

УДК 621.34

С.Г. Семенов, О.О. Можаяєв, І.В. Ільїна

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Дано визначення систем критичного застосування. Визначені найбільш важливі критерії оптимізації комп'ютерних мереж систем критичного застосування. Визначено, що основним показником своєчасності зв'язку при передачі інформації являється ймовірність доведення інформації до одержувача за час, що не перевищує, допустимий. Обгрунтовані вимоги до якості зв'язку при передачі інформації в комп'ютерних мережах систем критичного застосування. Проаналізовано залежності допустимого часу передачі кодограм від дисперсії помилок, що виникають за рахунок затримки кодограм в каналах зв'язку, та ймовірності «невиходу» об'єкта за межі допустимої області відображення від дальності до об'єкта.

**Ключові слова:** система критичного застосування, комп'ютерні мережі, своєчасність, час доставки інформації, інформація, радіолокація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз найбільших аварій і катастроф останнього десятиліття показує, що більше 60 % з них носять технічний характер (пов'язані з різними відмовами і несправностями технічних систем, з порушенням їх функціонування або руйнуванням внаслідок помилкових дій персоналу) [6].

Зрозуміло, що розміри збитку із-за таких аварій залежать від міри складності систем, числа людей, що беруть участь в їх використанні, і масштабів застосування в цілому, досвіду розробки і експлуатації даних систем і багато чого іншого. Системи, аварій яких можуть викликати численні людські жертви, великі економічні втрати, представляти загрозу для оборони і безпеки держави, отримали назву систем або комплексів критичного застосування (СКЗ). До СКЗ належать: аерокосмічні (авіаційні, ракетні і ракетно-космічні) комплекси; транспортні (залізничні, морські, газо- і нафтопроводні) комплекси; енергетичні комплекси (АЕС, гідро- і теплоелектростанції, спеціальні енергетичні установки); хімічні виробництва і крупні захоронення відходів шкідливих виробництв і ін.

Відмінною рисою більшості з них являється: виняткова важливість ефективного управління компонентами; великий обсяг інформації, циркулюючий в системі; необхідність передачі і обробки інформації в режимі реального часу.

Статистичні дані технічних аварій останніх років показують високий рівень (12 %) аварійності в авіаційних системах. Важливо відзначити, що відповідно до розподілу причинних факторів авіаційних випадків до 10 % катастроф пов'язані з недосконалістю систем управління повітряним рухом (нестача інформації і її несвоечасне отримання) [5, 6].

Аналіз літератури показав, що основним показником своєчасності зв'язку при передачі інформації являється ймовірність  $Q_c$  доведення інформації до одержувача за час  $T$ , що не перевищує,  $T_{\text{доп}}$  допус-

тимий, вигляду [2 – 4]:

$$Q_c = \lim_{n_0 \rightarrow \infty} \frac{n_1}{n_0} \quad (1)$$

де  $n_0$  – загальне число переданих інформаційних пакетів;  $n_1$  – число інформаційних пакетів, доведених до одержувача за час  $T \leq T_{\text{доп}}$ .

Видно, що для підвищення ймовірності  $Q_c$  при постійному потоці інформації ( $n_0 = \text{const}$ ), зокрема інформації про повітряну обстановку (інформації, радіолокації), необхідно збільшити  $n_1$ . Це, у свою чергу, може бути досягнуто за рахунок зменшення часу  $\tau_i$  доведення  $i$ -го ( $i \in 1, n_1$ ) інформаційного пакету до одержувача:

$$\tau_i = \tau_{n_i} + \tau_{\text{прд}_i} + \tau_{d_i}, \quad (2)$$

де  $\tau_{n_i}$  – час підготовки  $i$ -го інформаційного пакету до передачі;  $\tau_{\text{прд}_i}$  – час передачі  $i$ -го інформаційного пакету;  $\tau_{d_i}$  – час доставки  $i$ -го інформаційного пакету до одержувача.

