

УДК 621.396.4

Д.А. Бухал¹

О.Ю. Коркін²

¹Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна

²Військова академія (м. Одеса), Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗВ'ЯЗНОСТІ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ДІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

У статті запропоновано визначення показника зв'язності системи радіозв'язку тактичного рівня, з урахуванням умов дії радіоелектронної розвідки противника. Зазначений показник враховує основні фактори впливу на зв'язність ліній зв'язку та відображає наявність зв'язку між взаємодіючими радіостанціями із заданою своєчасністю та достовірністю.

Ключові слова: система радіозв'язку тактичного рівня, показник зв'язності, резервування, лінгвістичний опис, множина.

Постановка проблеми

Збройні конфлікти останнього часу свідчать про те, що створенню сучасної системи радіозв'язку тактичного рівня (СРТР) протиборчими сторонами приділяється значна увага. Водночас об'єктивні умови функціонування СРТР роблять її найменш розвід захищеною складовою системи управління. Завдяки активному розвитку та впровадженню у військах новітніх засобів радіоелектронної розвідки [1-8], противник здатний розвідати до 80 % функціонуючих радіостанцій СРТР Збройних Сил України. В наслідок чого може бути зірвано, порушено та утруднено виконання заходів управління у частинах та підрозділах наших військ.

Для протидії радіоелектронній розвідці противника найбільш ефективним виявилось функціонування радіостанцій на знижених потужностях. На тактичному рівні це суттєво знижує можливості противника щодо виявлення факту інформаційного обміну, розкриття змісту повідомлень, місцеположення радіостанцій та їх належності до елементів системи управління. Результатом цього є підвищення розвід захищеності СРТР.

Однак, зниження потужності функціонування призводить до зменшення напруженості електричного поля у точці прийому сигналів антенами взаємодіючих радіостанцій. Зазначене безпосередньо впливає на зв'язність системи. Звідси виникає суперечність між підвищенням розвід захищеності СРТР та забезпеченням її зв'язності.

Під зв'язністю розуміється наявність достовірного та своєчасного зв'язку між кожною парою функціонуючих радіостанцій СРТР хоча б за одним із інформаційних маршрутів.

Виходячи з наведеного, визначення показника зв'язності СРТР з урахуванням умов дії радіоелектронної розвідки противника є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Аналіз досліджень з розглядуваної проблематики свідчить про те, що вирішенню задачі визначення зв'язності СРТР приділяється досить велика увага.

Так, низька зарубіжних авторів зосередилася на дослідженні зв'язності СРТР для умов, коли кількість радіостанцій-ретрансляторів наближається до нескінченності. В [9] доведено, що у випадку збільшення кількості радіостанцій зв'язність СРТР лінійно наближається до одиниці. Також досліджується залежність зв'язності СРТР від дальності радіозв'язку, що детально розглянуто у [10-13].

Крім того, проблемам зв'язності СРТР присвячені роботи вчених Додонова А. Г., Кузнєцова М. Г., Вишневського В. М., Білоцерківського В. М., Мельникова Ю. Є. та інших. У деяких з них розроблені аналітичні моделі, які дозволяють визначати зв'язність радіостанцій за умови знаходження СРТР у стаціонарному положенні.

Загалом можна стверджувати, що дослідження в зазначеній області ведуться із середини ХХ століття, тож нині розроблено велику кількість методик на основі імовірнісних поліноміальних моделей зв'язності та моделей, побудованих за допомогою методів штучного інтелекту.

Однак, значна частина цих методик має суто теоретичне відношення до проблеми зв'язності СРТР, обтяжена великою кількістю обчислень, і в них не враховується дія радіоелектронної розвідки противника.

