

## ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ

к.в.н. О.І. Бабенко, А.Л. Рябуха, І.Л. Костенко  
(подав д.т.н., проф. В.І. Долгов)

*У статті запропоновані показники ефективності системи зв'язку та радіотехнічного забезпечення (РТЗ), які дозволяють оцінити якість зв'язку та забезпечення літаків радіонавігаційною інформацією в умовах бойових дій, а також, виходячи з потреб управління, вибрати оптимальний варіант побудови системи зв'язку та РТЗ.*

Система зв'язку та РТЗ, будучи частиною системи управління, впливає на повноту реалізації бойового потенціалу авіаційної частини. Відносну ефективність управління  $\overline{W}_y^{СЗРТЗ}$  [1], яка залежить від функціонування системи зв'язку та РТЗ, можна записати у вигляді

$$\overline{W}_y^{СЗРТЗ} = \frac{W_{СЗРТЗ}}{W_{СЗРТЗ}^{пор}}, \quad (1)$$

де  $W_{СЗРТЗ}$  - ефективність системи зв'язку та РТЗ, що оцінюється;

$W_{СЗРТЗ}^{пор}$  - ефективність системи зв'язку та РТЗ, що достатньо задовольняє вимогам системи управління.

Система управління як споживач, вимагає, щоб процеси обміну інформацією (зв'язок, радіонавігаційне забезпечення), які відбуваються між джерелами й одержувачами повідомлень, забезпечували своєчасність, достовірність і скритність проходження інформації [2]. Тому показники, що характеризують можливості системи зв'язку та РТЗ, повинні задовольняти вимогам щодо своєчасності, достовірності та скритності проходження інформації, повинні бути вибрані й показники ефективності.

Система зв'язку та РТЗ авіаційної частини, з погляду її функціонування, відноситься до класу складних систем [3], тому ефективність усієї системи в цілому доцільно оцінювати по підсистемах (підсистемі зв'язку та підсистемі РТЗ). Для визначення ефективності підсистем пропонується вибрати для них часткові й загальні показники.

**Показники ефективності підсистеми зв'язку.** Своєчасність зв'язку

буде забезпечуватися за умовами, коли підсистемі зв'язку притаманні властивості:

- бойова готовність (БГ) - тобто забезпечується своєчасний перехід з вихідного стану готовності у необхідний для забезпечення управління;
- стійкість (Ст) - здатність підсистеми зв'язку зберігати свою працездатність при впливі всіх факторів обстановки. Стійкість підсистеми зв'язку визначається завадостійкістю, живучістю і надійністю;
- пропускна спроможність (ПС) - забезпечення обміну необхідними потоками повідомлень у визначений строк.

Виходячи з цього, у якості часткового показника підсистеми зв'язку, що характеризує можливості підсистеми щодо забезпечення своєчасності зв'язку, пропонується прийняти імовірність забезпечення своєчасності зв'язку ( $P_{св}$ ), яку можна записати у вигляді функціональної залежності

$$P_{св} = f(БГ, Ст, ПС), \quad (2)$$

де **БГ** - показник бойової готовності підсистеми зв'язку;

**Ст** - показник, що характеризує стійкість підсистеми зв'язку;

**ПС** - значення функції, яка залежить від пропускної спроможності підсистеми зв'язку.

Розглянемо складові частини функціоналу (2).

Показником, що характеризує бойову готовність підсистеми зв'язку, пропонується вибрати "імовірність своєчасного переведу підсистеми зв'язку у встановлений ступінь бойової готовності":

$$P_{пер}(t \leq t_d) = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{t_d - t}{\sigma_t} \right) + 1 \right], \quad (3)$$

де **t** - час, протягом якого здійснюється перевід системи зв'язку в необхідний стан,  $t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ ;

**n** - кількість переводів системи зв'язку у встановлений ступінь бойової готовності;

**t<sub>i</sub>** - час **i**-го переведу;

**t<sub>d</sub>** - час, протягом якого система зв'язку повинна бути переведена у необхідний ступінь бойової готовності;

**σ<sub>t</sub>** - середнє квадратичне відхилення часу переведу засобів зв'язку у встановлений ступінь готовності,

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - t)^2}.$$

Функція **Φ(x)** у формулі (3) має вигляд

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt .$$

Показником, що визначає стійкість підсистеми зв'язку, вибрано "імовірність стійкого функціонування системи зв'язку" ( $P_{ст}$ ), значення якого визначається за виразом

$$P_{ст} = P_{зс} \cdot P_{ж} \cdot P_{тн} , \quad (4)$$

де  $P_{зс}$  - імовірність завадостійкої роботи;

$P_{ж}$  - імовірність виживання в умовах вогневого впливу противника;

$P_{тн}$  - імовірність перебування апаратури зв'язку в справному стані.

