

## АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ В МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*У статті проведений аналіз основних тенденцій розвитку засобів радіорелейного зв'язку для використання їх в мережах спеціального призначення.*

*Івченко Н.Н., Ткач В.А., Мусієнко В.А., Савченко О.Н., Загребельний О.Ю. Аналіз тенденцій розвитку засобів радіорелейної зв'язки в мережах спеціального призначення. В цій статті проведено аналіз основних тенденцій розвитку засобів радіорелейної зв'язки для їх використання в мережах спеціального призначення.*

*M. Ivchenko, V. Tcach, V. Musienko, O. Savchenko, O. Zahrebelny The analysis of tendencies of development of means of radio relay communication in networks of a special purpose. The analysis of the main tendencies of development of means of radio relay communication for their use in networks of a special purpose have been done in this article.*

**Ключові слова:** радіорелейні засоби, мережа спеціального призначення, фактори розвитку, підвищення пропускної здатності, програмно-забезпечене радіо, пакетний метод передачі інформації.

**Вступ.** В даний час, в умовах проведення АТО на сході України, анексії Криму, перед телекомунікаційними системами та мережами спеціального призначення постають сучасні вимоги до системи управління військами (силами) щодо забезпечення всіма видами телекомунікаційних послуг з визначеною якістю та відповідним рівнем захисту інформації, що циркулює в ній.

Це, в свою чергу, вимагає вирішувати ряд наукових та прикладних завдань, серед яких є забезпечення високої пропускної спроможності транспортних телекомунікаційних систем спеціального призначення, побудова їх з використанням високошвидкісних цифрових засобів зв'язку з відповідним ступенем захисту трафіку.

Одним із етапів вирішення даних задач є переоснащення силових відомств цифровими засобами радіорелейного зв'язку, як елементу резервування та нарощування, побудованих з використанням новітніх технологій.

Побудовані на застарілих технологіях зразки радіорелейних станцій які використовуються (хоча із застосуванням цифрових модемів) в форматі сьогодення не надають повноцінної можливості щодо забезпечення безперебійного обміну інформацією в системах управління спеціального призначення.

Мобільність таких станцій дуже низька, а споживча потужність обладнання дуже висока.

Ця техніка потребує значних витрат матеріально-технічних засобів, як при її експлуатації так і при проведенні технічного обслуговування та ремонту.

**Метою статті** є аналіз тенденцій розвитку засобів радіорелейного зв'язку в мережах спеціального призначення.

### Основна частина

Враховуючи передовий досвід провідних технічно розвинутих країн світу та провівши деталізований аналіз основних тенденцій розвитку радіорелейного зв'язку та застосування ними засобів радіорелейного зв'язку [1 – 3] (табл. 1) слід відмітити, що, з технічної точки зору, розвиток засобів радіорелейного зв'язку донедавна йшов традиційно в напрямку вдосконалювання їх можливостей і технічних характеристик за рахунок освоєння нових частотних діапазонів, залучення нових видів сигналів, застосування нових, у тому числі багатопозиційних методів модуляції і т.д.

Зміна парадигми безперервного часу на дискретне привело до повсюдного переходу на цифрові методи передачі й широке застосування цифрової обробки сигналів.

Що дозволило у свою чергу перейти до програмно-апаратної реалізації основних вузлів радіорелейного обладнання на основі програмувальної логіки, залученню спеціальних процесорів для автоматизації основних технологічних процесів формування й обробки сигналів [4].

В остаточному підсумку це привело до істотного зниження масогабаритних характеристик устаткування, дало реальну можливість компонувати його в одному конструктиві зовнішнього розміщення без розподілу на внутрішнє (IDU) і зовнішнє (ODU) обладнання, що розміщується на щоглі в малогабаритному радіорелейному контейнері безпосередньо з антенним обладнанням, що дає змогу розгортати радіорелейне обладнання з винесенням випромінюючих засобів на значну віддаль за межі пунктів управління.

В організаційному плані, радіорелейний зв'язок пройшов шлях від застосування ліній (одно- і багатоінтервальних та їх використання в місцевому, зонному й магістральному зв'язку) до мереж: опорних, розподільчих та доступу.

На етапі становлення мережевих структур каналоутворюючі засоби, у тому числі й засоби радіорелейного зв'язку використовувалися в інтересах так званої первинної мережі, у той час як функції засобів комутації, розподілу трафіку та його доведення до користувача виконувала вторинна мережа.

