

УДК 621.391

Олександр Олексійович САВЧЕНКО,
кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри зв'язку,
автоматизації та захисту інформації Національної академії
Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,
м. Хмельницький

Євгеній Володимирович ПРОКОПЕНКО,
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зв'язку,
автоматизації та захисту інформації Національної академії
Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,
м. Хмельницький

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ОРГАНУ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

У статті досліджуються питання розробки методики оцінки ефективності системи зв'язку органу охорони кордону на основі використання відомих методів досліджень складних систем.

Ключові слова: система зв'язку, середній час розкриття системи зв'язку, коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку, ефективність, ймовірність, модель.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Система зв'язку органу охорони державного кордону (ООДК) є складною системою, що функціонує в рамках більшої системи – системи керування Державною прикордонною службою України (ДПСУ). Ефективність її

© Савченко О. О., Прокопенко Є. В.

функціонування значно впливає на якість управління ДПСУ, спрощує командування та штабу управління підпорядкованими частинами та підрозділами у різних умовах охорони кордону [1–3].

Однією з основних вимог до системи зв'язку є потреба у передачі повідомлення у встановлені строки з імовірністю не нижче необхідної ($P_{\text{шотр}}$) за заданих вірогідності й прихованості.

Система зв'язку ООДК не повною мірою відповідає вимогам до управління в різних умовах обстановки – особливо під час виконання завдань з охорони кордону в загрозовий період.

Закономірно постає завдання підвищення ефективності системи зв'язку ООДК з метою досягнення її відповідності оперативно-службовим і оперативно-бойовим вимогам щодо управління підпорядкованими органами та підрозділами охорони державного кордону, які постійно зростають.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автором вивчено та проаналізовано низку методик, які використовувались раніше для оцінки ефективності системи зв'язку [1–3]. Ці методики виявились дуже громіздкими та неспроможними ефективно оцінити систему зв'язку ООДК за всіма показниками, які її характеризують.

Це дає змогу використати такі показники, що з достатнім ступенем точності дозволили би охарактеризувати ефективність системи зв'язку ООДК у різних умовах охорони кордону.

Метою статті є розробка методики оцінки ефективності системи зв'язку органу охорони державного кордону в різних умовах охорони кордону.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зважаючи на те, що до системи зв'язку ставиться низка вимог, в основу яких покладено широкий спектр показників, автор пропонує аналізувати стан системи зв'язку ООДК за однією з них, а саме – за ефективністю з розрахунку показника безпеки – розвідзахищеності.

Для якісної характеристики системи зв'язку ООДК пропонується використовувати основний показник який характеризує ефективність системи зв'язку ($K_{\text{есз}}$) та додатковий показник – середній час розкриття системи зв'язку ($T_{\text{розксз}}$), який характеризує її розвідзахищеність. Як

показник ефективності системи зв'язку пропонується використовувати коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку ($K_{\text{енз}}$).

Такий підхід дає можливість, не порушуючи цілісність системи зв'язку, звести задачу моделювання до розрахунку кінцевого числа напрямків зв'язку.

Прийнята для розрахунків математична модель багатоканальної (з числом каналів від 1 до n) системи масового обслуговування з обмеженим часом очікування (перебування в черзі) і каналами, які працюють паралельно та є гарантовано ефективними, має такі переваги:

достатньо повно відображає процес функціонування напрямку зв'язку в системі, яка заснована на використанні як аналогових, так і цифрових засобів зв'язку;

дозволяє врахувати динаміку змін каналної ємності напрямків зв'язку в процесі зміни обстановки на державному кордоні України;

дає можливість розрахувати значення основного показника за різної інтенсивності обслуговування повідомлень, що визначається швидкістю передачі інформації в цифрових каналах зв'язку;

зважає за рахунок параметрів ефективності ліній (напрямків) зв'язку вплив фізико-географічних умов та можливий вплив протилежних умов на систему зв'язку;

при $n-1$ модель перетворюється на одноканальну систему масового обслуговування (СМО) з обмеженим часом перебування повідомлення в черзі.

