - підвищення символної швидкості, ускладнення формату модуляції і використання декількох піднесуть. Канальна швидкість розраховується як добуток значень за всіма трьома напрямками, при цьому необхідно передбачити ще деякий запас для реалізації завадостійкого кодування FEC. Наприклад, системи 100G: символна швидкість 30 ГБод, символна ефективність чотири біта на Бод (формат QPSK з використанням двох поляризацій), одна несна в смузі 50 ГГц; системи 400G по двом піднесним: символна швидкість 30 ГБод, символна ефективність вісім біт на Бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), дві несні в загальній смузі 100 ГГц; системи 400G по одній несній: символна швидкість 60 ГБод, символна ефективність вісім біт на Бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), одна несна в смузі 100 ГГц.

#### Список використаних джерел

3. Кобышев В. А. Рекордная производительность систем 100G как маркер перехода к эволюционному развитию ВОСП. [Текст] / В.А. Кобышев, А.В. Леонов, О.Е. Наний, В.Н. Трешиков, Р.Р. Убайдуллаев // Первая миля. - 2015. - № 6. - с. 40-43.
4. Трешиков В. Н. Разработка DWDM-системы ёмкостью 25 Тбит/с. [Текст] / В.Н. Трешиков // Фотон-Экспресс. - Март 2013. - №2(106). - с. 24-28.

Слізаренко А. О. (УкрДУЗТ),

Слізаренко І. О. (ХФ УДЦР)

УДК 656.254.16

### ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ НА МЕРЕЖАХ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ЗАЛІЗНИЦЬ

**Вступ.** В системах технологічного радіозв'язку залізниць періодично проводились роботи з модернізації та удосконалення технічних засобів радіозв'язку та розширення сфер їх застосування. Всі технічні засоби належали до однієї радіотехнології – радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби.

Подальший розвиток мереж залізничного технологічного радіозв'язку передбачає впровадження цифрових радіозасобів з освоєнням нових смуг частот в ультракоткохвильових діапазонах радіохвиль. Причому в науково – технічній літературі розглядають три найбільш перспективні цифрові радіо технології, які принципово різняться:

- радіозасоби цифрового відкритого стандарту мобільного радіозв'язку DMR;

- системи стільникового радіозв'язку GSM-R, на основі найбільш поширеного стандарту цифрового мобільного зв'язку загального користування GSM;

- широкосмугові системи радіозв'язку стандарту LTE.

Процес впровадження нових радіозасобів є багатограним і стосується усіх ланок управління рухом поїздів. В зв'язку з цим необхідна розробка концепції та програми побудови цифрових мереж технологічного радіозв'язку на основі новітніх радіотехнологій.

**Постановка проблеми.** Порівняльний аналіз основних техніко-експлуатаційних характеристик радіозасобів різних технологій та особливості їх застосування на мережах технологічного радіозв'язку залізниць.

**Основні результати.** Радіотехнології розглядають, як сукупність методів формування, передачі, прийому радіосигналів, які складають єдиний технологічний процес роботи радіозасобів.

У 2005 році Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), був розроблений стандарт DMR (Digital Mobile Radio - цифрове мобільне радіо), як єдиний відкритий загальноєвропейський стандарт цифрового мобільного радіозв'язку [1]. Він забезпечує задачі «цифровізації» систем конвенціонального радіозв'язку і дозволяє модернізувати вже існуючі аналогові мережі шляхом поступової заміни аналогового обладнання на цифрове, без порушення діючих систем технологічного радіозв'язку з частковим використанням існуючої інфраструктури.

Таким чином, впровадження радіозасобів стандарту DMR на мережах технологічного радіозв'язку залізниць забезпечує:

- використання існуючої сітки частот, що дозволяє спростити завдання перехідного періоду і забезпечити перехід на рознос частот сусідніх каналів 12,5 кГц;

- ідентичність параметрів радіостанцій по основним характеристикам радіоінтерфейсу, що дозволяє зберегти умови дальності зв'язку та ЕМС;

- збереження сформованих алгоритмів роботи мереж і прийнятої сигналізації;

- можливість одночасної передачі голосу і даних за рахунок використання часового поділу каналів.

