

<sup>1</sup>Олеся Геннадіївна Жук (канд. техн. наук, доцент)<sup>2</sup>Володимир Володимирович Огрисько<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна<sup>2</sup>Міністерство оборони України, Київ, Україна

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Проаналізовано задачі, які виникають в процесі функціонування військових систем радіозв'язку в умовах апріорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної і заводової обстановки. Розглянуто основні принципи управління військовими системами радіозв'язку, а також запропоновано їх ієрархічну структуру та здійснено розподіл завдань управління системами радіозв'язку на кожному з рівнів ієрархії. Здійснено обґрунтування того, що в умовах бойового застосування військових систем радіозв'язку, які характеризуються невизначеністю, система управління ними повинна характеризуватися високим ступенем адаптивності, надійності і якості функціонування. Також проведено аналіз головних джерел невизначеності при вирішенні задач побудови адаптивних військових систем радіозв'язку. У висновках запропоновано підхід до синтезу адаптивних систем радіозв'язку з метою досягнення екстремальних, або підтримки заданих значень показників ефективності зв'язку.

**Ключові слова:** засоби та комплекси радіоелектронної боротьби; радіоелектронне подавлення; адаптивні системи радіозв'язку; принципи управління; ієрархія процесів управління.

### Вступ

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Сучасні системи і засоби радіозв'язку функціонують в складній радіоелектронній обстановці. Основними факторами, що впливають на якість радіозв'язку, є природні і навмисні завади, що діють в каналі та завмирання сигналів внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль [1, 2].

Провідні країни світу приділяють велику увагу розробці та удосконаленню систем та засобів радіоелектронної боротьби [3-6]. Засоби радіоелектронного подавлення (РЕП), що знаходяться на їх озброєнні, здатні з високою ефективністю та у короткий час подавити систему радіозв'язку, побудовану на традиційних принципах. Враховуючі це, стає досить складним завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах РЕП. Успішне її вирішення неможливо без застосування спеціальних технічних і організаційних заходів по забезпеченню завадозахищеності систем радіозв'язку.

Одним з ефективних способів підвищення ефективності систем радіозв'язку (СРЗ), які функціонують в умовах апріорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної і заводової обстановки, є застосування в них адаптивних методів формування і обробки сигналів. Алгоритм їх функціонування передбачає заповнення відсутньої апріорної інформації щодо умов ведення зв'язку, які змінюються, та використання її для управління параметрами і режимами роботи радіолінії з метою забезпечення необхідних показників якості. Це потребує реалізації в СРЗ

автоматизованого процесу пристосування до сигнальної і заводової обстановки. При цьому здійснюється оцінка поточного стану СРЗ і цілеспрямована зміна одного або декількох її параметрів для максимізації показників ефективності процесу передачі інформації. Тому розвиток теорії і практики побудови систем і засобів радіозв'язку, що адаптуються до зміни зовнішнього середовища, є об'єктом пильної уваги вчених і дослідників передових країн світу [7-10].

Відсутність єдиної методології, теоретичних основ і математичного апарату прикладного аналізу та синтезу адаптивних СРЗ в умовах активної радіоелектронної протидії в значній мірі стримують створення сучасних ефективних систем цифрового радіозв'язку з необхідними показниками якості інформаційного обміну.

З урахуванням наявності великої кількості випадкових факторів, що визначають умови функціонування СРЗ, і обмеженості ресурсів, що виділяються для організації радіозв'язку, доцільне введення управління структурою, параметрами й режимами роботи СРЗ з метою підтримки необхідної якості інформаційного обміну в умовах, що змінюються, їх функціонування при мінімально необхідних затратах всіх ресурсів системи. Це призводить до необхідності розгляду СРЗ як об'єкта управління й формулюванню завдань по розробці підсистеми управління СРЗ.

### Виклад основного матеріалу

Сучасні військові системи радіозв'язку являють собою складні системи з розподіленою багатозв'язною структурою (рис. 1).

