

# Збройна боротьба: теорія, забезпечення, досвід

УДК 621.391

О.І. Кушнір<sup>1</sup>, К.С. Васюта<sup>2</sup>, С.В. Озеров<sup>2</sup>, А.В. Литвин<sup>2</sup>, А.В. Северілов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ

*В статті сформульовано перспективи та розглянуто основні тенденції розвитку радіорелейного зв'язку в сучасних умовах. Наведено організаційні, технологічні та технічні засади його розвитку, розкрито їх зміст. Розглянуто новітні цифрові засоби радіорелейного зв'язку, що знаходяться на озброєнні в підрозділах та частинах зв'язку ЗС України з позиції наведених в роботі тенденцій та перспектив розвитку.*

**Ключові слова:** радіорелейний зв'язок, перепускна здатність, трафік, пакетна радіорелейний система.

### Вступ

В телекомунікаційному науково-технічному середовищі останнім часом ведеться дискусія про роль та місце радіорелейного зв'язку в системі передачі інформації. Особливого загострення вона набула з початком широкого впровадження волоконно-оптичних ліній з їх величезними можливостями забезпечення пропускної здатності на значні відстані та терміналів супутникового зв'язку, що мають можливість забезпечувати передачу даних на величезні відстані при мінімальних витратах сил та засобів зв'язку та мінімальному впливі на них зовнішнього середовища [1].

Однак, як показала практика, радіорелейний зв'язок (РРЗ) не втратив актуальності, – це стало зрозуміло з початком проведення антитерористичної операції на сході нашої країни [2–5]. Справа в тому, що радіорелейний зв'язок є важливою складовою у системі управління військами – з його допомогою здійснюється прив'язка пунктів управління частин та з'єднань до стаціонарної мережі зв'язку, особливо у випадках, коли бойова обстановка не дозволяє розгорнути проводові лінії зв'язку. Тому метою даної статті є аналіз основних тенденцій та перспектив розвитку радіорелейного зв'язку в сучасних умовах безперервного розширення і вдосконалення як самого інфокомунікаційного середовища, так і в умовах забезпечення скритого та безперервного управління військами під час проведення антитерористичної операції на Сході України.

### Виклад основного матеріалу

Основні передумови, що визначають стійкий розвиток РРЗ та збереження його досить високої питомої ваги на ринку надання телекомунікаційних послуг, умовно можна розділити на організаційні, технічні і технологічні [6–8]. Дані передумови мо-

жуть бути обумовлені наступними чинниками:

#### 1. Організаційні передумови:

– об'єктивною необхідністю підвищення пропускної здатності системи зв'язку, що пов'язана зі стійкою тенденцією зростання числа користувачів і все більшими можливостями розширення номенклатури та підвищення якості комунікаційних послуг [8];

– все більш яскраво вираженим переходом до передачі даних (ПД) та мультимедійної інформації в тому числі й в русі;

– зниженням питомої ваги передачі голосових повідомлень, появою стійкої тенденції до передачі різномірної інформації (ПД, відео, голос) в пакетованому вигляді [6];

– можливостями реалізації сучасних схем об'єднання і поділу цифрових потоків, каналів, повідомлень й сполучення різномірних ліній зв'язку з метою перерозподілу телекомунікаційного ресурсу на інформаційно важливих (пріоритетних) напрямках;

– можливостями побудови розгалужених мереж РРЗ з можливостями динамічної реконфігурації та адаптацією режимів роботи обумовлених потребами користувачів і впливом середовища розповсюдження.

#### 2. Технологічні передумови:

– можливостями щодо впровадження автоматизації в управління процесами встановлення і ведення зв'язку, адаптивного регулювання потужності, зміни режимів роботи, безперервного контролю якості зв'язку і його підтримку на заданому рівні, документування (ведення реєстру подій і т.д.), зручності користування обладнанням, реалізації дистанційного керування обладнанням і т.д.