### Результати досліджень

В умовах використання цифрових засобів передачі (комп'ютерних мереж) інформація, радіолокації, найчастіше носить потоковий характер, при цьому час  $\tau_{n_i}$  і  $\tau_{d_i}$  не перевищує 10 – 2 с. Отже, час  $\tau_{\text{прд}_i}$  передачі  $i$ -го інформаційного пакету являється визначальною характеристикою в (2), а загальний час  $T$  доведення інформації до одержувача може бути визначений із співвідношення:

$$T \approx \sum_{i=1}^{n_1} \tau_{\text{прд}_i}. \quad (3)$$

До основних шляхів скорочення часу  $\tau_{\text{прд}_i}$  належать вдосконалення технічних засобів передачі інфор-

мації, стиснення і кодування інформації, динамічне управління мережевими ресурсами і т.д. [2, 4, 6].

Визначимо вимоги, що пред'являються до часу передачі інформації про повітряну обстановку. Обґрунтування вимог до часу передачі обробленої РЛІ приведене в роботах [2, 4]. Припускалося, що в одержаній адресатом кодограмі з інформацією про координати повітряного об'єкта містяться помилки, обумовлені помилками  $\sigma_\Sigma$  екстраполяції координат на момент видачі кодограм, помилками  $\sigma_{\text{кк}}$  за рахунок можливого спотворення кодової комбінації в каналі зв'язку, помилками  $\sigma_{\text{лс}}$  за рахунок затримки кодограм в каналі зв'язку, внаслідок чого дисперсія  $\sigma_\Sigma^2$  сумарної помилки по одній з координат рівна

$$\sigma_\Sigma^2 = \sigma_\Sigma^2 + \sigma_{\text{кк}}^2 + \sigma_{\text{лс}}^2. \quad (4)$$

У [2] показано, що дисперсія  $\sigma_\Sigma^2$  дорівнює

$$\sigma_\Sigma^2 = \frac{2 \cdot [(n-1) \cdot (2n-1) + 6k \cdot (n-1) + 6k^2] \cdot \sigma_x^2}{[n \cdot (n^2 - 1)]} + \frac{1}{m_x} [0,84(4^{m_x} - 1)\sigma_x^2 P^2] + \sigma_{\text{ен}}^2, \quad (5)$$

де  $n$  – число вимірювань траєкторії руху повітряного об'єкта;  $\sigma_x$  – помилка вимірювання координати траєкторії руху повітряного об'єкта;  $k$  – кількість періодів огляду РЛС;  $m_x$  – число двійкових розрядів кодової комбінації однієї з координат;  $P$  – ймовірність спотворення одного двійкового розряду при передачі інформації по каналу.

З (5) видно, що вираз для розрахунку допустимого значення дисперсії  $\sigma_{\text{лс}}$  помилок, що виникають за рахунок затримки кодограм в каналах зв'язку, має вигляд

$$\sigma_{\text{ен}}^2 = \sigma_\Sigma^2 - \frac{2 \cdot [(n-1) \cdot (2n-1) + 6k \cdot (n-1) + 6k^2] \cdot \sigma_x^2}{[n \cdot (n^2 - 1)]} - \frac{1}{m_x} [0,84(4^{m_x} - 1)\sigma_x^2 P^2]. \quad (6)$$

Тут оцінку  $\sigma_\Sigma$  можна розрахувати як

$$\sigma_\Sigma = K_{\text{тк}} \cdot \sigma_x, \quad (7)$$

де  $K_{\text{тк}}$  – коефіцієнт необхідної якості.

У [2] показано, що максимально допустиме значення помилки  $\Delta x$  по одній з координат, які виникають за рахунок затримки при доведенні кодограм, визначається виразом

$$\Delta x = 3\sigma_{\text{лс}}. \quad (8)$$

а допустимий час  $T_{\text{доп}}$  доведення кодограм

$$T_{\text{доп}} = \frac{\Delta x}{V_{\text{max}}} = \frac{3\sigma_{\text{лс}}}{V_{\text{max}}} \quad (9)$$

де  $V_{\text{max}}$  – максимальна швидкість повітряних об'єктів.