Постановка задачі та її розв'язання

З огляду на визначені проблемні питання, метою статті є визначення показника зв'язності СРТР з урахуванням умов дії радіоелектронної розвідки противника.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

На сьогоднішній день задача визначення показника зв'язності СРТР не є розв'язаною у повному обсязі через неврахування умов дії радіоелектронної розвідки противника. Крім того, недостатньо повно досліджені основні фактори впливу на зв'язність СРТР, серед яких можна виділити рельєф місцевості, потужність роботи передавача та чутливість приймача радіостанцій.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

З метою врахування впливу зазначених факторів на зв'язність СРТР проведемо оцінювання стійкості ліній прямого зв'язку між взаємодіючими радіостанціями. За допомогою теорії нечітких множин визначимо функцію належності множини L , яка у загальному випадку задається аналітичним виразом:

$$K(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x, \end{cases} \quad (1)$$

де a, b, c – деякі числові параметри, які приймають довільні дійсні значення та упорядковані співвідношенням $a \leq b \leq c$.

Діапазон множини L досліджується за допомогою методів експертного оцінювання у відповідності до заданого району ведення бойових дій. При цьому мінімально граничний рівень потужності радіостанції (з адаптивною дельта модуляцією) та чутливості приймача визначається з основного рівняння радіозв'язку [14]:

$$P_{\text{пер.мін}} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda V_p V_m} \right)^2 \frac{2P_{\text{вх}}}{G_1 G_2 \eta_1 \eta_2 \alpha} \ln \left[\frac{F_m^2 \Delta F_{\text{нч}}}{f_i^3} \left(\frac{P_c}{P_{\text{шм}}}_{\text{вх}} \right) \right], \quad (2)$$

де $P_{\text{вх}}$ – потужність на вході приймача радіостанції; $P_{\text{шм}}$ – потужність шуму, який вноситься приймачем; r – протяжність радіолінії системи радіозв'язку; λ – довжина хвилі електромагнітних коливань; α – коефіцієнт загасання фідера на 1 м. довжини; $G_{\text{пр}} G_{\text{пр}}$ – коефіцієнти підсилення антен

передавача та приймача; h_1, h_2 – коефіцієнти корисної дії фідера приймаючої та передаючої антен; V_p – коефіцієнт послаблення від рельєфу місцевості; v_m – коефіцієнт послаблення від зміни метеоумов; $\Delta F_{\text{нч}}$ – смуга пропускання фільтра; f_i – частота функціонування передавача; F_m – частота модуляції радіосигналу.

У якості показника стійкості ліній прямого зв'язку було обрано кількість переривань зв'язку протягом передавання одного повідомлення.

Нечіткі множини, що підлягають оцінюванню, та їх лінгвістичні описи наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Нечіткі множини, що підлягають оцінюванню

№ з/п	Множина L , що підлягає оцінюванню	Лінгвістичний опис
1.	Потужність радіостанцій L_1	Дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока
2.	Рельєф місцевості L_2	Непересічений, слабкопересічений, середньопересічений, сильнопересічений
3.	Чутливість приймача радіостанцій L_3	Дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока
4.	Переривання зв'язку L_4	Дуже мало, мало, середня кількість переривань зв'язку, багато, дуже багато

У результаті за допомогою (1) отримуємо опис ліній прямого зв'язку СРТР, враховуючий вплив основних факторів на стійкість ліній прямого зв'язку. У табличному вигляді цей опис складається зі значень кількості переривань для кожної лінії прямого зв'язку (K_i) і є набором вихідних даних для подальшого розрахунку зв'язності СРТР у цілому. Спрощений приклад результатів розрахунків для інформаційного напрямку СРТР наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Опис ліній прямого зв'язку (K_i) інформаційного напрямку системи радіозв'язку тактичного рівня

Номер радіостанції	радіостанція № 1	радіостанція № 2	радіостанція № 3	радіостанція № 4
радіостанція № 1	0	0,6	0,5	0,8
радіостанція № 2	0,6	0	0,3	0,9
радіостанція № 3	0,5	0,3	0	0,6
радіостанція № 4	0,8	0,9	0,6	0

Далі пропонується визначити показник зв'язності, як аналітичне співвідношення, яке характеризує здатність СРТР забезпечувати зв'язок між будь-якими радіостанціями із заданою достовірністю та своєчасністю. Шкала зв'язності при цьому визначається у таких діапазонах: $[0-0,4]$ – незадовільна зв'язність, $[0,4-0,6]$ – задовільна зв'язність, $[0,7-0,8]$ – добра зв'язність, $[0,8-1,0]$ – відмінна зв'язність.