Таблиця 1

## Аналіз застосування засобів радіорелейного зв'язку провідними країнами світу

Пара метр Тип PRC, виробник	Діапазон робочих частот (НАТО), МГц	Швидкість передачі даних, Мбіт/с	Адаптивна зміна модуляції	Використ технолог ї XPRC	Завадоза хист	Шифрува ння трафіку	Робота в режимах PTR, PMP	Побудова Mesh- мереж	Вискошви дкісний Ethernet	Волокон. оптичний інтерфейс	SDR- архітектура
Ultra ORION GRC- 245C, Канада [1]	1350-1850 (B3) 1350-2690 (B3+) 4400-5000 (B4) LTE (700)	до 1Гбіт/с (в системі)	так	так	ППРЧ, AFC, APC	AES-256 FIPS 140 рівня 2	так	так	Gigabit Ethernet	1000 Base-LX оптичний SFP	так
Harris RF- 7800W, США [2]	4400-5875	428	так	так (як опція)	APC	AES-256 FIPS 140 рівня 2	так	як опція	Gigabit Ethernet	так (як опція)	так
GRC- 8000, Ізраїль [3]	4400-5000 (B4)	200 в режимі HC (підвищ потужн)	так	так (як опція)	ППРЧ, AFC, APC	AES-256 FIPS 140 рівня 2	так	як опція	Gigabit Ethernet	так (як опція)	так

Можливо виділити основні пріоритетні напрямки підвищення якості передачі інформації посадовим особам органів управління, що в своїй сукупності впливають на стійкий розвиток радіорелейного зв'язку та збереження його високої питомої ваги в системах зв'язку спеціального призначення (рис. 1).



Рис. 1. Основні пріоритетні напрямки підвищення якості передачі інформації посадовим особам органів управління (з високою достовірністю та швидкістю)

Проаналізувавши основні пріоритетні напрямки підвищення якості передачі інформації необхідно виділити техніко-технологічні фактори розвитку засобів радіорелейного зв'язку:

можливості щодо впровадження автоматизації в керування процесами встановлення й ведення зв'язку;

можливості щодо адаптивного регулювання потужності, зміни режимів роботи радіорелейного обладнання, безперервного контролю якості зв'язку і його підтримка на заданому рівні;

документування (ведення архіву подій і т.д.);

використання програмно-орієнтованої архітектури при побудові радіопристрою, що в подальшому призведе до зміни (збільшення) функціоналу радіорелейної станції без апаратного втручання в неї, а лише на програмному рівні (через оновлення програмного забезпечення) [4];

можливості щодо зручності користування устаткуванням, доступність інтерфейсу при налаштуванні обладнання та подальшого його використання;

можливості щодо реалізації дистанційного паролізованого доступу до керування устаткуванням як на всій радіорелейній лінії так і улюбій точці на заздалегідь визначених інтервалах з наданням різних рівнів доступу посадовим особам чергових обслуг до цього процесу і т.д.;

доповнення радіорелейного обладнання елементами вторинної мережі (комутаторами, маршрутизаторами);

зниження енергетики радіорелейної лінії без погіршення якості зв'язку;

необхідність пошуку й застосування простих недорогих технічних (у тому числі й інтерфейсних) комплексних рішень для доведення різномірної інформації безпосередньо до командира, у тому числі при перебуванні його в русі (використання технологій пакетної передачі даних з створенням MESH-мереж), при роботі в умовах межсимвольної інтерференції й складної радіоелектронної обстановки (застосування сигнально-кодових конструкцій, багаточастотних сигналів OFDM, COFDM і т.д.) [5];

спільна робота декількох стволів в одній радіорелейній лінії з організацією частотного чи часового розділення;

застосування нових схем резервування радіорелейного обладнання;

наявність вбудованого шифратора з відповідним рівнем шифрування радіорелейного каналу, незалежно на кожному інтервалі радіорелейної траси;

можливість роботи в середовищі з високим рівнем завад при використанні технології програмного переналаштування частоти з метою протидії використанню засобів РЕБ противника;

забезпечення безперебійного електроживлення обладнання;

наявність апаратури визначення координат розміщення радіорелейної станції по сигналам навігаційних систем, наприклад GPS для швидкого та точного юстування антенного обладнання;

необхідністю забезпечення високої надійності функціонування устаткування й ліній зв'язку шляхом автоматизації керування ними, резервування елементів основного обладнання, впровадженням тестування ліній (мереж) на окремих інтервалах радіорелейної траси шляхом широкого використання шлейфів по трактах інтерфейсу, ПЧ і НВЧ, необхідністю швидкого пошуку несправностей;

використання всюди направлених, секторних або направленої дії антен з можливістю підключення обладнання для роботи на дві поляризації – вертикальну та горизонтальну;

використанням сучасної елементної бази в поєднанні з мікромініатюризацією НВЧ вузлів, освоєнням більш високих ділянок діапазону НВЧ (з метою можливості більш компактного розміщення устаткування в одному малогабаритному контейнері) і т.д.