#### 3. Технічні передумови:

– необхідністю пошуку і застосування простих недорогих технічних (в тому числі і інтерфейсних) рішень для доведення різномірної інформації безпосередньо до споживача, в тому числі що знаходиться в

русі (використання технологій пакетних радіорелейних систем, LTE і т.д.), при роботі в умовах міжсимвольної інтерференції і складної радіоелектронної обстановки (застосування сигнально-кодових конструкцій, багаточастотних сигналів OFDM, COFDM, ведення радіоелектронної боротьби і т.д.) [9];

– необхідністю забезпечення високої надійності функціонування обладнання і ліній зв'язку шляхом автоматизації управління ними, резервування елементів основного обладнання, впровадження тестування ліній (мереж), шляхом широкого використання шлейфів по трактах інтерфейсу, необхідністю швидкого пошуку несправностей;

– використанням сучасної елементної бази, мініатюризацією надвисокочастотного (НВЧ) обладнання, освоєнням більш високих ділянок діапазону НВЧ (з метою можливості більш компактного розміщення обладнання в одному малогабаритному контейнері) і т.д.

Зауважимо, що розподіл перерахованих передумов по зазначених рівнях умовний в силу їх складної залежності і взаємовпливу. Наведемо простий приклад. Технічна передумова мініатюризації вузлів НВЧ, широке застосування схем з програмованою логікою призводить до можливості компонування внутрішнього і зовнішнього радіорелейного обладнання в одному малогабаритному контейнері зовнішнього розміщення, що достатньо вигідно вирішує проблему необхідності виділення площ для його розгортання. Крім того, уніфікація інтерфейсів дозволяє безпосередньо до радіорелейного контейнеру підводити волоконно-оптичний кабель, що знімає ряд проблем стикування розглянутого різноманітного обладнання, спрощує процес сполучення ліній зв'язку, благотворно впливає на ймовірно-часові характеристики доставки повідомлень до користувачів і, в кінцевому рахунку, на ефективність зв'язку.

### Основні напрями розвитку РРЗ

В організаційному плані РРЗ пройшов шлях від застосування ліній (одно- і багатоінтервальних: місцевого, зонового і магістрального зв'язку) до мереж: опорних, розподільних, доступу. На етапі становлення мережевих структур засоби каналотворення, в тому числі і засоби РРЗ використовувалися в інтересах так званої первинної мережі, в той час як засоби комутації, розподілу трафіку і його доведення до користувача виконувала вторинна мережа. Успіхи науково-технічного прогресу, створення нової елементної бази, перевертот в технологіях проектування і виробництва сучасних засобів зв'язку дозволили досягти такого рівня уніфікації, що наведений вище розподіл засобів на сучасному етапі представляється штучним і поступово втрачає актуальність. Особливо потужний стимул в своєму вдосконаленні засоби РРЗ отримали з розвитком стільникового зв'язку та інтернету в першу чергу для побудови

відповідних опорних і розподільних мереж, в тому числі для реалізації мобільних додатків. Швидше за все, що зазначена тенденція збереже свій вплив на досить тривалу перспективу, зважаючи на відсутність скільки-небудь помітних альтернатив.

З технічної точки зору розвиток засобів РРЗ до недавнього часу відбувався традиційно в напрямку вдосконалення їх можливостей і технічних характеристик за рахунок освоєння нових частотних діапазонів, залучення нових видів сигналів, застосування нових, в тому числі багатопозиційних методів модуляції.

За останнє десятиріччя засоби РРЗ буквально перетворилися, – зміна парадигми безперервного часу на дискретний [9] призвела до переходу до цифрових методів передачі і широкому застосуванню цифрової обробки сигналів. Що дозволило, в свою чергу, перейти до програмно-апаратної реалізації основних вузлів радіорелейного обладнання на основі програмованої логіки, задіяння обчислювачів для автоматизації основних технологічних процесів формування і обробки сигналів. Врешті це призвело до істотного зниження вагогабаритних характеристик обладнання, дало реальну можливість компонувати його в одному конструктиві зовнішнього розміщення без розподілу на внутрішнє і зовнішнє. Доповнення радіорелейного обладнання елементами вторинної мережі (комутатори, маршрутизатори) дозволяє розглядати засоби РРЗ повноправними елементами мережевої структури. Це в свою чергу дозволяє уникнути структурування обладнання по його приналежності до первинної або вторинної мережі, і як наслідок цього, – дозволяє спростити структуру управління і взаємодії елементів між собою, скоротити обслуговуючий персонал, прискорити і зробити більш зручним проклучення маршрутів повідомлень, маневрування окремими цифровими каналами, потоками.