Залежності  $T_{\text{доп}}$  від  $\sigma_x$  при фіксованих значеннях  $V_{\text{max}}$  (1 – 600 м/с, 2 – 800 м/с, 3 – 1000 м/с), кількості  $m_x = 13$  двійкових розрядів кодової комбінації координати ( $m_x = 13$ ), ймовірність  $P$  спотворення одного двійкового розряду ( $P = 10^{-5}$ ), числа  $n$  вимірювань траєкторії руху повітряного об'єкта і коефіцієнта  $K_{\text{тк}}$  необхідної якості представлені на рис. 1.

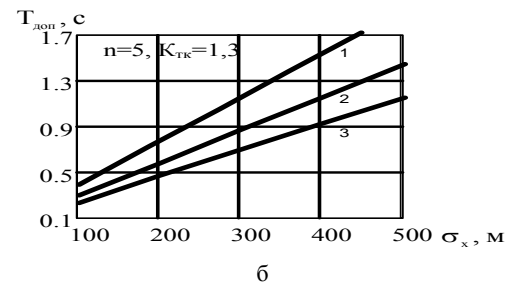
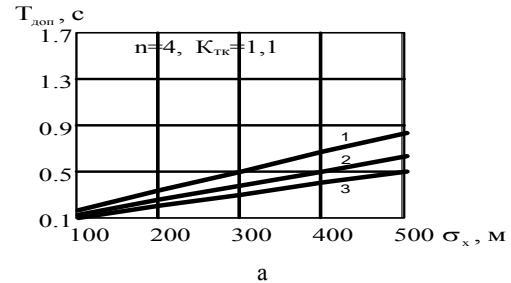


Рис. 1. Залежності допустимого часу передачі кодограм  $T_{\text{доп}}$  від  $\sigma_{\text{лс}}$

Аналіз графіків (рис. 1) показав, що вибір як допустимий час  $T_{\text{доп}} \approx 0,5$  с. при ймовірності доведення ( $Q_c$ ) не менше  $Q_{\text{доп}} = 0,9$  дозволяє забезпечити передачу кодограм з координатною інформацією про повітряні об'єкти, рухомих на швидкостях близьких до граничних ( $V_{\text{max}} = 800 \dots 1000$  м/с), з необхідною точністю як від використовуваних на практиці РЛС з  $\sigma_x = 300 \dots 400$  м ( $K_{\text{тк}} = 1,1$ ), так і перспективних РЛС ( $\sigma_x = 100 \dots 150$  м,  $K_{\text{тк}} = 1,3$ ).

Оцінимо ймовірність «невиходу» об'єкта з області, в якій він знаходився у момент часу  $t$  оцифрування відліку по дальності за час  $T_{\text{доп}} = 0,5$  с. Дослідження показали, що на екранах стандартних засобів відображення (діагональ – 21...23 дюйма, дозвіл – 1152864×1280960 крапок) зміщення відміток в межах 5×7 пікселів візуально невиразні. При індикаторній дальності РЛС близько 400 км 1 піксел на екрані монітора відповідає приблизно 0,5...0,8 км, тобто величині елементу дозволу  $\Delta d$  по дальності тих, що стоять на озброєнні РЛС. Оцінка ймовірності «невиходу» об'єкта за межі допустимої області відображення розміром 5×5 пікселів приведені на рис. 2 для РЛС типу 55Ж6 (рис. 2, а,  $\Delta d = 0,8$  км) і П-37 (рис. 2, б,  $\Delta d = 0,5$  км). Параметром сімейства кривих 1-4 являється максимальна швидкість  $V_{\text{max}}$  повітряних об'єктів («1» – 550 м/с, «2» – 650 м/с, «3» – 750 м/с, «4» – 850 м/с) [7].