Постановка та розв'язання задач проектування СРЗ призводять до необхідності трактування СРЗ

як складних інформаційних систем і вимагають формулювання наукового підходу до дослідження СРЗ на системній методологічній основі. Головною особливістю такого підходу є прагнення врахувати взаємодію великої кількості підсистем і окремих елементів СРЗ, динамічний і імовірнісний характер функціонування й взаємодії СРЗ із іншими підсистемами зв'язку та зовнішнім середовищем. Найбільш характерними ознаками військових систем радіозв'язку, які дозволяють віднести їх до класу складних інформаційних систем, є [7]:

наявність у військовій системі радіозв'язку великої кількості взаємозалежних між собою підсистем і елементів;

багатовимірність військових систем радіозв'язку, обумовлена наявністю великої кількості зв'язків між її підсистемами й окремими елементами;

багатокритеріальність, обумовлена різноманіттям цілей, окремих підсистем, що утворюють військову систему радіозв'язку, а також різноманіттям вимог до неї;

багатофункціональність, яка впливає з необхідності вирішення різних завдань на різних рівнях і етапах функціонування системи радіозв'язку;

залежність параметрів функціонування від впливу зовнішнього середовища.

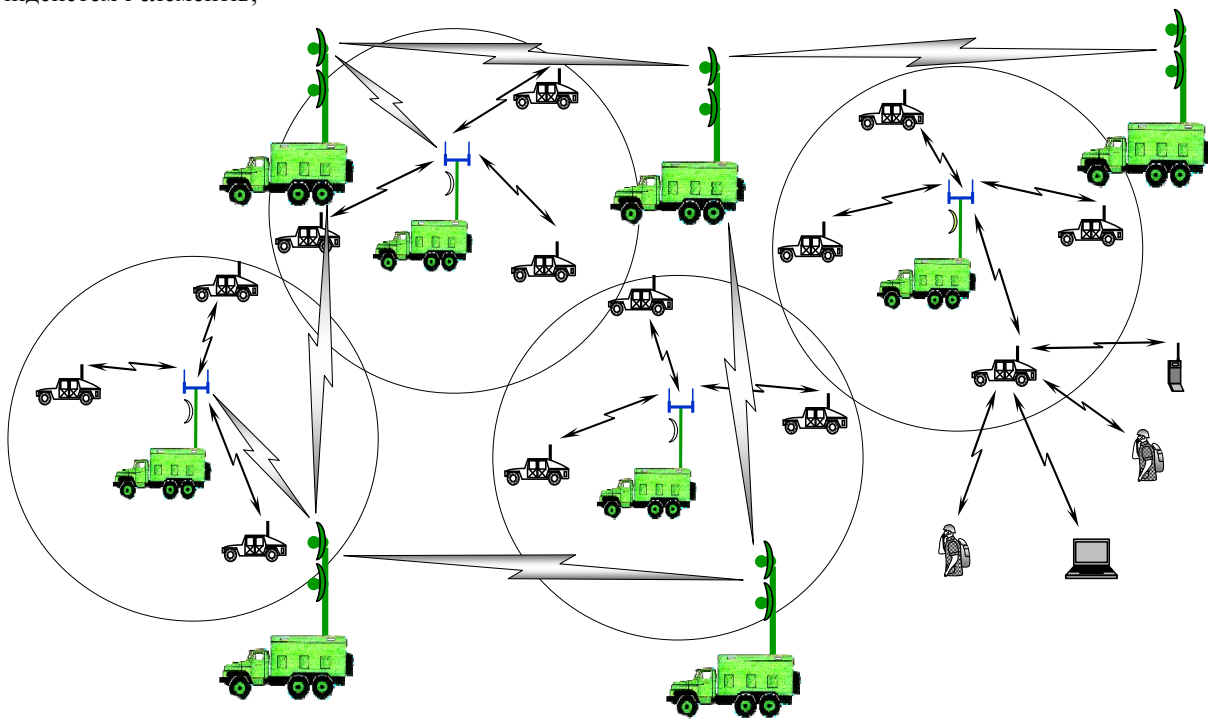


Рис. 1. Приклад структури військової системи радіозв'язку

Розглянемо основні принципи управління системою радіозв'язку [11].

1. Принцип адаптивності управління. Завдання управління СРЗ полягає в забезпеченні передачі заданої кількості повідомлень з необхідною якістю (достовірністю, оперативністю, надійністю і ін.). Виконання його в умовах складної радіоелектронної обстановки залежить як від топології СРЗ, інтенсивності зовнішніх впливів, інтенсивності потоків повідомлень, вимог до якості їх обслуговування, так і в значній мірі від ефективності управління радіоресурсом системи.