Прагнення без погіршення якості зв'язку знизити енергетику радіорелейних ліній призвело до комплексування методів обробки сигналів з 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 радіовипромінювальних засобів в обмеженому просторі [9].

Проблема підвищення пропускної здатності радіорелейних ліній нерозривно пов'язана з переходом в більш високочастотну область спектру (до міліметрових хвиль), міжсимвольною інтерференцією сигналів і ефективним використанням спектру. Це призвело розробників радіорелейного обладнання до широкого використання багатопозиційних методів модуляції, широкому застосуванню адаптивних коректорів частотно-фазових характеристик каналу і задіяння багаточастотних сигналів, наприклад, OFDM і COFDM [9]. Середовище поширення радіохвиль особливо в області діапазону вище 15 ГГц також накладає свій відбиток

на архітектурний вигляд радіорелейного обладнання і динаміку забезпечуваних ним параметрів. Це виражається в необхідності впровадження адаптивного управління швидкістю передачі інформації з адаптивним вибором виду модуляції в залежності від стану середовища поширення і (або) необхідної якості зв'язку. Разом з тим, до засобів зв'язку (в т.ч. радіорелейного) висуваються підвищені вимоги по пропускній здатності. Для вирішення цієї проблеми розробники обладнання, як правило, застосовують цілий ряд відокремлених методів. Практика підтверджує, що досить ефективним способом вирішення поставленого завдання є комплексування одного або декількох розглянутих вище методів з технологією MIMO [10]. Об'язно кажучи, дана технологія підвищує масштабування лінії за рахунок збільшення мірності незалежних трактів поширення і обробки сигналів. Ще одним важливим напрямком розвитку є багатофункціональність засобів РРЗ. Втім, даний напрямок взагалі притаманний більшості сучасних радіотехнічних розробок [9]. В значній мірі це обумовлено програмно-апаратною реалізацією радіозасобів і можливостями технології сучасного виробництва. Кількість функцій і опцій того чи іншого пристрою в більшій мірі визначається програмуванням, в меншій мірі апаратно і направлено на зручність користування послугами, тому стало можливим нівелювання вартості одно- і багатофункціональних пристроїв, що і послужило каталізатором розвитку цього напрямку.

Дуже ефектним і перспективним уявляється розвиток такого напрямку в РРЗ як пакетний спосіб передачі інформації. Останнім часом цей підхід отримав помітне поширення в плані його технічної реалізації та застосування на практиці [11]. С техніко-економічної точки зору впровадження даного методу обумовлено простотою і зручністю користування інтерфейсом засобів РРЗ для стикування з кінцевим обладнанням користувача, що, безсумнівно, позитивно позначається на економічних показниках. На сьогоднішній день найбільшого поширення набула пакетна технологія IP / Ethernet, що поєднує обробку TDMA-трафіку і механізм Ethernet-комутації для передачі Ethernet-кадрів. Дана технологія заснована на тому, що конвертація TDMA-трафіку в Ethernet-кадри здійснюється за допомогою спеціальної функції міжмережевої взаємодії D-IWF (Dedicated Interworking Function) [11], що регулює передачу різномірного трафіку і забезпечує злагоджену роботу пакетного радіорелейного обладнання по радіоканалу. Технічна реалізація даного напрямку термінологічно закріплена в назві – пакетна радіорелейна система [11]. Визначальним в пакетній радіорелейній системі є наявність механізму розпізнавання і обробки пакетних послуг (механізм планування, що забезпечує, наприклад, оптимальність параметра якості послуг). Дану систему вигідно відрізняє більш висока ефективність передачі інформації (надання TDMA-послуги з продуктивністю як і в

TDMA-радіо), мінімальний час затримки що вноситься системою, поліпшення параметрів FER (Frame Error Ratio – частота появи помилок кадру).

Таким чином, поняття пакетної радіорелейної системи ширше, ніж поняття традиційних радіорелейних мереж на основі Ethernet. Не випадково пакетні радіорелейні системи, будучи більш прогресивними, стійко розвиваються в напрямку застосування в мережах 4G / LTE [9; 11].

Не втрачаючи спільності розмірковування, на основі розглянутих тенденцій і перспектив розвитку РРЗ проведемо стислий аналіз стану РРЗ в підрозділах зв'язку ЗС України.