Задачу розрахунку значень основного показника можемо сформулювати так: на багатоканальну СМО з паралельним використанням каналів, обмеженим часом очікування та каналами, які мають реальну ефективність, поступає пуассоновський потік повідомлень з відносними пріоритетами. Потік відмов каналів простий, часові показники розподілені за показниковим законом. Потрібно розрахувати коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку.

Оцінку ефективності системи зв'язку ООДК пропонується проводити за напрямками зв'язку. Методику оцінки ефективності напрямку системи зв'язку автор пропонує здійснювати у такий спосіб. Як показ-

ник ефективності системи зв'язку береться коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку ($K_{енз}$).

Зважаючи на те, що ефективність системи зв'язку визначається живучістю, завадостійкістю та надійністю, основними кількісними показниками ефективності є коефіцієнти безвідмовної роботи ($K_{ор}$), простою ($K_{п}$), середній час безвідмовної роботи (t_i) та середній час простою зв'язку (t_n).

Середній час безвідмовної роботи напрямку зв'язку перебуває у прямій залежності від коефіцієнта ефективності напрямку зв'язку та визначається виразом

$$T_{інз} = T_n \frac{K_{енз}}{1 - K_{енз}}, \quad (1)$$

де T_n – середній час простою напрямку зв'язку; $K_{енз}$ – коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку.

Якщо на напрямку зв'язку працює декілька каналів зв'язку, то беручи до уваги, що ефективності ліній – події незалежні, параметри ефективності визначають виразом:

$$K_{енз} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - K_{орзі}), \quad (2)$$

де $K_{орзі}$ – коефіцієнт безвідмовної роботи i -ї лінії (каналу) зв'язку; n – кількість ліній (каналів) зв'язку.

Коефіцієнт безвідмовної роботи зв'язку визначається таким виразом:

$$K_{орз} = K_{\sigma}^ж K_{\sigma}^н K_{\sigma}^з \quad (3)$$

де $K_{\sigma}^ж$ – коефіцієнт безвідмовної роботи лінії зв'язку щодо живучості; $K_{\sigma}^н$ – коефіцієнт безвідмовної роботи лінії зв'язку з надійності; $K_{\sigma}^з$ – коефіцієнт безвідмовної роботи лінії зв'язку щодо завадостійкості.

Коефіцієнт безвідмовної роботи лінії зв'язку щодо живучості в умовах виникнення надзвичайних ситуацій визначається як ймовірність неушкодження лінії зв'язку в умовах протидії системі зв'язку ззовні та визначається виразом:

$$K_{\sigma}^{\text{ж}} = 1 - (1 - P_{yx})(1 - P_{emi})(1 - P_{ppx}), \quad (4)$$

де P_{yx} – ймовірність неушкодження лінії зв'язку ударною хвилею; P_{emi} – ймовірність неушкодження лінії зв'язку електромагнітним імпульсом; P_{ppx} – ймовірність неушкодження лінії зв'язку внаслідок порушення розповсюдження радіохвиль.

Використані в моделі аналітичні вирази для розрахунку ймовірностей неураження лінії зв'язку ударною хвилею, електромагнітним імпульсом внаслідок порушення розповсюдження радіохвиль відбувається у відповідно до методики [3–5].

Коефіцієнт безвідмовної роботи лінії зв'язку згідно з технічною надійністю засобів зв'язку (5) визначається як ймовірність того, що за час безвідмовної роботи експлуатаційні характеристики апаратури зв'язку будуть у допустимих межах:

$$K_1^{\text{в}} = P(t) - 1 - \frac{n(t)}{N}, \quad (5)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку; $n(t)$ – кількість засобів зв'язку які відказали на відріжку від 0 до t ; N – кількість засобів зв'язку, працездатних у початковому моменті часу.