Стратегічним напрямом при вирішенні задачі підвищення ефективності СРЗ є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем. В адаптивних системах алгоритми передачі і прийому сигналів можуть узгоджено змінюватися залежно від зміни зовнішніх умов. Алгоритми адаптації повинні дозволяти в умовах мінімальної

апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи.

2. Принцип адекватності управління. Недостатня надійність і нестійкість роботи радіоліній та радіомереж обумовлюється нестационарністю радіоканалів, викликані багатопроменевістю поширення сигналів і пов'язаними із цим ефектами завмирань і доплеровських зсувів спектра, а також впливом природних і навмисних завад від сторонніх джерел. Тому СРЗ повинна забезпечувати контроль стану радіоканалів та якості свого функціонування, а також передачу службової (контрольної) інформації про стан радіомереж та окремих засобів радіозв'язку.

Адекватність управління полягає в здатності цього процесу перетворювати інформацію стану в команду, на основі якої підсистема управління СРЗ переходить у стан, що відповідає сформованій

ситуації. Очевидно, що при коректності всіх перетворень інформації стану в командну, але недостовірної інформації і (або) неправильних цілях, управління не буде адекватним. Таким чином, адекватність управління в істотному ступені залежить від достовірності і повноти інформації, коректності операцій перетворення інформації і їх послідовності, а також правильності цілей управління і траєкторій їх досягнення.

3. Принцип оптимальності управління. Адаптивне управління СРЗ забезпечує відповідну корекцію режимів і алгоритмів функціонування її елементів при всякій зміні сигнальної та заводової обстановки в каналі зв'язку і найбільшою мірою відповідає вимогам безперервності і оперативності управління. Кінцевою метою функціонування підсистеми управління СРЗ може бути екстремум деякого функціонала, який визначений для системи радіозв'язку.

Прийняття доцільного та обгрунтованого рішення в умовах складної радіоелектронної обстановки є досить складним завданням. Якість управління залежить від обгрунтованості і своєчасності дій, що управляють. Для реалізації принципу оптимальності управління потрібний збір значної кількості інформації про стан СРЗ і рішення двох взаємопов'язаних завдань.

1) Керуючі впливи в більшості способів управління виробляються на основі інформації про стан СРЗ і зовнішнього середовища. Чим більше інформації має підсистема управління СРЗ, тим більш обгрунтованим може бути рішення. Однак на одержання інформації витрачаються певні ресурси (етеріальні, енергетичні, часові тощо). Існує припустима межа в їх витратах, за якою незнання будь-яких відомостей про обстановку стає доцільніше знання. Тому однією з умов ефективного управління є визначення оптимального об'єму службової (командної і виміральної) інформації, що відображає з необхідною повнотою поточний стан СРЗ (оптимальна інформованість підсистеми оперативного управління).

Тоді перша умова оптимального управління

$$W_0^I = \min_I \{W_{\text{рiш}}(I) + W_{\text{iнф}}(I)\}, T = \text{const},$$

де  $W_{\text{iнф}}$  – витрати на отримання інформації про стан СРЗ,  $W_{\text{рiш}}$  – втрати від необгрунтованості прийнятих рішень,  $I$  – обсяг обробленої підсистемою оперативного управління інформації, а  $T$  – час збору і обробки інформації та формування керуючих впливів.

2) Поряд з інформованістю підсистеми оперативного управління важливе значення має оперативність керування, тобто оперативність збору і обробки інформації стану та виробітки керуючих впливів. Тому другою умовою оптимальності є своєчасність збору, доставки, обробки службової інформації

$$W_0^T = \min_T \{W'_{\text{рiш}}(T) + W'_{\text{iнф}}(T)\}, I = \text{const},$$

де  $W'_{\text{рiш}}(T)$  – відображає вид залежності втрат в ефективності управління від часу реалізації дій, що управляють;  $W'_{\text{iнф}}(T)$  – залежності витрат на збір і обробку інформації стану.

Але при управлінні повинні враховуватися обидва ці умови, тобто

$$W^{\text{opt}} = \min_{I,T} (W_0^I + W_0^T).$$

Як видно, між повнотою інформації про стан СРЗ і своєчасністю вироблення дій, що управляють, існує протиріччя. Рішення цієї дилеми зазвичай забезпечується компромісом між оперативністю і обгрунтованістю дій, що управляють, що є одним з найбільш складних завдань, що підлягають рішенню при побудові підсистеми управління СРЗ.