Успіхи науково-технічного прогресу, створення нової елементної бази, переверот у технологіях проектування й виробництва сучасних засобів зв'язку дозволили досягти такого рівня уніфікації, що наведений вище розподіл перерахованих факторів по визначених рівнях на сучасному етапі представляється досить умовним в силу складності їх реалізації та взаємовпливу.

Так, наприклад, технічний фактор мініатюризації вузлів НВЧ, широке застосування схем із програмованою логікою приводить до можливості компонування внутрішнього й зовнішнього радіорелейного обладнання в одному малогабаритному контейнері зовнішнього розміщення (наприклад, на антенній щоглі). Це досить вигідно вирішує проблему мобільності при розгортанні станції на визначених, найбільш сприятливих, з точки зору природи розповсюдження радіохвиль, площ. Але поряд з цим розміщення в одному малогабаритному контейнері зовнішнього і внутрішнього радіорелейного обладнання різко знижує швидкість його відновлення після виникнення несправностей в одному з вузлів.

Крім того, уніфікація інтерфейсів дозволяє підводити, наприклад, волоконно-оптичний кабель до блоку живлення з мережевими інтерфейсами, що знімає ряд таких проблем, як:

виконання заходів щодо приховування системи управління спеціального призначення з винесенням випромінюючих засобів за межі пунктів управління;

стикування різномірного обладнання та взаємосумісної їх роботи;

спрощення процесу сполучення ліній зв'язку, благотворно впливає наймовірнішо- тимчасові характеристики доставки повідомлень до користувачів і, в остаточному підсумку, на економіку зв'язку.

Виконання радіорелейного обладнання та доповнення його елементами вторинної мережі (комутаторами, маршрутизаторами) дозволяє розглядати засоби радіорелейного

зв'язку повноправними елементами мережної структури та уникнути структурування устаткування по його приналежності до первинної або вторинної мережі, як наслідок – цього можливо спростити структуру керування й взаємодії елементів між собою, скоротити обслуговуючий персонал, прискорити й зробити більш зручним проклячення маршрутів повідомлень, маневрування окремими цифровими каналами, потоками і т.д.

Прагнення без погіршення якості зв'язку знизити енергетику радіорелейної лінії привело до комплексного підходу щодо об'єднання методів обробки сигналів із завадостійким кодуванням у вигляді сигнально-кодових конструкцій. Незначне (в одиниці відсотків) зниження їх пропускної здатності стало розумною платою за певні вигоди: зниження гостроти проблеми електромагнітної сумісності, підвищення питомої щільності застосування радіовипромінюючих засобів в обмеженому просторі і т.д.

Підвищення пропускної здатності радіорелейних ліній можливо досягти шляхом спільної роботи декількох стволів в одній радіорелейній лінії.

Спільна робота декількох стволів в одній радіорелейній лінії забезпечується шляхом частотного розподілення. При багатоствольній роботі частоти передачі і прийому стволів повинні бути вибрані так, щоб звести до мінімуму вплив трактів передачі на тракти прийому в окремих стволах і взаємні перешкоди між ними. Для цього в багатоствольних радіорелейних лініях застосовується групування частот передачі і прийому, відповідно до якого частоти передачі всіх стволів розміщуються в одній половині відведеної смуги частот, а частоти прийому – в іншій.

Аналізуючи тенденції розвитку новітніх технологій спрямованих на підвищення пропускної здатності в радіорелейних системах пропонується при побудові магістральних та внутрішньозонових радіорелейних ліній використовувати радіорелейні системи з реалізацією методу використання поляризаційної розв'язки в одному (сполученому) частотному каналі (Co-channel Dual Polar system – CCDP).

Мінімізація крос-поляризаційних перешкод при методі CCDP може бути успішно вирішена за допомогою введення до складу апаратури спеціальної системи придушення кросполяризаційної перешкоди (Cross-Polarization Interference Cancellation, XPIC).

Результативність застосування CCDP багато в чому визначається коефіцієнтом крос поляризаційної розв'язки антен (XPD).

Цей метод активно використовується провідними світовими виробниками та спрямований на підвищення пропускної здатності радіорелейних систем (табл. 1).

Аналізуючи тенденції розвитку засобів радіорелейного зв'язку, слід відмітити, що проблема підвищення пропускної здатності радіорелейних ліній нерозривно пов'язана з переходом у більш високочастотну область діапазону (до міліметрових хвиль), межсимвольної інтерференції сигналів і ефективним використанням спектра. Це привело до використання багатопозиційних методів модуляції, застосування адаптивних коректорів частотно-фазових характеристик каналу й залучення багаточастотних сигналів, наприклад, OFDM і COFDM.

