

УДК 621.39

В. Д. Кротов, Ю. Ю. Сінякін, В. В. Малих, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядається методика обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку. Обґрунтування здійснюється з використанням розробленої авторами математичної моделі. Показано, що задача обґрунтування вимог зводиться до задачі лінійного програмування, яка розв'язується симплексним методом. За цим методом розроблені алгоритм і програма у середовищі DELPHI. З їх допомогою обґрунтовано вимоги до ефективності системи військового зв'язку у діалоговому режимі.

К л ю ч о в і с л о в а: система зв'язку, система управління, автоматизація управління, замовлення.

Постановка проблеми. Система військового зв'язку є одним з елементів системи управління військами і призначена для забезпечення різних видів зв'язку. Її ефективність має бути такою, щоб у системі управління військами циркулював обсяг повідомлень, достатній для здійснення повного управління військами.

На цей час відсутні методики обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку. У відомій авторам науковій літературі та керівних документах наведені вимоги до показників якості зв'язку (своєчасності, достовірності та прихованості) як результату функціонування системи військового зв'язку та до окремих показників системи військового зв'язку (стійкості, мобільності, пропускнуєї спроможності та ін.). При цьому, по-перше, відсутнє обґрунтування цих вимог і, по-друге, відсутній зв'язок між вимогами до показників якості зв'язку і вимогами до показників якості системи військового зв'язку. Крім того, не відомо, якою мірою виконання зазначених вимог забезпечує якість управління військами.

На наш погляд, обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку необхідно виконувати в такій послідовності. Виходячи з вимог системи управління військами до необхідного загального обсягу повідомлень у ній та вимог до необхідних обсягів повідомлень різних пріоритетів, обґрунтовуються вимоги до припустимих втрат замовлень з передавання повідомлень на напрямках зв'язку різних груп важливості, за якими обґрунтовуються вимоги до якості різних видів зв'язку, що надає можливість обґрунтувати вимоги до системи військового зв'язку.

Початковим кроком обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку є обґрунтування вимог до припустимих втрат у ній замовлень з передавання повідомлень на напрямках зв'язку різних груп важливості. Тому необхідно розглянути методику обґрунтування вимог до припустимих втрат замовлень з передавання повідомлень в системі військового зв'язку, за яких в системі управління військами циркулюватиме обсяг повідомлень, достатній для забезпечення повного управління військами.

Виходячи із загального визначення ефективності будь-якої системи, під ефективністю мережі військового зв'язку розумітимемо ступінь її відповідності цільовому призначенню. Кількісною мірою ефективності є показник ефективності [1]. Таким чином, фактично обґрунтування вимог до ефективності мережі військового зв'язку є обґрунтуванням вимог до показника її ефективності.

Мета статті: обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку.

Виклад основного матеріалу. З урахуванням призначення мережі військового зв'язку та властивостей, притаманних показнику ефективності будь-якої системи (обчислюваність, повнота, чутливість, вимірність) [1], показником ефективності системи військового зв'язку доцільно вважати ступінь забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку певної групи важливості. На наш погляд, це має бути відносна величина, яка визначає частку експлуатаційного виконаного навантаження від розрахункового навантаження, що надходить на напрямки зв'язку певної групи важливості:

$$h_i = \frac{Y_{e_i}}{Z_{p_i}}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де Y_{e_i} – експлуатаційне виконане навантаження на напрямках зв'язку i -ї групи важливості; Z_{p_i} – розрахункове навантаження, що надходить на напрямки зв'язку i -ї групи важливості; n – кількість груп важливості напрямків зв'язку.

Під час обґрунтування вимог до ступеня забезпечення зв'язку доцільно використовувати розрахункове навантаження Z_p замість середньої величини навантаження Z на напрямку зв'язку, виходячи з таких міркувань. На напрямку зв'язку в час найбільшого навантаження можливі різкі зміни навантаження у бік збільшення відносно середнього значення. Для урахування таких змін необхідно перейти від середнього до розрахункового навантаження за формулою [2]:

$$Z_p = Z + 0,6742 \cdot \sqrt{Z}. \quad (2)$$

Основу методики складає розроблена авторами математична модель, за допомогою якої можна визначати ймовірності втрати замовлень з передавання повідомлень на напрямках зв'язку різних груп важливості з урахуванням вимог системи управління військами до необхідних загальних обсягів повідомлень та обсягів повідомлень кожного пріоритету, за яких управління військами здійснюватиметься повністю.

Припускаючи, що на напрямках зв'язку будь-якої групи важливості можуть передаватися повідомлення всіх пріоритетів, величини Y_{e_i} та Z_{p_i} представлятимуть суми:

$$\begin{aligned} Y_{e_i} &= \sum_{j=1}^m Y_{e_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}, \\ Z_{p_i} &= \sum_{j=1}^m Z_{p_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $Y_{e_{ij}}$ – експлуатаційне виконане навантаження повідомлень j -го пріоритету на напрямках зв'язку i -ї групи важливості; $Z_{p_{ij}}$ – розрахункове навантаження повідомлень j -го пріоритету, що надходять на напрямки зв'язку i -ї групи важливості; m – кількість пріоритетів повідомлень в системі управління військами.

