

УДК.621.39

І.В. Тітов, Д.М. Воронов, О.В. Батурін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ АРМІЙ ПРОВІДНИХ КРАЇН СВІТУ

В статті викладені результати аналізу основних тенденцій розвитку систем радіозв'язку та приклади їх втілення в сучасних радіостанціях військового призначення. Загальною рисою сучасних засобів радіозв'язку є перехід до цифрових технологій, побудова за відкритою архітектурою із програмною реконфігурацією. Ключовою тенденцією засобів радіозв'язку є застосування в них технології цифрового діаграмоутворення або формування діаграми спрямованості антен цифровими методами. Наведені варіанти розробок фірм Motorola, Thales (Thomson-CSF), Marconi та прийняття їх на озброєння арміями провідних країн світу.

Ключові слова: радіозв'язок, радіостанція, цифрова антенна решітка, цифрова обробка сигналів

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Іноді, для визначення напрямків подальшого розвитку в тій чи іншій галузі, доцільно звернути увагу на досвід, отриманий в ній іншими країнами. Особливої уваги, при цьому, набуває досвід передових країн, що визнаний у світі. Це цілком стосується перспектив розвитку систем радіозв'язку військового призначення. Адже, знаходячись на шляху вступу до НАТО, неможливо не враховувати досягнень в області озброєнь таких країн, як США, Франція, Великобританія та інші. В засобах масової інформації існує ряд публікацій, що висвітлюють окремі варіанти розвитку систем радіозв'язку тих чи інших армій світу, але немає такої, що хоча б дещо узагальнювала їх.

Метою статті є визначення на основі аналізу основних напрямів розвитку та удосконалення систем та засобів радіозв'язку армій провідних країн світу.

Викладання основного матеріалу

В умовах маневреного швидкоплинного сучасного бою із різкою зміною обстановки й при відсутності суцільної лінії зіткнення військ надійний якісний радіозв'язок є гарантією стійкого й гнучкого управління військами

Основними напрямками розвитку військових засобів радіозв'язку, на думку фахівців [1], буде зниження їх ваги та габаритів, а також збільшення тривалості автономної роботи при одночасному покращенні основних робочих характеристик. З одного боку ці тенденції відповідають вимогам до військових радіостанцій, а з іншого – мається можливість їх реалізації, що забезпечується досягнутим рівнем технологій, а також стрімким ростом обчислювальної та мікроелектронної техніки. Ще однією тенденцією розвитку засобів радіозв'язку є постійно зростаюча в останні роки потреба в засобах зв'язку для тактичної ланки управління збройних сил (ЗС) таких країн, як США, Великобританія, ФРН, Франція, Іта-

лія й інших, особливо для сухопутних військ і морської піхоти.

Іншою тенденцією розвитку є перехід до програмованих засобів із відкритою модульною архітектурою, стандартними інтерфейсами та єдиним операційним середовищем. В таку архітектуру також входить модульна технологія програмного забезпечення та апаратна частина з автоматичним визначенням і настроюванням модулів, що підключаються Plug-&Play.

Згідно з поглядами ведучих закордонних фахівців [1], для ефективного використання того ресурсу радіочастот, що мається, необхідно активно впроваджувати адаптивний радіозв'язок. Комплекс заходів адаптивного радіозв'язку включає забезпечення оперативної перебудови робочої частоти за псевдовипадковим законом, оптимальну обробку широкосмугових сигналів, забезпечення можливості оперативного регулювання потужності випромінювання передавача і переведення системи в інший діапазон частот. Крім цього, для реалізації принципів адаптивного радіозв'язку повинні знайти використання на наземних і повітряних об'єктах адаптивні антенні системи із діаграмами спрямованості, що керуються, а також пакетна комутація [1]. По оцінкам закордонних фахівців підвищення ефективності систем зв'язку можливе за рахунок розширення існуючих і освоєння нових діапазонів частот.

Окремої уваги заслуговує технологія цифрового діаграмоутворення, яке реалізується, як відомо, за допомогою цифрових антенних решіток (ЦАР) [2, 3]. При цьому процес діаграмоутворення являє собою виконання швидкого перетворення Фур'є над відліками комплексних вихідних напруг приймальних каналів, що отримуються в один момент часу. В результаті формується набір просторових характеристик спрямованості $Z_k(\theta)$, закон змінення яких відомий і для лінійної еквідистантної ЦАР визначається виразом:

$$Z_k(\theta) = \sin \frac{K}{2} \left[\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta - \frac{2\pi k}{K} \right] / \sin \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta - \frac{2\pi k}{K} \right],$$

де k – номер просторового каналу лінійної еквідистантної ЦАР, $k=1..K$;

θ – одна з кутових координат, в залежності від просторової орієнтації решітки;

d – відстань між елементами решітки;

λ – довжина хвилі.