З початком подій на Сході нашої держави рівень технічних засобів зв'язку у Збройних Силах України відповідав вісімдесяти рокам минулого століття. Використовувалися переважно застарілі аналогові системи, а побачити «цифру» в «полі» було майже неможливо. І зрозуміло, що це не могло не позначитися на бойовій ефективності нашого війська. Як показує антитерористична операція, надійний зв'язок залишається одним із головних факторів, або умовою забезпечення ефективності управління військами в ході їхнього практичного застосування. І лише сучасні засоби зв'язку дозволяють керувати військами на якісно новому рівні. Протягом останнього часу в українському війську відбулося чимало суттєвих змін у цій сфері. Сьогодні в бойових частинах і підрозділах, які виконують завдання в зоні АТО, обмін інформацією здійснюється за допомогою сучасних захищених цифрових засобів, в тому числі і радіорелейних засобів зв'язку.

Радіорелейна станція Р-450 (рис. 1) є мобільною цифровою багатоканальною станцією з частотною та квадратною фазовою маніпуляцією сигналів, які передаються в діапазоні частот від 1350 до 2690 МГц, що призначена для розгортання радіорелейних ліній зв'язку в оперативно-тактичній ланці управління [12].

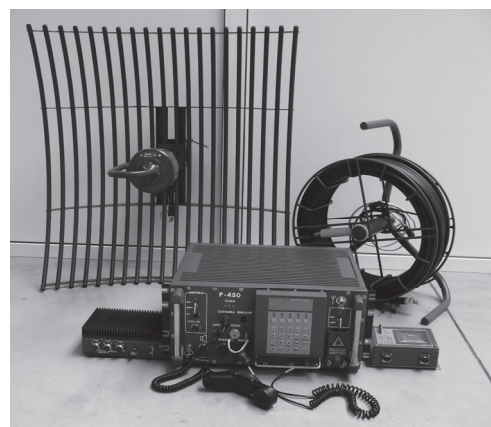


Рис. 1. Радіорелейна станція Р-450

Радіорелейна станція може працювати на стаціонарних вузлах зв'язку та в апаратних польових систем зв'язку різних рівнів. Вона забезпечує ство-

рення каналів передачі з перепускною здатністю від 256 до 8448 кбіт/с при середній довжині одного інтервалу – 35 км.

Цифрова радіорелейна станція Р-425С3 (рис. 2) призначена для побудови цифрових ліній зв'язку в оперативно-тактичній ланці управління протяжністю до 20 інтервалів зі швидкістю передавання інформації не менше 155 Мбіт/с у діапазоні (6,43...7,10) ГГц [13–14].

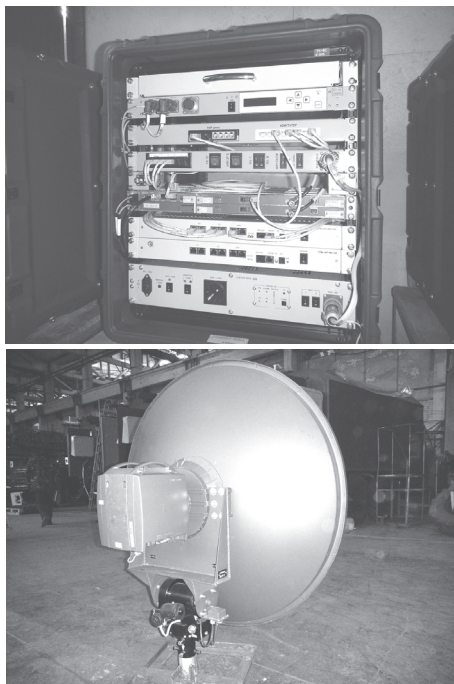


Рис. 2. Цифрова радіорелейна станція Р-425С3

Крім цього станція забезпечує передавання по лінії зв'язку сигналів [9]:

- телесигналізації і телекерування;
- службового зв'язку;
- Ethernet (10/100/1000 Base T), потоків E1 (G.703), змішаного TDMA+IP трафіку.