Також

$$Y_{e_{ij}} = Z_{p_{ij}} (1 - p_j), \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

де p_j – ймовірність втрати замовлення на передавання повідомлення j -го пріоритету.

З системи обмежень у наведених виразах автори врахували розподіл напрямків системи зв'язку за групами важливості, розподіл повідомлень, що передаються у цих напрямках, а також розподіл на групи за пріоритетами. Крім цього, необхідно врахувати розподіл часток обсягів повідомлень різних пріоритетів за групами важливості напрямків зв'язку. Задамо розподіл часток обсягів повідомлень у вигляді двомірної таблиці, кількість рядків якої дорівнює кількості груп важливості напрямків зв'язку, а кількість стовпців – кількості пріоритетів повідомлень. Представимо таку таблицю матрицею $D = \|d_{ij}\|$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, де d_{ij} – елемент матриці D , який визначає частку обсягу повідомлень j -го пріоритету на напрямках зв'язку i -ї групи важливості. Матриця D має

властивість $\sum_{j=1}^m d_{ij} = 1, i = \overline{1, n}$.

З урахуванням цього та виразу (4) вираз (3) можна записати так:

$$\begin{aligned} Y_{e_i} &= \sum_{j=1}^m Z_{p_i} d_{ij} (1 - p_j), \quad i = \overline{1, n}; \\ Z_{p_i} &= \sum_{j=1}^m Z_{p_i} d_{ij}, \quad i = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тоді вираз (1) для ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку i -ї групи важливості можна представити у вигляді:

$$h_i = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{p_i} d_{ij} (1 - p_j)}{\sum_{j=1}^m Z_{p_i} d_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Перетворимо вираз (6) і отримаємо:

$$h_i = 1 - \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j, \quad i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

З урахуванням виразу (4) отримаємо формулу для ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку i -ї групи важливості безпосередньо з виразу (1):

$$h_i = \frac{Y_{e_i}}{Z_{p_i}} = \frac{Z_{p_i} (1 - P_i)}{Z_{p_i}} = 1 - P_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

де P_i – імовірність втрати замовлень на передавання повідомлень у напрямках зв'язку i -ї групи важливості.

У формулах (7) та (8) ліві частини однакові, отже, мають бути тотожними і їх праві частини:

$$1 - \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j = 1 - P_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

З цього рівняння отримаємо:

$$P_i = \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j, \quad i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Таким чином, ступінь забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку певної групи важливості чисельно дорівнює ймовірності обслуговування замовлень з передавання повідомлень по цих напрямках:

$$h_i = q_i = 1 - P_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Як видно з виразу (11), для визначення ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку i -ї групи важливості необхідно визначити ймовірність втрати замовлень на передавання повідомлень у напрямках зв'язку цієї групи важливості P_i .

Для визначення ймовірності P_i за формулою (10) необхідно за заданих значень d_{ij} визначити ймовірності втрати замовлень з передавання повідомлень кожного пріоритету $p_j, j = \overline{1, m}$. Вираз для визначення ймовірностей $p_j, j = \overline{1, m}$ можна отримати з таких міркувань.

Позначимо через α та β необхідні мінімальне та максимальне значення ймовірності обслуговування замовлень з передавання повідомлень у напрямках зв'язку. Замовлення з передавання повідомлення реалізується на конкретному напрямку зв'язку певної групи важливості. Тому вимоги до необхідних мінімального та максимального значень ймовірності обслуговування замовлень з передавання повідомлень задовольнятимуться, якщо вони задовольняються на кожному напрямку зв'язку всіх груп важливості:

$$\alpha \leq 1 - \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j \leq \beta, \quad i = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Після перетворення цього виразу отримаємо:

$$1 - \beta \leq \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j \leq 1 - \alpha, \quad i = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Позначимо через ω_j та ν_j необхідні мінімальне та максимальне значення ймовірності обслуговування замовлень з передавання повідомлень j -го пріоритету.

Тоді

$$1 - v_j \leq p_j \leq 1 - \omega_j, j = \overline{1, m} . \quad (14)$$

У результаті ми отримали систему $2 \cdot (n+m)$ лінійних нерівностей з m невідомими:

$$\sum_{j=1}^m d_{ij} p_j \leq 1 - \alpha, i = \overline{1, n} . \quad (15)$$

Після визначення ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень кожного пріоритету $p_j, j = \overline{1, m}$ за виразами (10) та (11) можна визначити ступінь забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку всіх груп важливості $h_j, j = \overline{1, m}$.

Таким чином, математичною моделлю, за допомогою якої можна обґрунтувати вимоги до ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку, мають бути такі вирази:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r} d_{ij} p_j \Rightarrow \text{extr} ; \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j &\leq 1 - \alpha, i = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j &\geq 1 - \beta, i = \overline{1, n} \\ p_j &\leq 1 - \omega_j, j = \overline{1, m} \\ p_j &\geq 1 - v_j, j = \overline{1, m} \end{aligned} \right\}; \quad (17)$$

$$h_i = 1 - \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j, i = \overline{1, n} , \quad (18)$$

де q_i – кількість напрямків зв'язку i -ї групи важливості; r – кількість напрямків зв'язку військової мережі зв'язку.