4. Принцип стійкості управління. Стійкість управління визначається здатністю підсистеми управління СРЗ виконувати свої функції в складній, різко мінливій обстановці, в умовах наявності природних завод і активної радіоелектронної протидії супротивника. Стійкість визначається живучістю, заводостійкістю і надійністю, під якими розуміється здатність вести управління в умовах впливу всіх видів зброї супротивника, в умовах впливу всіх видів завод і зберігаючи у встановлених межах значення всіх показників управління відповідно.

5. Принцип розподіленості управління. Згідно концепції управління телекомунікаційними мережами (Telecommunications Management Network, TMN), для СРЗ можна виділити два рівні управління (рис. 2). На верхньому рівні здійснюється контроль та управління системою (мережею) радіозв'язку, на середньому – окремими радіолініями, на нижньому – радіозасобами.

На першому (нижньому) рівні розв'язуються завдання контролю і управління окремими радіолініями або напрямками радіозв'язку:

вибір радіозасобів, визначення оптимальних режимів їх роботи, утворення високочастотних трактів;

автоматичне входження в зв'язок, його ведення і відновлення;

оперативний контроль процесів передачі інформації радіоканалами.

Вказані завдання розв'язуються децентралізовано для кожного напрямку або лінії радіозв'язку.

На другому (верхньому) рівні розв'язуються завдання контролю й управління мережею радіозв'язку:

оперативний контроль і прогнозування умов ведення радіозв'язку (оцінка радіоелектронної обстановки);

оперативний аналіз інформаційної обстановки на мережі (оцінка станів інформаційних потоків, що циркулюють між ОВЗ);

прийом заявок на зв'язок і розподіл потоків, що поступають на радіоцентр повідомлень по напрямках з урахуванням їх пріоритетів;

формування обхідних шляхів передачі повідомлень радіоканалами;

ретрансляція інформаційних потоків за допомогою просторового мультиплексування;

перерозподіл потоків, які поступають на елементи мережі;

розподіл частотних і енергетичних ресурсів.

Рішення задач другого рівня вимагає певної централізації (у розумному поєднанні з децентралізованими методами) контролю й управління радіозв'язком.

Багатоцільова функціональна структура системи управління обумовлює достатньо велику кількість можливих варіантів побудови СРЗ на мережевому рівні.

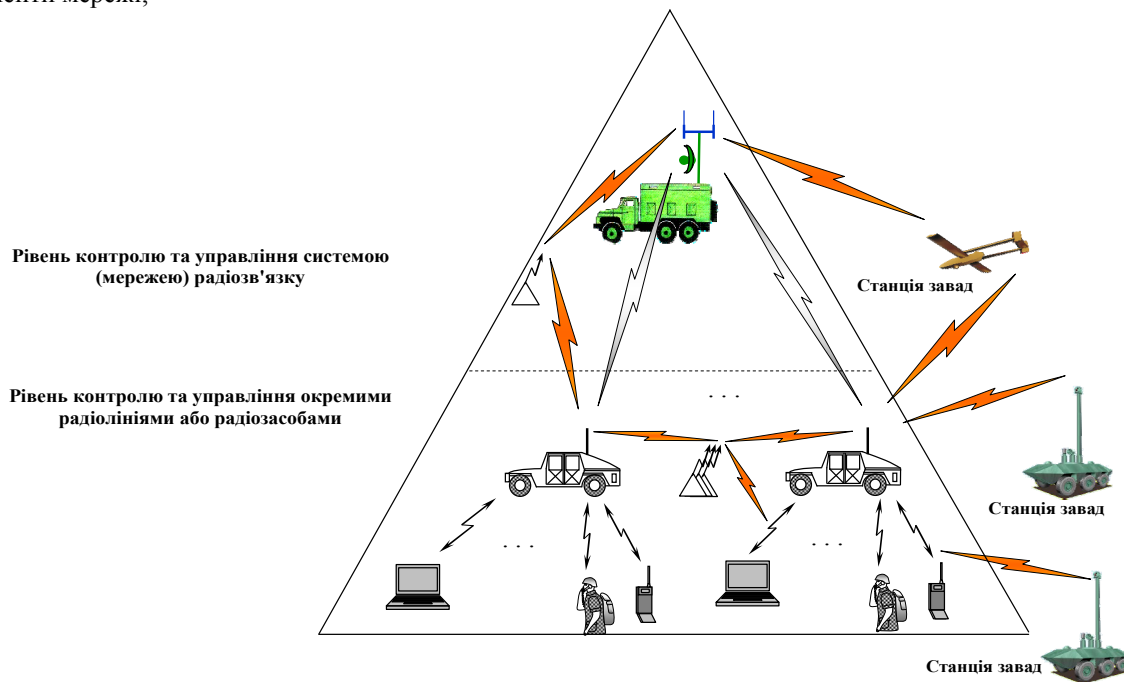


Рис. 2. Завдання управління, які вирішуються на різних рівнях системи радіозв'язку