Незалежність випадків наявності та відсутності зв'язності ліній зв'язку, створених з багатьох ретрансляційних інтервалів, дозволяє застосувати формулу Бернуллі:

$$K_{\text{зв}} = \sum_{m=1}^n C_n^m \prod_{i=1}^m K \prod_{i=1}^{n-m} (1 - K) \quad (3)$$

де K – значення функції належності множини $L(1)$;

C_n^m – число станів з n по m .

В окремому випадку, виходячи з положень теорії імовірності, показник зв'язності інформаційного напрямку СРТР дорівнює:

$$K_{36_j} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - K_i) \quad (4)$$

де K_i – коефіцієнт зв'язності i -тої лінії прямого зв'язку.

Тоді зв'язність СРТР визначається аналітичним співвідношенням:

$$K_{36_{CP}} = \sum_{i=1}^M K_{36_j} \quad (5)$$

Для прикладу визначимо мінімальну зв'язність інформаційного напрямку СРТР між радіостанціями № 1 та № 3 на підставі даних табл. 1. Набір вихідних даних для проведення розрахунків з врахуванням резервування наявних ліній за допомогою інших видів зв'язку, наведений у табл. 3–4.

Таблиця 3

Набір вихідних даних для ліній радіорелейного зв'язку (K_i) частини системи радіозв'язку

Номер радіостанції	радіостанція № 1	радіостанція № 2	радіостанція № 3	радіостанція № 4
радіостанція № 1	0	0,7	0,7	0
радіостанція № 2	0,7	0	0,6	0,3
радіостанція № 3	0,7	0,6	0	0,5
радіостанція № 4	0,5	0,3	0,5	0

Таблиця 4

Набір вихідних даних для ліній супутникового зв'язку (K_i) частини системи радіозв'язку

Номер радіостанції	радіостанція № 1	радіостанція № 2	радіостанція № 3	радіостанція № 4
радіостанція № 1	0	0	0,4	0,8
радіостанція № 2	0	0	0	0
радіостанція № 3	0,4	0	0	0,6
радіостанція № 4	0,8	0	0,6	0

Відповідно до (3) зв'язність інформаційного напрямку, створеного лініями прямого зв'язку між радіостанціями № 1 та № 3 дорівнює $K_{c_{\min}} = 1 - (1 - 0,5) = 0,5$.

З врахуванням резервування іншими видами зв'язку (табл. 3, 4) зв'язність інформаційного напрямку складає $K_{c_{\min}} = 1 - (1 - 0,5)(1 - 0,6)(1 - 0,3) = 0,91$.

Різниця між показниками зв'язності інформаційного напрямку з врахуванням та без врахування інших видів зв'язку складає 0,41. Це свідчить, про те, що за рахунок раціонального резервування ліній іншими видами зв'язку можливо досягнути достатньо високого рівня зв'язності інформаційних напрямків.

У цілому можна зазначити, що створення надлишковості резервування інформаційних напрямків призводить до підвищення зв'язності структури СРТР. Максимальна кількість каналів у цьому випадку наближається до $N(N - 1)/2$, де N – кількість радіостанцій СРТР.

Висновки

У результаті проведених досліджень запропоновано аналітичне співвідношення для оцінювання системи радіозв'язку тактичного рівня. Розглянутий порядок визначення показника зв'язності враховує умови дії радіоелектронної розвідки противника та дозволяє оцінити структуру СРТР для відповідного району ведення бойових дій.

На конкретному прикладі були отримані кількісні оцінки, придатні для застосування у практичній діяльності.