Станція в складі магістральної радіорелейної лінії зв'язку протяжністю до 20 інтервалів забезпечує такі режими роботи:

– кінцевий – для одночасної роботи комплектів цифрових радіорелейних станцій на незалежних напрямках зв'язку;

– ретрансляції – для забезпечення ретрансляції усього Ethernet-трафіку та цифрових потоків E1 з використанням комплексу внутрішньої комутації контейнера ТК-6С станції.

– вузловий – для організації транзиту частини Ethernet-трафіку та цифрових потоків E1 у радіорелейній лінії зв'язку, а також виділення необхідного Ethernet-трафіку та будь-якого цифрового потоку E1 від радіорелейної лінії зв'язку для їх відгалуження та розподілу на вузлі зв'язку пункту управління. Забезпечується двома станціями.

Радіорелейна станція прямої видимості сантиметрового діапазону Р-414МУ (рис. 3) призначена

для передачі та прийому цифрової інформації на значні відстані шляхом побудови багатоінтервальних магістральних радіорелейних ліній [14].



Рис. 3. Цифрова радіорелейна станція Р-414МУ

Станція забезпечує протяжність напіввідкритого інтервалу лінії зв'язку не менше ніж 40 км в діапазоні частот (6,4÷7,1) ГГц при висоті підйому антени 30 м, і не менше ніж 30 км в діапазоні частот (14,4÷15,4) ГГц при висоті підйому антени 20 м. Швидкість передачі цифрової інформації магістральної лінії зв'язку в діапазоні частот (6,4÷7,1) ГГц – не менше ніж 155 Мбіт/с. Швидкість передачі цифрової інформації радіорелейних ліній (відгалужень) в діапазоні частот (14,4÷15,4) ГГц – не менше ніж 34 Мбіт/с.

Цифрова радіорелейна система Ubiquiti AirGrid M5 HP 27 (рис. 4) являє собою пристрій для створення радіорелейного моста, що об'єднав в собі спрямовану антену і модуль wi-fi [16].

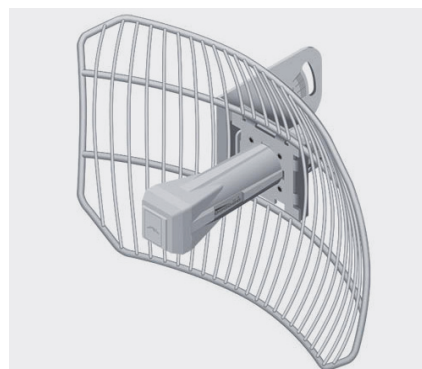


Рис. 4. Цифрова радіорелейна система Ubiquiti AirGrid M5 HP 27

AirGrid M5 HP 27 працює на частоті 5 ГГц, підтримує стандарти протоколів бездротового зв'язку 802.11 a / n і технологію Airmax. Пристрій ідеально підходить для створення Wi-Fi моста, також є можливість використовувати його і як клієнтський пристрій (при підключенні до базової станції).

## ВИСНОВКИ

Таким чином, виходячи з результатів аналізу наведених зразків техніки радіорелейного зв'язку можна зробити висновок о відповідності даних зразків техніки сучасним вимогам та тенденціям сформульованим в роботі, а саме: незначні (порівняно з радіорелейними станціями старого парку) вага-габаритні показники; робота в більш високих ділянках діапазону НВЧ, застосування складних методів формування сигналів (квадратурна модуляція та ін.); програмно-апаратна реалізація основних вузлів радіорелейного обладнання; підвищення пропускної здатності; застосування сучасних стандартів зв'язку.

Це в свою чергу свідчить про те, що система військового радіорелейного зв'язку успішно проходить етап глибокої модернізації та в подальшому може бути успішно інтегрована до перспективної системи управління ЗС України, яка в свою чергу має відповідати стандартам, доктринам і рекомендаціям НАТО та входить до національної системи управління оборонними ресурсами.

## Список літератури

1. Женжера С.В. *Історія розвитку електрозв'язку. Невідомі сторінки* / С.В. Женжера, О.М. Чекунова, К.С. Васюта, М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2015. – № 5. – С. 6-10.
2. Алімпієв А.М. *Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України* / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 19-25.
3. Кушнір О.І. *Аналіз впливу «гібридної» війни на розвиток автоматизованої системи управління авіацією та ППО Збройних Сил України* / О.І. Кушнір, О.П. Давидоза, Ю.Ф. Кучеренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 116-120.
4. Певцов Г.В. *Досвід і концепції ведення інформаційної боротьби у провідних країнах світу* / Г.В. Певцов, А.М. Гордієнко, С.В. Залкін, С.О. Сідченко, К.І. Хударков-

ський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1. – С. 12-16.