Крім класичного варіанта застосування ортогонального частотно-дискретного мультиплексування (OFDM) найбільш ефективним розв'язком проблеми підвищення пропускної спроможності є поєднання вищезазначених методів з технологією МІМО (Multiple Input Multiple Output – множинний вхід – множинний вихід), що значно підвищить масштабованість лінії за рахунок збільшення мірності незалежних трактів поширення й обробки сигналів [6].

Усе більше поширення одержує використання вискоефективних багаторівневих модуляцій 1024QAM, 2048QAM (цифри вказують на кількість символьних рівнів, що використовуються для модуляції комплексних амплітуд сигналів) і двохполяризаційної технології XPIC (технологія що враховує крос поляризаційні властивості електромагнітних хвиль) для підвищення ємності каналу [7].

Надійність радіорелейних ліній зв'язку досягається застосуванням систем резервування по ділянках, коли із загального числа стовбурів виділяються резервні, автоматично що включаються в роботу у разі пошкодження одного з робочих стволів. Перемикання на резерв здійснюється по сигналу, що передається по груповому спектру або по спектру проміжних частот. Надійність радіорелейної апаратури досягається застосуванням перспективної елементної бази, новітньої технології виробництва, забезпеченням безперебійного електроживлення.

Необхідність впровадження адаптивного керування швидкістю передачі інформації з адаптивним вибором виду модуляції залежно від стану середовища поширення й (або) необхідного якості зв'язку (рис. 2) викликана залежністю затухання сигналу передавача радіорелейної станції від впливу погодних умов та геокліматичних параметрів регіону [8]. Середовище поширення радіохвиль особливо в області діапазону вище 11 ГГц також накладає свій відбиток на архітектурний вигляд радіорелейного устаткування й динаміку забезпечуваних їм параметрів.

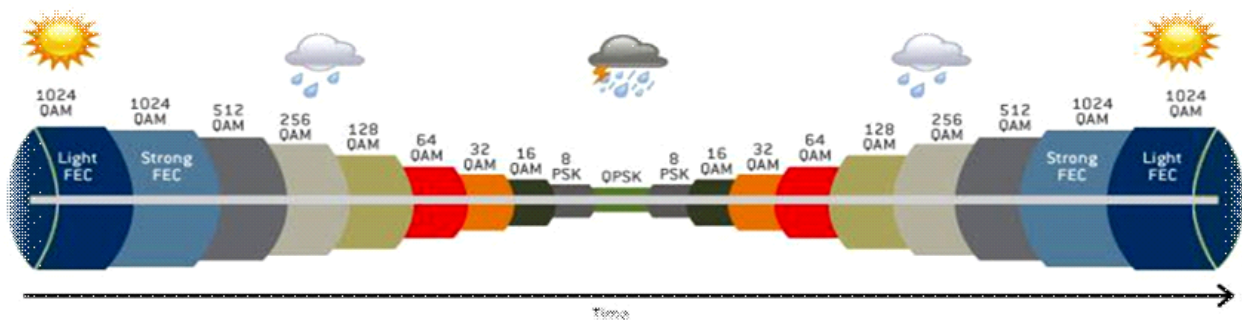


Рис. 2. Використання функції керування швидкістю передачі інформації з адаптивним вибором виду модуляції залежно від стану середовища поширення радіохвиль

Аналізуючи напрямки розвитку необхідно відмітити багатофункціональність і багатоопційність засобів радіорелейного зв'язку. Втім, даний напрямок взагалі властивий більшості сучасних радіотехнічних розробок. У значній мірі це обумовлене програмно-апаратною реалізацією радіозасобів і можливостями технології сучасного виробництва. Кількість функцій і опцій того або іншого пристрою більшою мірою визначається програмуванням меншою мірою апаратно й спрямоване на зручність користування послугами, тому стало можливим нівелювання вартості одно – і багатофункціональних пристроїв, що й послужило каталізатором розвитку цього напрямку.

Аналізуючи побудову радіорелейних засобів спостерігаємо тенденцію стійкого переходу від застосування в них технології SDH (синхронна цифрова ієрархія) до пакетних (Ethernet/IP) [9]. Так при використанні засобів радіорелейного зв'язку побудованих з використанням технології SDH, в умовах зростаючого потоку інформації, спостерігається неефективне використання мережевих ресурсів при передачі великих об'ємів інформації, відсутність гнучкості мережі, ускладненого масштабування та як наслідок значне удорожчання побудови радіорелейної мережі.