Коефіцієнт безвідмовної роботи із завадостійкості в умовах дії зовнішніх завад та порушення умов електромагнітної сумісності (ЕМС) визначається виразом:

$$K_{\sigma}^3 = 1(1 - P_{emd})(1 - P_{en})(1 - P_{nems}), \quad (1.6)$$

де P_{emd} – ймовірність електромагнітної доступності; P_{en} – ймовірність відновлення роботи лінії зв'язку в умовах випадкових перешкод; P_{nems} – ймовірність направленої роботи лінії зв'язку за умови порушення електромагнітної сумісності.

Вираз для оцінки коефіцієнта ефективності напрямку зв'язку можна подати у вигляді:

$$K_{enz} = 1 - \frac{n(t)}{N} \prod_{i=1}^n (1 - P_{emd})(1 - P_{en})(1 - P_{nems}) \times \prod_{i=1}^n (1 - P_{yx})(1 - P_{emi})(1 - P_{ppx}). \quad (1.7)$$

Наведені вирази дозволяють провести розрахунки з визначення коефіцієнта ефективності напрямку зв'язку.

Послідовність розрахунку коефіцієнта ефективності напрямку зв'язку така:

1. Розрахувати коефіцієнт справної роботи лінії зв'язку (3), для чого необхідно:

за виразом (4) розрахувати значення $K_{\sigma}^{\text{ж}}$;

за виразом (5) розрахувати значення $K_{\sigma}^{\text{н}}$;

за виразом (6) розрахувати значення $K_{\sigma}^{\text{з}}$.

2. За (7) розраховується коефіцієнт ефективності напрямку зв'язку для даного варіанта вихідних даних.

Розрахунок коефіцієнта ефективності для оцінки ефективності структури системи зв'язку, яка розробляється при впровадженні цифрових засобів зв'язку, буде відбуватись при зміні параметрів вихідних даних у діапазоні передбачуваних змін кожного з них.

Але для більш повної оцінки ефективності системи зв'язку одного показника не достатньо, оскільки в одному показнику важко врахувати вплив інших факторів на систему зв'язку ООДК. Унаслідок цього для якісної оцінки ефективності системи зв'язку автором запропоновано використовувати додатковий показник, вибір якого базується на особливостях функціонування системи зв'язку ООДК.

Одною з вимог до системи зв'язку є така безпека, як розвідзахищеність.

За показник розвідзахищеності автором взято середній час розкриття системи зв'язку ООДК. Система зв'язку вважається розкритою, якщо визначено її склад, структуру та оперативно-тактичну належність. Оскільки в організаційно-технічному відношенні система зв'язку складається з визначеної сукупності вузлів, ліній та станцій зв'язку ООДК, його підпорядкованих підрозділів, розкриття системи зв'язку в цілому буде визначатись: часом, необхідним для виявлення, пеленгування, кожного окремого джерела випромінювання та встановлення їх функціонального зв'язку між собою.

Система зв'язку вважається розкритою, якщо противник з ймовірністю 0,6–0,7 встановить місце знаходження та належність джерел випромінювання (70–80 %) її радіомереж, радіонапрямків та радіорелейних ліній [3].

Час розкриття залежить від умов функціонування комплексу засобів радіорозвідки та технічної розвідки (РРТР) противника (кількість постів радіорозвідки та пеленгування, їх можливостей), частоти завантаження, умов розповсюдження радіохвиль та особливостей роботи системи зв'язку.

Функція розподілення часу розкриття являє собою ймовірність одночасного настання випадкових подій виявлення, правильного розпізнання та встановлення її місця знаходження за час розвідки t [3, 8].

$$P_{рсз}(t) = P_v(t)P_{np}(t)P_{мз}(t), \quad (8)$$

де $P_{рсз}(t)$ – ймовірність розкриття системи зв'язку ООДК за час t ; $P_v(t)$ – ймовірність виявлення джерела випромінювання за час t ; $P_{np}(t)$ – ймовірність правильного розпізнання джерела випромінювання за час t ; $P_{мз}(t)$ – ймовірність визначення місця знаходження джерела випромінювання за час t .