Перспективи подальших досліджень

Напрямок подальших досліджень вбачається у розробленні методики визначення потрібного рівня зв'язності СРТР з урахуванням застосування противником засобів радіоелектронної боротьби.

Список використаних джерел

1. *Оружие и технологии России: энциклопедия. XXI век в 13 т. [Текст] / под ред. зам. Пред. Прав-ва РФ – Министра обороны РФ С. Иванова. – М.: Изд. дом «Оружие и технологи», 2006. – Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. – 695 с.*
2. *Фиолентов, А. Французский авиационный комплекс радиоэлектронной разведки SARIG-NG [Текст] / А. Фиолентов // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – №4. – С. 44–46.*
3. *Фароский, А. СРТРедства радиоэлектронной войны ВМС Франции [Текст] / А. Фароский // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – №5–6. – С. 75–82.*
4. *Стрелецкий, А. Мобильный автоматизированный комплекс радиоразведки сухопутных войск США [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – №5–6. – С. 40–42.*
5. *Стрелецкий, А. Система радиоэлектронной разведки сухопутных войск США «Гардрейл коммон сенсор» [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – №9. – С. 23–26.*
7. *Кондратьев, А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США «Профет» [Текст] / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – №7. – С. 37–41.*
8. *Стрелецкий, А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны «Вулфпак» [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – №10. – С. 27–28.*
9. *Piret, P. On the connectivity of radio networks [Text] / P. Piret // IEEE Transactions on Information Theory. – 1991. – Vol. 38. – №5. – P. 1490–1492.*
10. *Gupta, P. Critical power for asymptotic connectivity in wireless networks [Text] / P. Gupta, P. R. Kumar // Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications. – 1998. – Vo1. 17. – P. 26–34.*
11. *Philips, K. Connectivity Properties of a Packet Radio Network Model [Text] / K. Philips, S. Pandwar, N. Tantawi // IEEE Transactions on Information Theory. – 1989. – Vo1. 7. – P. 1044–1047.*

12. Yuan-Chieh, C. *Critical Connectivity Phenomena in Multihop Radio Models [Text]* / Cheng Yuan-Chieh, Thomas G. Robertazzi // *IEEE Transactions on Communications*. – 1999. – Vol. 37. – P. 855–867.

13. Gilbert, E. N. *Random plane networks [Text]* / E. N. Gilbert // *J Soc. Indust. Appl. Math.* – 1961. – Vol. 9. – P. 533–543.

14. Ошерович, Л.Г. *Радиорелейная и тропосферная связь [Текст]* / Л.Г. Ошерович, В.В. Куликов, Е.А. Волков. – Л. : ВАС, 1972. – 471 с.

Рецензент: В.В. Бачинський, к.т.н, с.н.с. Військова академія (м. Одеса)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СВЯЗНОСТИ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ТАКТИЧЕСКОГО УРОВНЯ С УЧЁТОМ УСЛОВИЙ ДЕЙСТВИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ РАЗВЕДКИ

Д.А. Бухал, А.Ю. Коркин

В статье предложено определение показателя связности системы радиосвязи тактического уровня с учётом условий действия радиоэлектронной разведки противника. Указанный показатель учитывает основные факторы влияния на связность линий связи, а также отображает наличие своевременной и достоверной связи между взаимодействующими радиостанциями.

Ключевые слова: система связи тактического уровня, показатель связности, резервирование, лингвистическое описание, множество.

ESTIMATION OF TACTICAL RADIO SYSTEM CONNECTIVITY RATE WITH A GLANCE CONDITIONS OF USING ENEMY'S RADIO-ELECTRONIC RECONNAISSANCE

D. Bukhal, O. Korkin

In this paper it is proposed the estimation of tactical radio system connectivity rate with a glance conditions of using enemy's radio-electronic reconnaissance. The specified rate takes into account the main factors which influences on connectivity of communication lines and display's presence well-timed authentic communication between cooperating radio terminals.

Keywords: tactical radio system, connectivity rate, radio terminals, linguistic description, set.