Пакетний метод передачі інформації (Ethernet/IP) останнім часом одержав помітне поширення в плані його технічної реалізації й застосування на практиці. С техніко-економічної точки зору впровадження даного методу обумовлене простотою й зручністю користування інтерфейсом засобів радіорелейного зв'язку для стикування з різними кінцевими пристроями побудованих по технології Ethernet/IP [10].

Пакетна технологія IP/Ethernet набула найбільшого поширення завдяки тому, що у ній незалежно один від одного сполучаються обробка TDM-трафіка (по суті, крос-комутація TDM-потоків) і механізм Ethernet-комутації для передачі Ethernet-кадрів. Дана технологія заснована на тому, що конвертування TDM-трафіка в Ethernet-кадри здійснюється за

допомогою спеціальної функції міжмережевої взаємодії D-IWF (Dedicated Interworking Function), яка регулює передачу різнорідного трафіка й забезпечує злагоджену роботу пакетного радіорелейного устаткування по радіоканалу. При цьому досягається висока ефективність передачі інформації (надання TDM-послуг із продуктивністю як і в TDM-радіо) та мінімальний час затримки внесений системою, поліпшення параметрів FER (Frame Error Ratio – частота появи помилок кадру) [11].

Технічна реалізація даного напрямку термінологічно закріплена в назві – пакетна радіорелейна система. Визначальним у пакетній радіорелейній системі є наявність механізму розпізнавання й обробки пакетних послуг (механізм планування, що забезпечує, наприклад, оптимальність параметра якості послуг, фрагментація пакетів для того, щоб час очікування пакета був детермінованим, давало можливість дискретної обробки пакетів і мінімізувати варіації затримки високопріоритетного трафіка і т.д.).

### Висновки

Застосування запропонованих тенденцій розвитку для побудови засобів радіорелейного зв'язку з впровадженням нових технологій дозволить значно покращити якість радіорелейного зв'язку.

При переоснащенні цифровими радіорелейними станціями силових відомств необхідно брати за основу сучасний характерний високий ступінь уніфікації і стандартизації апаратури, що дозволяє значно зменшити витрати на їх розробку, виробництво і експлуатацію.

Напрямок подальших досліджень вважаємо за необхідне зосередити на аналізі високошвидкісних (більше 1Гбіт/с) радіорелейних ліній зв'язку з використанням радіорелейного обладнання в міліметровому діапазоні [12], що найбільш актуально в умовах сьогодення при використанні противником засобів радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ultra\_TCS\_GRC-245C [Відкритий електронний ресурс ] Режим доступу [http://ultra-tcs.com/files/Ultra\\_TCS\\_GRC-245C.pdf](http://ultra-tcs.com/files/Ultra_TCS_GRC-245C.pdf).
2. Harris Falcon III® RF – 7800W [Відкритий електронний ресурс ] Режим доступу <https://www.harris.com/sites/default/files/downloads/solutions/harris-falcon-iii-rf-7800w-hclos-radio.pdf>.
3. GRX-8000 – High Capacity & Frequency Hopping Radio Relay [Відкритий електронний ресурс ] Режим доступу [http://elbitsystems.com/media/GRX-8000\\_F.pdf](http://elbitsystems.com/media/GRX-8000_F.pdf).
4. Software defined radio: architectures, systems, and functions. Dillinger, Madani, Alonistioti. Wiley, 2003. 454 pages. ISBN 0-470-85164-3, ISBN 978-0-470-85164-7.
5. Vishnevsky V., Semenova O. Polling Systems: Theory and Applications for Broadband Wireless Networks. London: LAMBERT Academic Publishing, 2012, 317 p.
6. Слюсар В.І. Современные тренды радиорелейной связи // Технологии и средства связи 2014. №4 – С.32.
7. Technology comparisons. [Відкритий електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.e7band.com>.
8. Уїлкі Ю. Вплив каналних ефектів на характеристики систем МІМО // Електронні компоненти. 2009. № 10. С. 27 – 30.
9. Москалев П.В., Петренко А.А. Системи радіорелейного зв'язку: від гібридних до пакетних // Вісник зв'язку. 2011. №2. С. 51 – 54.
10. Котов С.Г. Вітчизняні тенденції в радіорелейному обладнанні // Вісник зв'язку. 2010. №9. С. 51 – 52.
11. Вольпато П. Повышение производительности пакетной радиорелейной сети за счет фрагментации и улучшения функциональности FER // Электросвязь. 2013. № 4. С. 44 – 46.
12. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Персональные сети миллиметрового диапазона. Стандарт ЕСМА-387. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 5, с.46 – 55.