6. Принцип ієрархичності процесів управління. Найважливішою властивістю СРЗ, як організаційних систем, є ієрархичність структури, тобто визначена співвідпорядкованість елементів і підсистем. Формалізований опис структури системи управління внаслідок переважно децентралізованого управління СРЗ зводиться до побудови математичної моделі територіально розподілених вузлів (абонентів), що взаємодіють між собою.

Особливості побудови, функціонування і умов бойового застосування військових систем радіозв'язку незаперечно передбачають створення такої системи управління нею, яка б характеризувалася високим ступенем адаптивності, надійності і якості функціонування в умовах невизначеності. При цьому головними джерелами прояву невизначеності в задачах побудови адаптивних СРЗ є наступні основні фактори:

складність формалізованого опису військової систем радіозв'язку, її елементів (як об'єктів управління) і задач управління ними з

урахуванням спотворення в інформаційному ресурсі, який надходить від джерел інформації підсистеми оперативного управління;

наявність декількох цілей і множини задач оперативного управління СРЗ;

нестационарність параметрів як СРЗ, її елементів так і підсистеми управління, яка функціонує в тих же самих умовах, що і система радіозв'язку;

ап'риорна невизначеність радіоелектронної обстановки і умов функціонування СРЗ;

наявність випадкових впливів зовнішнього середовища (навмисних заводів і селективних завмирань сигналу в каналі).

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Відомі методи побудови адаптивних СРЗ орієнтовані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування і не можуть бути застосовані в умовах активної радіоелектронної протидії внаслідок низької оперативності адаптації до зміни сигнальної і заводової обстановки в каналах зв'язку, реалізації тільки централізованого

принципу управління і необхідності передачі значних об'ємів службової інформації.

Тому при створенні високоєфективних адаптивних СРЗ необхідно комплексне

координування частотних, енергетичних, часових і просторових ресурсів системи з врахуванням характеристик комплексу зовнішніх умов їх реалізації.

### Література

1. Плавунів С. Системи і средства зв'язи тактичного звена управління сухопутних військ США / С Плавунів, С. Носиков // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 4. 2. Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С. Системи цифрової радіосв'язи: базові методи і характеристики: Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с. 3. Агафонов А. А., Артюх С. Н., Афанасьев В. И. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии: под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: „Радиотехника”, 2006. – 424 с. 4. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 22–28. 5. Азов В. О реализации в США концепции ведения военных действий в едином информационном пространстве / В. Азов // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – № 6. – С. 10–17. 6. Стрелецкий А. Американский перспективный наземный комплекс

ведения радиоэлектронной войны “Вулфпак” / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27–28. 7. Шаров А. Н. Автоматизированные сети радиосвязи. – Л.: ВАС. 1988. – 178 с. 8. Разгуляев А. Перспективные мобильные адаптивные сети передачи информации для СВ США / А. Разгуляев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 1. 9. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи / Под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Эко-Трендз. 2005. – 440 с. 10. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с. 11. Міночкін А. І. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення / А. І. Міночкін, В. А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2005. – № 3. – С. 51–60.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

<sup>1</sup>Олеся Геннадьевна Жук (канд. техн. наук, доцент)

<sup>2</sup>Владимир Владимирович Огрызко

<sup>1</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

<sup>2</sup>Министерство обороны Украины, Киев, Украина

*Проанализированы задачи, возникающие в процессе функционирования военных систем радиосвязи в условиях априорной неопределенности относительно условий ведения связи, сигнальной и помеховой обстановки. Рассмотрены основные принципы управления военными системами радиосвязи, а также предложено их иерархическую структуру и осуществлено распределение задач управления системами радиосвязи на каждом из уровней иерархии. Осуществлено обоснование того, что в условиях боевого применения военных систем радиосвязи, которые характеризуются неопределенностью, система управления ими должна характеризоваться высокой степенью адаптивности, надежности и качества функционирования. Также проведен анализ основных источников неопределенности при решении задач построения адаптивных военных систем радиосвязи. В выводах предложен подход к синтезу адаптивных систем радиосвязи с целью достижения экстремальных или поддержания заданных значений показателей эффективности связи.*

**Ключевые слова:** средства и комплексы радиоэлектронной борьбы; радиоэлектронное подавление; адаптивные системы радиосвязи; принципы управления; иерархия процессов управления.