При застосуванні ЦАР в системах зв'язку з'являється можливість досягнення високої завадозахисності ліній зв'язку в умовах впливу як навісних, так і ненавісних завад. Здатність ЦАР до одночасного багатопроменевого приймання окремих сигналів у певному робочому секторі дає можливість суттєво підвищити пропускну спроможність базових станцій систем зв'язку, обладнаних такими решітками [2, 3]. При цьому стає можливим надре-леївське розділення абонентів за напрямками приходу сигналів, частотою та часом. Для ефективної роботи ЦАР необхідно підтримувати ідентичними амплітудно-фазочастотні характеристики їх каналів, виконуючи процедури корекції, наприклад, по сукупності джерел контрольних сигналів (КС):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\alpha_{rqm}} &= (U^c + jU^s) \cdot (\alpha_{rqm}^c + j\alpha_{rqm}^s) = \\ &= (U^c \alpha_{rqm}^c - U^s \alpha_{rqm}^s) + j(U^c \alpha_{rqm}^s + U^s \alpha_{rqm}^c), \end{aligned}$$

де α_{rqm}^c – квадратурні складові коефіцієнтів корекції (КК) для m -го напрямку на джерело КС; U^c – квадратурні складові відгуків приймальних каналів ЦАР.

Ефективність таких процедур корекції підтвердили результати імітаційного моделювання і напівнатурного експерименту. За допомогою моделі, створеної в програмному середовищі MATLAB, та показника якості роботи цифрових систем зв'язку, в якості якого прийнято використовувати інтенсивність (або імовірність) бітових помилок (Bit Error Rate, BER), що для квадратурної амплітудної модуляції описується виразом:

$$\begin{aligned} D &= (\log_2(M))^{-1} \times \\ &\times \left\{ 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M) E_b}{2(M-1) N_0}} \right) \right] \right] \right\}, \end{aligned}$$

де M – кількість позицій в QAM-сигналі; erf – функція помилок (інтеграл імовірності),

$$\operatorname{erf}(x) = x \int_0^x e^{-x^2} dx ;$$

E_b – енергія, що приходить на один біт; N_0 – спектральна щільність потужності шуму, були розраховані і побудовані залежності імовірностей бітових помилок від відношення сигнал-шум (рис. 1).

Застосування корекції характеристик каналів ЦАР збільшує пропускну здатність каналу зв'язку в

залежності від кількості каналів ЦАР та інших чинників в 2-3 рази. Побудова ЦАР на основі цифрових сигнальних процесорів або програмуємих матриць логічних елементів дозволяє уніфікувати операції та апаратуру обробки сигналів, а також спрощує їх адаптацію до того чи іншого стандарту.

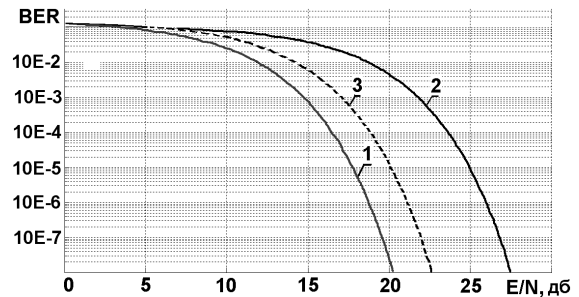


Рис. 1. Залежність BER від ВСПШ для QAM-64 у випадках: 1 – теоретична; 2 – без корекції при викривленнях; 3 – з корекцією по п'яти джерелам КС

Переліченим вище тенденціям розвитку засобів радіозв'язку відповідають основний парк радіостанцій оперативного-тактичної ланки управління (ОТЛУ) збройних сил США [1]. Це повністю цифрові засоби, що працюють в режимі передачі даних та мови, спроможні функціонувати в режимі швидкої програмної перебудови робочої частоти, обладнані вбудованими засобами шифрування. Багато зразків мають вбудовані модулі GPS. Ці радіостанції спроможні працювати в режимі автоматичної ретрансляції даних автоматизованих систем управління військами та виконувати функції радіомаяка. Мережі командного та пакетного радіозв'язку, розгорнуті на базі таких радіостанцій і з'єднані між собою пристроями міжмережевого сполучення, формують в ОТЛУ систему зв'язку, подібну за своїми функціональними можливостями мережі Інтернет. "Інтернет-контролери" працюють на основі адаптивного до умов військового радіозв'язку сполучення протоколів TCP/IP, і тому така система зв'язку отримала назву „Тактичний Інтернет” [1]. Зараз та в перспективі „Тактичний Інтернет” буде служити основою для АСУ в ОТЛУ. Багатофункціональна система EPRLS, що використовується підрозділами СВ і морської піхоти США, служить для вирішення більше 20 задач, у тому числі: визначення географічного положення, навігація, упізнання «свій – чужий», передача сигналів попередження й тривоги, розподіл інформації й інших. Її архітектура включає наземну частину й засоби, що розташовуються на повітряних об'єктах. До складу наземної компоненти входять ранцеві і транспортні радіотермінали, а також станції опорної сітки. Функціонально термінали діляться на станції автоматичного управління мережею й абонентські термінали. Термінали EPRLS працюють у діапазоні частот 420-450 МГц. Для зниження ймовірності виявлення й перехоплення, передача здійснюється в режимі програмної перестройки частоти зі швидкістю 512 стрибків у секунду. Убудований модуль захисту зв'язку COMSEC KGV-13 забезпечує формування широкопasmового шу-