Пропускна спроможність системи зв'язку авіаційної частини може оцінюватися за допомогою показника "імовірність своєчасного проходження повідомлень" ( $P_{сн}$ ). При оцінці за цим показником враховуються як оперативні-тактичні вимоги до підсистеми зв'язку (потік інформації  $\lambda$  і припустимий час її перебування в підсистемі зв'язку  $T_{дон}$ ), так і організаційно-технічні можливості (кількість каналів зв'язку  $S$  та їхня продуктивність  $\mu$ ). Тому в загальному випадку  $P_{сн}$  для підсистеми зв'язку може бути записана у вигляді функціоналу

$$P_{сн} = f(\lambda, T_{дон}, S, \mu) . \quad (5)$$

Для визначення імовірності своєчасного проходження повідомлень у підсистемі зв'язку пропонується використовувати математичний апарат теорії систем масового обслуговування (СМО) з очікуванням.

Фактори, що впливають на значення складових частин функціоналу (2), не залежать один від одного і можуть впливати на підсистему зв'язку одночасно. Значить події забезпечення своєчасного переведення засобів зв'язку у встановлений ступінь готовності, забезпечення стійкості функціонування підсистеми зв'язку і своєчасності проходження повідомлень є сумісними і незалежними. У цьому випадку частковий показник системи зв'язку "імовірність забезпечення своєчасності зв'язку" може бути визначений з виразу

$$P_{св} = P_{пер}(t \leq t_d) \cdot P_{ст} \cdot P_{сн} . \quad (6)$$

Частковий показник ефективності підсистеми зв'язку - коефіцієнт безпомилкового прийому ( $K_{бп}$ ) – пропонується для оцінки можливостей підсистеми зв'язку щодо забезпечення достовірності зв'язку. Він визначається як відношення правильно прийнятих елементів повідомлень ( $m$ ) до загальної кількості переданих елементів ( $M_0$ ):

$$K_{бп} = \frac{m}{M_0} . \quad (7)$$

У якості часткового показника підсистеми зв'язку, що характеризує

її спроможності щодо забезпечення скритності зв'язку, може бути прийнятий коефіцієнт засекреченості зв'язку ( $K_{зас}$ ). Значення цього показника визначається з виразу

$$K_{зас} = \frac{S_{зас}}{S_{\Sigma}}, \quad (8)$$

де  $S_{зас}$  і  $S_{\Sigma}$  - кількість каналів зв'язку, закритих спецпаратурою і загальна кількість каналів, утворених для забезпечення управління авіаційною частиною, відповідно.

Часткові показники дозволяють зробити оцінку якості виконання окремих вимог до підсистеми зв'язку. Для однозначної оцінки ефективності підсистеми необхідно вибрати загальний показник, який би враховував усі часткові. Оскільки при визначенні значень часткових показників використовуються вхідні параметри, властиві тільки їм, то визначити значення загального показника системи зв'язку - коефіцієнта досконалості підсистеми зв'язку ( $K_{ЗВ}$ ) - можна з виразу

$$K_{ЗВ} = P_{св} \cdot K_{бп} \cdot K_{зас}. \quad (9)$$

**Показники ефективності підсистеми РТЗ<sup>1</sup>.** Частковий показник підсистеми РТЗ, який дозволяє визначити спроможності підсистеми щодо своєчасності забезпечення літальних апаратів радіонавігаційною інформацією (РНІ) - імовірність своєчасного забезпечення радіонавігаційною інформацією - за аналогією із підсистемою зв'язку можна записати у вигляді

$$P_{свРНІ} = f(БГ, Ст, ПС). \quad (10)$$

Показник бойової готовності підсистеми РТЗ – імовірність своєчасного переведення підсистеми РТЗ у встановлений ступінь бойової готовності за час, що не перевищує припустимого ( $P_{РТЗ}(t \leq t_d)$ ) - визначається за виразом (3).

Для одержання радіонавігаційної інформації на борту обов'язкове функціонування як наземних, так і бортових радіонавігаційних засобів. Значить імовірність стійкого функціонування засобів РНІ ( $P_{РНІ}$ ) можна записати як

$$P_{РНІ} = P_{ст наз} \cdot P_{ст б} = (P_{жив} \cdot P_{ти наз}) \cdot (P_{зс} \cdot P_{ти б}), \quad (11)$$

де  $P_{ст наз}$ ,  $P_{ст б}$  - імовірності стійкого функціонування наземної і бортової частини підсистеми відповідно;

$P_{жив}$ ,  $P_{ти наз}$  - імовірність виживання й імовірність перебування в справному стані наземної частини устаткування РНІ відповідно;

$P_{пу}$  і  $P_{ти б}$  - імовірність завадостійкої роботи й імовірність перебування в справному стані бортових засобів РНІ відповідно.

---

<sup>1</sup> З усіх задач РТЗ у роботі основна увага приділяється оцінці вирішення задачі забезпечення виводу літака у задану точку (тобто навігаційної задачі).

При оцінці пропускну́ї спроможності підсистеми РТЗ авіаційної частини необхідно відзначити наступне: засоби і системи підсистеми РТЗ функціонально призначені й потенційно мають можливості для забезпечення радіонавігаційною інформацією всіх літаків частини. Тобто, пропускну спроможність підсистеми РТЗ для літальних апаратів, що використовують її РНІ, можна вважати необмеженою, а одержання РНІ на борту здійснюється в масштабі реального часу, тобто  $P_{\text{спРНІ}} = 1$ .