## METHODOLOGICAL BASES OF ADAPTIVE COMMUNICATION SYSTEMS CREATION

<sup>1</sup>Olesia H. Zhuk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<sup>2</sup>Volodymyr V. Ohryzko

<sup>1</sup>Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ministry of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*The problems arising in the operation of military radio systems in a priori uncertainty communication conditions, the signal and noise conditions were analyzed in the article. The basic principles of the military radio communication systems management and their hierarchical structures were considered. Also, the distribution of radio systems management tasks on each of the hierarchy levels were carried out. It was justified the fact, that in conditions of combat use of military radio systems, which are characterized by uncertainty, the control system should be characterized by their high degree of adaptability, reliability and quality of operation. Also, the main sources of uncertainty in the solution of problems of building adaptive military radio*

communication systems were analyzed. And finally, an approach to the synthesis of adaptive radio communication systems to achieve extreme or support preset values of communication efficiency indicators was offered in the article.

**Keywords:** *electronic warfare capabilities; electronic suppression; adaptive radio system; management principles; management processes hierarchy.*

### References

- 1. Plavunov S.,** Nosikov S. (2012), Systems and communications tactical control of the US Army unit. [Systemy i zasoby zviazku taktychnoi lanky upravlinnia], Foreign military review, Vol. 4. **2. Volkov L.N.,** Nemirovsky M.S., Shinakov Y.S. (2005), Digital radio systems : the basic methods and characteristics. [Sistemu cufrovogo radiozvyazky: bazovi metodu ta harakterustuku], Tutorial, Moscow, Eko-Trends, 392 p. **3. Agafonov A.A.,** Artyukh S.N., Afanasiev V.I. et al. (2006), The modern electronic warfare . Methodological issues, ed. V.G. Radzievskii. [Suchasna radioelektronna borotba. Putannia metodolohii], Ed. V.G. Radzievskii, Moscow, "Radio engineering", 424 p. **4. Kondratiev A.A.** (2008), Promising set of PPTP and REV US Army "Prophet". [Perspektyvnyi kompleks RRTR I REB sukhopytnykh viisk SShA „Profet”], Foreign military review, Vol. 7, pp. 22–28. **5. Azov V.** (2004), On the implementation of the US concept of warfare in a single information space. [Pro realizacii v SShA koncepcii vedennia voienykh dii v ydynomu informaciiomu prostori], Foreign military review, Vol. 6, pp. 10–17. **6. Streletsky A.** (2002), American perspective ground complex of conducting electronic warfare "Wolfpack". [Amerikanskii perspektyvnyi nazemnyi kompleks vedennia radioelektronnoi viiny "Vulfpak"], Foreign military review, Vol. 10, pp. 27–28. **7. Sharov A.N.** (1988), Automated radio networks. [Avtomatuzovani merezhi radiozviazku], SAC, 178 p. **8. Razgulyaev A.** (2008), Advanced adaptive mobile data transmission network for the US Army [Perspektyvni mobilni adaptivni merezhi peredachi informacii dlya SV SShA], Foreign military review, № 1. **9. Golyanitsky I.A.** (2005), Mathematical models and methods in the Radio [Matematychni modeli i metody v radiozviazku], ed . Y.A. Gromakova, Moscow, Eko-Trends, 440 p. **10. Grigoriev V.A.,** Lagutenko O.I., Raspail Y.A. (2005), Networks and radio systems. [Merezhi i sustemy radiodostupu], Moscow, Eko-Trends, 384 p. **11. Minochkin A.I.,** Romanyuk V.A. (2005), The concept of a mobile component of military communication networks. [Kontseptsiiia upravlinnia mobilnoi komponenty merezh zviazky viiskovoho pryznachennia], Zbirnyk naukovukh prats VITI NTUU "KPI", Vol. 3, pp. 51–60.

Отримано: 15.03.2016 року.