У виразі (16) позначимо $\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r} d_{ij} = c_j, j = \overline{1, m}$ і перетворимо його на $\sum_{j=1}^m c_j p_j$.

Остаточно математична модель обґрунтування вимог до ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку матиме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^m c_j p_j &\Rightarrow \text{extr} ; \\ \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j &\leq 1 - \alpha, i = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j &\geq 1 - \beta, i = \overline{1, n} \\ p_j &\leq 1 - \omega_j, j = \overline{1, m} \\ p_j &\geq 1 - v_j, j = \overline{1, m} \end{aligned} \right\}; \quad (19)$$

$$h_i = 1 - \sum_{j=1}^m d_{ij} p_j, i = \overline{1, n} .$$

Як алгоритм обґрунтування вимог до ефективності системи військового зв'язку вибрано алгоритм розв'язування задачі лінійного програмування на основі симплексного методу [3].

Приклад використання методики. Постановка завдання.

Припустимо, що напрямки зв'язку мережі військового зв'язку за важливістю поділені на три групи. У напрямках зв'язку всіх груп важливості можуть передаватися повідомлення трьох пріоритетів.

Задані можливі значення ступеня забезпечення управління військами і їх залежність від загального обсягу повідомлень та обсягу повідомлень кожного пріоритету в системі управління військами. Також заданий варіант розподілу часток обсягів повідомлень за пріоритетами залежно від груп важливості напрямків зв'язку.

Необхідно обґрунтувати вимоги до припустимих значень ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень всіх пріоритетів та ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень у напрямках зв'язку всіх груп важливості, за яких управління військами здійснюється у повному обсязі.

Наведемо приклад підготовки системи обмежень для випадку, коли управління військами забезпечується у повному обсязі:

$$\frac{1}{3}(0,45 p_1 + 0,95 p_2 + 1,60 p_3) \Rightarrow \min (\max) ;$$

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq 0,25 p_1 + 0,35 p_2 + 0,40 p_3 \leq 0,20 \\ 0 \leq 0,15 p_1 + 0,35 p_2 + 0,50 p_3 \leq 0,20 \\ 0 \leq 0,05 p_1 + 0,25 p_2 + 0,70 p_3 \leq 0,20 \\ p_1 = p_2 = 0 \\ 0 \leq p_3 \leq 0,50 \end{array} \right\}$$

Підготовлені вихідні дані в діалоговому режимі вводять в ПЕОМ, контролюють і на їх основі визначають ймовірності втрати замовлень з передавання повідомлень (табл.):

Т а б л и ц я

Обґрунтовані значення ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень

Ступені забезпечення зв'язку	Обґрунтовані значення ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень різних пріоритетів			Обґрунтовані значення ймовірностей втрати замовлень з передавання повідомлень на напрямках зв'язку різних груп важливості		
	1	2	3	I	II	III
У повному обсязі	0	0	0–0,29	0–0,12	0–0,15	0–0,20
Утруднений	0	0	0,50–0,57	0,20–0,23	0,25–0,29	0,35–0,40
На грані зриву	0	0,53–0,79	0,53–0,79	0,40–0,59	0,45–0,67	0,50–0,75
Зірваний	0,75–1,0	1,0	1,0	0,94–1,0	0,96–1,0	0,99–1,0

Висновки

Результати, наведені в таблиці, вказують на те, що:

– для забезпечення заданого загального обсягу повідомлень в системі управління військами, за якого управління військами здійснюється повністю, необхідно забезпечити ймовірність втрати замовлень на передавання повідомлень 3-го пріоритету не більше 0,29;

– визначені значення ймовірностей втрати замовлень на передавання повідомлень не суперечать важливостям напрямків зв'язку (чим вище важливість напрямку зв'язку, тим меншою є на ньому ймовірність втрати замовлень на передавання повідомлень);

– визначені значення ймовірностей втрати замовлень на передавання повідомлень у напрямках зв'язку не суперечать вимогам до їх живучості, наведеним у керівних документах та навчальній

літературі (вимоги до показників живучості вище визначених значень ймовірностей втрати замовлень на передавання повідомлень).

Зазначені факти підтверджують адекватність розробленої математичної моделі та доцільність її використання для обґрунтування вимог до ступеня забезпечення зв'язку на напрямках зв'язку різних груп важливості.

Список використаних джерел

1. Барабаш, Ю. Л. Основи теорії оцінювання ефективності складних систем (Методологія військово-наукових досліджень) [Текст]: навч. посіб. / Ю. Л. Барабаш. – К. : НАОУ, 1999. – 38 с.
2. Щербина, Л. П. Основы теории сетей военной связи [Текст] / Л. П. Щербина. – Л. : ВАС, 1984. – 169 с.
3. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1972. – 552 с.

Стаття надійшла до редакції 23.09.2011 р.