В червні 1997 року залізничні адміністрації країн Європи зробили вибір перспективної технології технологічного радіозв'язку на користь стандарту GSM-R (GSM for Railway), створеного на основі найбільш випробуваного і поширеного у світі стандарту стільникового мобільного зв'язку GSM. Україна теж приєдналась до рішення про впровадження систем GSM-R на залізничному транспорті і в найближчій перспективі постане питання організації і проектування таких радіомереж.

Різні аспекти впровадження мереж GSM-R на залізницях широко висвітлюються в науково – технічній літературі і розроблені рекомендації з їх впровадження [2]. Окрім телекомунікаційних послуг в мережах GSM-R передбачена можливість використання радіоканалів в системах інтервального регулювання руху поїздів.

Цифрові системи DMR і GSM-R не повною мірою задовольняють зростаючі вимоги до обсягів і швидкостей передачі інформації в перспективних автоматизованих системах керування рухом поїздів. В якості перспективного напрямку розглядається технологія LTE (Long-Term Evolution), як основа для універсальної системи широкопasmового зв'язку.

Стандартом LTE передбачається реалізація системи в діапазонах від 400 МГц до 6 ГГц. Ширина радіоканалу може бути різною від 1,4 до 20 МГц. В залежності від використовуваної ширини смуги частот швидкість передачі даних від базової станції до рухомого абонента може складати 7,8 Мбіт/с при ширині смуги 1,4 МГц та може досягати 300 Мбіт/с при максимальній ширині смуги частот та невеликій дальності радіозв'язку з затримкою передачі даних до 5-10 мс. При передачі від базової станції для забезпечення множинного доступу в системі використовується технологія OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розподілом каналів). Технологія OFDM передбачає передачу широкопasmового сигналу за допомогою незалежної модуляції вузькосмугових піднесучих, розташованих з певним кроком по частоті. У висхідному каналі використовують технологію SC-FDMA (Single-carrier

frequency-division multiple access). В мережі стандарту використовується технологія багатоантенних систем (MIMO) [3].

Вимоги до систем LTE-R, використовуваних для побудови інтегрованої системи керування рухом поїздів планують розробити до 2018 року.

**Висновки.** Впровадження сучасних цифрових радіотехнологій дозволить забезпечити розвиток інформаційно-керуючих систем та підвищити ефективність управління перевізним процесом

Найбільш доцільний варіант впровадження цифрових систем технологічного радіозв'язку на сучасному етапі, це використання радіозасобів стандарту DMR. Завдяки використанню чинного частотного ресурсу та існуючої інфраструктури радіозасоби систем DMR можуть використовуватись в аналогових і цифрових мережах і не мають обмежень при впровадженні на мереж станційного і поїзного радіозв'язку для всіх категорій дільниць, окрім високошвидкісних.

Системи GSM-R доцільно використовувати для залізничних ліній зі швидкісним рухом поїздів та ліній I категорії, які призначені для концентрації основних обсягів міжнародних і внутрішніх перевезень.

Радіозасоби LTE-R орієнтовані на застосування на ділянках високошвидкісного руху пасажирських поїздів з використанням автоматизованих систем керування, які вимагають великих обсягів та швидкостей передачі і інформації.

#### Список використаних джерел

1. Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part1. DMR AIR Interface hrotocol – France. ETSI, 2007.
2. GSM-R. Procurement & Implementation Guide [Текст] / International Union of Railways-Paris, 2009. – 246 с.
3. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура [Текст] / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

*В. А. Володарский*

*(Красноярский институт железнодорожного транспорта, Россия)*

#### О ГЛУБИНЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Для описания зависимости стоимости капитального ремонта технических устройств (ТУ) от стоимости ТУ и глубины восстановления ресурса предложено уравнение вида [1]

$$Y_1 = \gamma(1 - \alpha^c), \quad (1)$$