Значення $P_v(t)$ визначається за допомогою такого аналітичного виразу [8]:

$$P_v(t) = 1 - \left[1 - P_n \times P_{емд} \times K_c \left(1 - \frac{\tau n}{\tau n + \tau c} e^{-a/\lambda} \right) \right]^{t/T_{пер}}, \quad (9)$$

де P_n – ймовірність належності виявленого радіовипромінювання джерела, що розкривається; $P_{емд}$ – ймовірність електромагнітної доступності джерел, що розвідують; K_c – коефіцієнт справної дії засобів РРТР противника; τn , τc – середня тривалість однієї передачі та паузи між сеансами в мережі, що розглядається; $T_{пер}$ – середній час перегляду оператором відокремленої смуги радіорозвідки.

Згідно з [3–5] прийнято:

у КХ діапазоні $T_{пер} - 12$ хв;

УКХ діапазоні $T_{пер} - 4$ хв;

діапазоні радіорелейного зв'язку $T_{пер} - 6$ хв;

Часовий параметр поста пошуку залежить від ТТХ засобів РРТР противника, що згідно з [3–5] може приймати значення:

- при розвідці КХ радіоліній – 0,066;
- розвідці УКХ радіоліній – 0,04;
- розвідці радіорелейних ліній – 0,07.

При визначенні ймовірності виявлення (P_2) адаптивних радіоліній (АРЛ) необхідно мати на увазі, що робота радіозасобів здійснюється на окремих пакетах частот (Q), кожна з яких об'єднує деяку кількість робочих частот (f_p). Зміна пакетів частот здійснюється при входженні у зв'язок та при погіршенні якості радіоканалу нижче рівня, який вимагається. Інтенсивність роботи радіолінії на будь-якому випадково взятому наборі частот буде дорівнювати $\lambda z / Q$, де λz – сумарний пуассоновський потік заміни частот.

Тоді P_v факту радіопередач на будь-якому з пакетів за один перегляд діапазону постом радіорозвідки буде визначатися виразом [3–5]:

$$P_g = 1 - e^{-\frac{\lambda [tc + \Delta F(Y_0 + \Delta t)]}{q}}, \quad (10)$$

де tc – середня тривалість роботи АРЛ на одному пакеті; ΔF – частота пропускання приймача, що проводить розвідку; Y_0 – швидкість перенастроювання приймача що проводить розвідку; Δt – мінімально необхідний час для виявлення та визначення випромінювання за частотною ознакою.

Ймовірність розкриття n набору частот за час t при цьому визначається виразом

$$P_g(t) = (1 - e^{-\frac{M_g \times t}{t_p^{Q_1}}}), \quad (11)$$

де M_g – кількість постів, які проводять радіорозвідку в смузі частот, що використовуються адаптивними радіоелектронними засобами; $t_p^{Q_1}$ – середній час розкриття одного набору частот:

$$t_p^{Q_1} = \frac{t_{np}}{P_{емд} \times P_{сн}} - \frac{t_{np}}{2}. \quad (12)$$

Час розкриття n набору частот здійснюється за певною методикою [8].

Ймовірність визначення радіорозвідкою місця знаходження джерела випромінювання $P_{мз}(t)$ за час t визначається виразом [3; 7; 8]

$$P_{мз}(t) = 1 - \left[1 - \frac{K_u \left\langle 1 - \frac{t_{он} + t_{уп}}{\tau c} \right\rangle P_{n/k}}{1 + \frac{t_{уп} \times 2}{T_{np}} \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{\tau_{ni}}{\tau_{ci} + \tau_{ni}} \exp \left\langle -\frac{\alpha}{\tau_{ni}} \right\rangle \right]} \right]^{\frac{t}{\bar{A} + \bar{A}_{np}}}, \quad (13)$$

де $t_{он}$ – середній час попереднього впізнання виявленого джерела та прийняття рішення на його пеленгування.