моподібного сигналу з використанням восьми частот у межах смуги частот 420-450 МГц із регульованою потужністю вихідного сигналу. Радіотермінали мають убудовану систему контролю працездатності й пошуку несправностей. Особливої уваги заслуговує технологія програмованих радіостанцій SDR (Software Defined Radio), яка дозволяє змінювати режими роботи програмними, а не апаратними методами, що можливо виконувати навіть в польових умовах. В США основна програма, що використовує технологію SDR – об'єднана тактична система радіозв'язку JTRS (Joint Tactical Radio System). Мета цієї програми – випуск сімейства тактичних радіостанцій для передавання мовних та відеоданих в діапазоні від 2МГц до 2ГГц. В Європі компанії Thales (раніш – Thomson-CSF Comsys, Франція) і фірма EADS (раніш – Daimler Chrysler Aerospace, Німеччина) працюють по проекту, що передбачає створення мережі радіостанцій, вузлами яких стануть мультидіапазонні багаторежимні станції MMR-ADM (Multimode Multiband Radio Advanced). На озброєння армії НАТО прийнята багатоцільова короткохвильова радіостанція MOTOROLA MICOM – 2 в стаціонарних та мобільних варіантах (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд багатоцільової радіостанції HF-SSB

Вона забезпечує передавання голосу, факсу та даних на великих відстанях. Особливістю цієї радіостанції є те, що вона побудована із використанням технології цифрової обробки сигналів на основі цифрових сигнальних процесорів. Декілька років тому, на озброєння британської армії надійшли радіостанції, виготовлені відомою в галузі виробництва телекомунікаційного обладнання фірмою Marconi. Такі радіостанції працюють

за технологією WLAN (Wide Local Area Network) на частоті 2,4 ГГц [4]. Компанія Boeing та армія США провели успішні випробування тактичних радіостанцій JTRS GMR (Joint Tactical Radio System Ground Mobile Radios), які призначені для встановлення на перспективні бойові машини, що створюються за програмою "Бойові системи майбутнього" (FCS) [5]. В ході проведення випробувань вперше була підтверджена можливість отримання радіостанціями JTRS GMR відеосигналу від автономних наземних датчиків T-UGS, що являють собою малорозмірні системи з інфрачервоними і електрооптичними камерами для ведення спостереження за тактичною обстановкою.

Висновки

Основними тенденціями розвитку систем військового радіозв'язку провідних країн світу є перехід до цифрових технологій, побудова за відкритою архітектурою із програмною реконфігурацією. За аналогічними принципами мають здійснюватись розробки сучасної техніки радіозв'язку і в Україні.

Список літератури

1. Харченко Н.В. Современное состояние и перспективы развития радиостанций зарубежных государств / Н.В. Харченко // Зарубежное военное обозрение. – 2003. – № 6. – С. 22–30.
2. Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня / В.И. Слюсар // Электроника: НТБ. – 2001. – №1. – С. 6–12.
3. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи / В.И. Слюсар // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58–59.
4. Мои события [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.mysob.ru>.
5. Армия США испытала радиостанции для боевых систем будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://lenta.ru/news/2008/03/27/fcs/>.

Надійшла до редколегії 9.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. В.В. Баранник, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ АРМИЙ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА

И.В. Титов, Д.Н. Воронов, О.В. Батурич

В статье изложены результаты анализа основных тенденций развития систем радиосвязи и примеры их внедрения в современных радиостанциях военного назначения. Общей чертой современных средств радиосвязи является переход на цифровые технологии, построение с открытой архитектурой с программной реконфигурацией. Ключевой тенденцией средств радиосвязи является применение в них технологии цифрового диаграммообразования или формирования диаграммы направленности антенн цифровыми методами. Приведены варианты разработок фирм Motorola, Thales (Thomson-CSF), Marconi и принятия их на вооружение армиями ведущих стран мира.

Ключевые слова: радиосвязь, радиостанция, цифровая антенная решетка, цифровая обработка сигналов.

MAJOR TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS OF THE LEADING COUNTRIES ARMIES

I.V. Titov, D.N. Voronov, O.V. Baturin

The article contained the results of the analysis of major trends in the development of wireless and examples of their introduction in modern radios for military use. A common feature of contemporary radio is the transition to digital technology, building with an open architecture with software reconfiguration. The key trend is the use of radio technology in digital beamforming or chart the direction of forming antennas digital methods. There are options for development firms Motorola, Thales (Thomson-CSF), Marconi and their adoption by the armies of the leading countries in the world.

Keywords: radio, radio station, digital antenna array, digital signal processing.