5. Алімпієв А.М. *Застосування досвіду АТО для підготовки фахівців зв'язку, РТЗ, А та ІС: навч. посіб. / А.М. Алімпієв, О.І. Кушнір, К.С. Васюта та ін. – Х.: ХУПС, 2016. – 326 с.*

6. Vasileios K. *Sakarellos Outage Performance Analysis of a Dual-Hop Radio Relay System Operating at Frequencies above 10GHz* / Vasileios K. Sakarellos, Dimitrios Skraparlis, Athanasios D. Panagopoulos // *IEEE Transactions on Communications*. – 2010. – V. 58. – I. 11. – P. 3104-3109.

7. Geng Li *Efficient User Association in Cellular Networks With Hybrid Cognitive Radio Relays* / Geng Li, Yuping Zhao, Kaigui Bian // *IEEE Communications Letters*. – 2016 – V. 20. – I. 7. – P. 1413-1416.

8. Leila Musavian *Effective capacity for interference and delay constrained cognitive radio relay channels* / Leila Musavian, Sonia Aissa, Sangarapillai Lambotharan // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2014. – V. 9. – I. 5. – P. 1698-1707.

9. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение* / Б. Скляр. – Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.

10. Васюта К.С. *Стеганографическая сеть передачи данных на основе ММО-технологии и хаотических несущих* / К.С. Васюта, С.В. Озеров // *Проблеми телекомунікацій*. – 2013. – № 2 (11). – С. 56-65. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://pt.journal.kh.ua/2013/2/1/132\\_vasyta\\_steg.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2013/2/1/132_vasyta_steg.pdf).

11. Вольпато П. *Повышение производительности пакетной радиорелейной сети за счет фрагментации и улучшения функциональности FER* / П. Вольпато // *Электросвязь*. – 2013. – № 4. – С. 44-46.

12. Краснер Є.Ю. *Станція радіорелейна Р-450. Посібник з експлуатації* / Є.Ю. Краснер. – 2007. – 56 с.

13. *Радіорелейна станція Р-425С3. Посібник з експлуатування* / Нестерук – 2015 – 69 с.

14. *Наказ Міністра оборони України «Про прийняття на озброєння Збройних Сил України радіорелейних станцій Р-425С1, Р-425С2, Р-425С3» від 16.02.2015 № 69.*

15. *Наказ Міністра оборони України «Про прийняття на озброєння Збройних Сил України радіорелейної станції Р-414МУ та її основних складових» від 09.02.2017 № 87.*

16. *Електронний ресурс – Режим доступу – [http://www.technotrade.com.ua/userfiles/files/agmhp\\_datasheet\\_web.pdf](http://www.technotrade.com.ua/userfiles/files/agmhp_datasheet_web.pdf).*

Надійшла до редколегії 9.06.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.В. Лемешко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЕННОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

А.И. Кушнір, К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.В. Литвин, А.В. Северилов

*В статье сформулированы перспективы и рассмотрены основные тенденции развития радиорелейной связи в современных условиях. Приведены организационные, технологические и технические основы ее развития, раскрыто их содержание. Рассмотрены новейшие цифровые средства радиорелейной связи находящихся на вооружении в подразделениях и частях связи ВС Украины с позиции приведенных в работе тенденций и перспектив развития радиорелейной связи.*

**Ключевые слова:** радиорелейная связь, пропускная способность, трафик, пакетная радиорелейная система.

## MAIN TRENDS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF MILITARY RADIO RELAY COMMUNICATION

A. Kyshnr, K. Vasyta, S. Ozerov, A. Lytvyn, A. Severilov

*The article outlines the prospects and considers the main trends in the development of radio relay communication in modern conditions. The organizational, technological and technical foundations of its development are given, their content is disclosed. The newest digital radio relay communications equipment being in service in the units and communications units of the Armed Forces of Ukraine is considered from the perspective of the trends and prospects for the development of radio relay communication.*

**Keywords:** radio relay communication, capacity, traffic, packet radio relay system.