Згідно з [7, 8] $t_{>?} \approx 0,4$ с. при веденні розвідки ручним способом та $t_{>?} \approx 0,5$ с. при веденні розвідки автоматизованими комплексами;

$t_{уп}$ – середній час у циклі пеленгування [3, 8, 9] для наявних засобів радіорозвідки – $t_{уп} = 10-12$ с; $P_{n/k}$ – ймовірність зняття пеленгу на радіостанцію не менш як k пеленгаторами мережі, яка складається із n пеленгаторів; β – коефіцієнт, який враховує ступінь розвіданості системи. У розрахунках прийнято $\beta = 0,5$ [3, 4, 9]; n – загальна кількість розвідувальних радіомереж і радіонапрямків в ООДК, відповідно в КХ та УКХ діапазонах.

Визначення ймовірності правильного розпізнавання радіостанцій P_p засновано на теорії розпізнавання образів. Розрахунки в [9] показали, що можливе кількісне значення даного параметра в 70 % випадків у середньому становить 0,8 – 0,9. Для розрахунків взято $P_p = 1$. Дане припущення дещо знижує достовірність розрахунків середнього часу й ймовірності розкриття розвідувальних джерел, оскільки передбачає найгірші умови для системи зв'язку, з точки зору забезпечення її розвідзахищеності. Разом з тим незначне підвищення P_p дозволить компенсувати невраховані фактори, що зменшують $P_{в}$, та суттєво спрощує розрахунки середнього часу розкриття лінії зв'язку.

Аналітичні вирази для $P_B(t)$ та $P_{M3}(t)$ з урахуванням взятих припущень відносно P_{on} можемо записати [3, 8]:

$$P_p(t) = F(t) = (1 - a^t)(1 - b^t), \quad (14)$$

$$T_p = M[T_p] = \int_0^\infty t F^t(t) dt, \quad (15)$$

$$T_p = \frac{1}{\ln(ab)} - \frac{1}{\ln a} - \frac{1}{\ln b}, \quad (16)$$

де

$$a = \left[1 - P_{np} P_{emo} K_u \left(1 - \frac{\tau n}{\tau c + \tau n} e^{-\frac{a}{\tau n}} \right) \right]^{\frac{1}{T_{np}}}, \quad (17)$$

$$b = \left[1 - \frac{K_u \left(1 - \frac{t_{on} + t_{un}}{t_c} \right) P_{u/\kappa}}{1 + \frac{t_{un}\beta}{T_{np}} \times \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{\tau_{ni}}{\tau_{ci} + \tau_{ni}} \exp \left\langle -\frac{a}{\tau_{ni}} \right\rangle \right]} \right]^{\frac{1}{\tau_c + \tau_n}}. \quad (18)$$

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У статті автором запропоновано методику оцінки ефективності системи зв'язку ООДК в різних умовах охорони державного кордону. Особливістю даної методики є врахування умов функціонування комплексу засобів радіорозвідки та технічної розвідки противника (кількість постів радіорозвідки та пеленгування, їх можливостей), частоти завантаження, умов розповсюдження радіохвиль та особливостей роботи системи зв'язку органу охорони державного кордону.

Наведена методика не в повному обсязі охоплює весь спектр засобів впливу на функціонування системи зв'язку, тому актуальним є проведення подальших наукових досліджень щодо підвищення ефективності зв'язку в загальній системі інтегрованого управління кордонами.