У цьому випадку значення імовірності своєчасного забезпечення радіонавігаційною інформацією може бути визначене з виразу

$$P_{\text{свРНІ}} = P_{\text{РТЗ}}(t \leq t_d) \cdot P_{\text{РНІ}} . \quad (12)$$

Показник достовірності підсистеми РТЗ буде визначатися точністю РНІ, видаваної на борт літака. Кількісною характеристикою точності може бути імовірність забезпечення виводу літака на об'єкт (у район) з ходу ( $P_{\Delta}$ ). Вибір даного показника обумовлений тим, що дії з ходу дають можливість виконати поставлену задачу в найкоротший термін і зменшити імовірність поразки літаків засобами ППО противника.

Значення  $P_{\Delta}$  може бути обчислене за формулою

$$P_{\Delta} = 1 - e^{-\left(\frac{C}{\sigma_r}\right)^2} , \quad (13)$$

де  $C = 0,5(L_{\text{еф}} - l_{y.об})$ ;

$L_{\text{еф}}$  – ширина ефективної смуги захоплення прицільної апаратури літака;

$l_{y.об}$  – розміри об'єкта чи ділянки місцевості перпендикулярно до лінії шляху;

$\sigma_r$  – середня квадратична радіальна помилка виводу літака у задану точку, яка забезпечується підсистемою РТЗ.

При розгляді функціонування підсистеми РТЗ необхідно відзначити, що розвідка противника зможе лише визначити факт роботи і місце розташування її засобів, але визначити за цим фактом приналежність до роду авіації, характер задач і об'єкти дій авіаційної частини не зможе. Тому значення показника, що характеризує скритність підсистеми РТЗ, можна прийняти рівним одиниці.

Загальним показником ефективності підсистеми РТЗ, що дає можливість однозначно оцінити якість її роботи, пропонується вибрати коефіцієнт досконалості підсистеми РТЗ ( $K_{\text{РТЗ}}$ ):

$$K_{\text{РТЗ}} = P_{\text{свРНІ}} \cdot P_{\Delta} . \quad (14)$$

Оскільки підсистеми зв'язку та РТЗ функціонують сумісно і незалежно одна від одної, то узагальненим показником ефективності системи зв'язку та РТЗ може бути коефіцієнт досконалості системи зв'язку та РТЗ ( $K_{\text{СЗ РТЗ}}$ ):

$$K_{CЗ PTЗ} = K_{ЗВ} \cdot K_{PTЗ} . \quad (15)$$

У цьому випадку вираз (1) перетвориться до вигляду

$$\overline{W}_y^{CЗPTЗi} = \frac{K_{CЗPTЗ}^i}{K_{CЗPTЗ}^{пор}} ,$$

де  $K_{CЗPTЗ}^i$  - узагальнений показник ефективності  $i$  - го варіанта побудови системи зв'язку та PTЗ, а  $K_{CЗPTЗ}^{пор}$  - мінімально можливий коефіцієнт досконалості системи зв'язку та PTЗ, при якому вона спроможна забезпечити виконання потреб управління. Правилком вибору варіанта побудови системи зв'язку та PTЗ служить умова

$$\overline{W}_y^{CЗPTЗi} \geq 1 . \quad (16)$$

**Висновки.** Запропоновані показники ефективності системи зв'язку та PTЗ дозволяють оцінити якість зв'язку та забезпечення літаків радіонавігаційною інформацією в умовах бойових дій, а також вибрати оптимальний варіант побудови системи зв'язку та PTЗ, виходячи з потреб управління. Обрані показники добре узгоджуються з вимогами системи управління і дозволяють досить об'єктивно установити характер впливу функціонування системи зв'язку та PTЗ на ефективність управління.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рябуха А.Л., Бабенко А.И. Возможный подход к учету влияния системы связи и РТО на полноту реализации боевого потенциала авиационной части и оценка эффективности ее функционирования. // *Авіаційно - космічна техніка і технологія*. – Х.: НАКУ ім. Жуковського "ХАІ". – 2001. – Вип. 22. – С. 91 - 94.
2. ГОСТ В 23609 - 86. Связь военная. Термины и определения. – М.: Изд - во стандартов, 1986. – 12 с.
3. Лукин А.И. Системы массового обслуживания. Анализ систем массового обслуживания с отказами в военной практике. – М.: Воениздат, 1980. – 189 с.

Надійшла 11.03.2002

**БАБЕНКО Олександр Іванович**, кандидат військових наук, доцент, начальник кафедри XI ВПС. Закінчив ВВА ім. Гагаріна у 1992 р. Область наукових інтересів – системи управління авіацією.

**РЯБУХА Андрій Леонідович**, викладач кафедри XI ВПС. Закінчив Харківське ВВАУРЕ у 1988 р. Область наукових інтересів – системи управління зв'язком.

**КОСТЕНКО Ігор Леонідович**, ад'юнкт XI ВПС. Закінчив Харківський інститут льотчиків у 1999 р. Область наукових інтересів – системи управління авіацією.