Список використаної літератури

1. Талалаєв В. О. Світові тенденції розвитку телекомунікаційних мереж військового призначення / В. О. Талалаєв, О. В. Стороженко // Інформаційний збірник по зв'язку. – 2005. – № 4. – С.79–88.
2. Романюк В. А. Архітектура перспективної мобільної компоненти тактичних мереж зв'язку Збройних Сил України / В. А. Романюк // Інформаційний збірник по зв'язку. – 2005. – № 4. – С.70–78.
3. Давыденко В. П. К вопросу о выборе показателей эффективности систем связи оперативных объединений Сухопутных войск. – Ленинград : Труды академии: научно-технический сборник статей. – ВАС, 1996. – № 3.
4. Лапунько М. М. Пути совершенствования системы связи пограничного отряда при внедрении цифровых средств связи : дисс. ... канд. военных наук / М. М. Лапунько. – Хмельницкий : АПВУ, 1997. – 234 с.
5. Гілберт Хелд Ethernet|Networks|: Design|, Implementation|, Operation|, Management| і Protecting| LAN|Resources|: A Comprehensive|Guide|to|Securing|, Protecting| and |Rebuilding| a Network|” John |Wiley|&Sons|.
6. Талалаєв В. О. Світові тенденції розвитку телекомунікаційних мереж військового призначення / В. О. Талалаєв, О. В. Стороженко // Інформаційний збірник по зв'язку. – 2005. – № 4. – С. 79–88.
7. Васильків Н. М. Ефективність інформаційних систем / Н. М. Васильків. – Тернопіль. – 2005. – 98 с.
8. Волков Л. М. Системи цифрового радіозв'язку / Л. М. Волков : ЕкоТрендз. – 2005. – 92 с.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Андрушук О. С.

Савченко О.О., Прокопенко Є.В. Методика оцінки ефективності системи зв'язу органа охорони границь

В статті досліджуються питання розробки методики оцінки ефективності системи зв'язу органа охорони границь на основі використання відомих методів дослідження складних систем.

В відповідності з методологією дослідження складних систем, якою є система зв'язу ООГГ, оцінку її ефективності по всім показателям, які її характеризують, провести в цілому не є можливим. Тому виникає необхідність использо-

вания таких показателей, которые с достаточной степенью точности позволили бы охарактеризовать рассматриваемую систему связи.

Исходя из вышеизложенного для качественной характеристики системы связи ООГГ предлагается использовать основной показатель, характеризующий эффективность системы связи ($K_{эсс}$) и дополнительный показатель среднего времени раскрытия системы связи ($T_{рокссс}$), который характеризует ее разведзащищенность. В качестве показателя эффективности системы связи предлагается использовать коэффициент эффективности направления связи (КЭнс).

Такой метод оценки эффективности системы связи органа охраны границы дает возможность определить основные направления дальнейшего усовершенствования системы связи частей и подразделений ГПС Украины.

Ключевые слова: система связи, среднее время раскрытия системы связи, коэффициент эффективности направления связи, эффективность, вероятность, модель.

Savchenko O.O., Prokopenko E. V. Method of estimation of efficiency of communication of organ of guard of border network

The communication system organ of state border protection is a large and complex system, and operates within the larger system – the control system of the State Border Service of Ukraine. The effectiveness of its functioning significantly affects the quality of management of the State Border Service of Ukraine, simplifies the management of command and staff subordinate units in different conditions of border protection.

One of the basic requirements of the communication system put forward the need to transfer messages in a timely manner with a probability of not less than required for a given probability and stealth.

The existing system of communication OODK not fully meet the requirements of the management in various conditions – especially during the execution of the tasks of border protection in the period of threat.

Naturally put forward the task of improving the effectiveness of the communication organ of state border protection in order to achieve compliance with its increasing operational performance and operational

requirements of combat management subordinate organs and bodies of the State Border Guard.

Based on the fact that the communication system is put forward a number of requirements, which are based on a wide range of indicators, the author proposes to analyze the state of the communication system of state border protection authority for one of them – namely, the effectiveness of the security indicator calculation – intelligence welfare.

Proceeding from the above for the qualitative characteristics of the communication system OODK encouraged to use the main index characterizing the efficiency of the communication system and an additional indicator of the average time of the disclosure of the communication system, which characterizes the intelligence of its welfare. As an indicator of the efficiency of the system is proposed to use the coefficient of efficiency of communication direction.

Keywords: *communication system, the average opening time of the communication system, the coefficient of efficiency of communication direction, the efficiency of the probability model.*