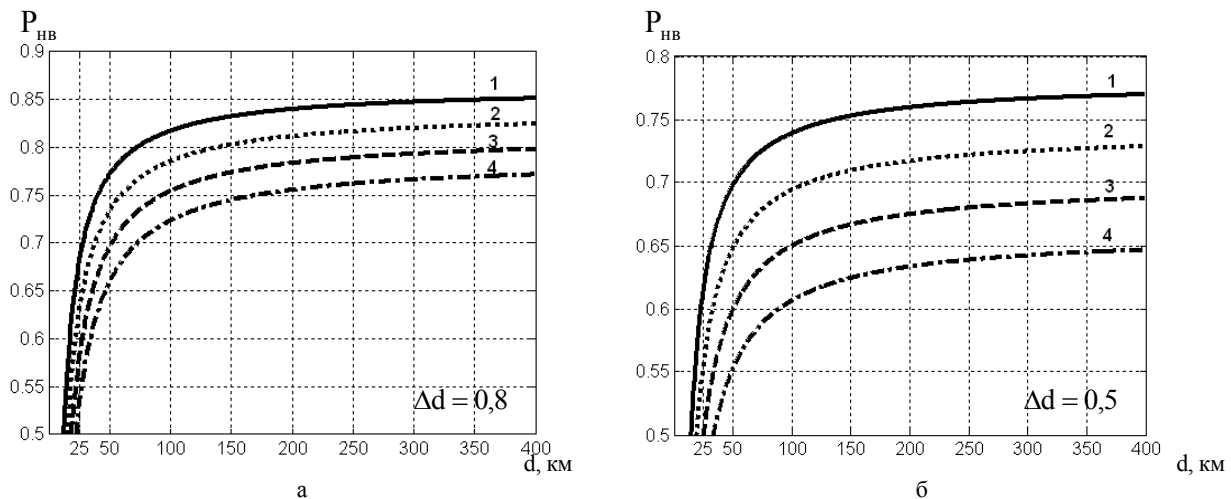


Рис. 2. Залежність ймовірності  $P_{нв}$  «невиходу» об'єкта за межі допустимої області відображення від дальності  $d$  до об'єкта

### Висновки

Практика експлуатації оглядових РЛС (55Ж6, ПЗ7, 1Л13 і ін.) свідчить про наявність постійного засвідчення індикатора кругового огляду (ІКО) в ближній зоні (до 25 км), обумовлений інтенсивними відображеннями від місцевих предметів. Тому візуально розрізнити відмітки цілей на фоні цих відображень на дальностях, менші 25 км, не представляється можливим.

З графіків рис. 2 видно, що навіть на дальності 25 км ймовірність  $P_{нв}$  «невиходу» об'єкту, рухомого з швидкістю  $V_{max} \leq 750$  м/с, за межі допустимої області відображення будуть не нижчі 0,6 і 0,5 для випадків  $\Delta d = 0,8$  км (рис. 2 а) і  $\Delta d = 0,5$  км (рис. 2 б) відповідно. Необхідно відмітити що ця ймовірність буде істотно вища з огляду на те, що при її оцінці враховувалася радіальна  $V_p = V_{max}$ , і нормальна  $V_n = V_{max}$  об'єкта, що становлять швидкість  $V_{ц}$ , які у випадку  $|V_{ц}| = V_{max}$  реально можуть змінюватися в діапазоні  $0 \dots V_{max}$  м/с.

Таким чином, час  $T_{доп} = 0,5$  с може бути обгрунтовано вибрано як допустимий час передачі інформації про повітряну обстановку в комп'ютерній мережі авіаційної системи.

### ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

С.Г. Семенов, А.А. Можяев, И.В. Ильина

Дано определение систем критического приложения. Определены наиболее важные критерии оптимизации компьютерных сетей систем критического приложения. Определен основной показатель своевременности связи при передаче информации – вероятность доведения информации за время, не превышающее допустимое. Проанализированы зависимости допустимого времени передачи кодограмм от дисперсии ошибок, которые возникают за счет задержки кодограмм в каналах связи, и вероятности «невыхода» объекта за пределы допустимой области отображения от дальности к объекту.

**Ключевые слова:** система критического приложения, компьютерные сети, своевременность, радиолокация.

### GROUND OF REQUIREMENTS TO QUALITY OF CONNECTION AT PASSING TO INFORMATION IN COMPUTER NETWORKS OF SYSTEMS OF CRITICAL APPLICATION

S.G. Semenov, A.A. Mozhaev, I.V. Il'ina

Determination of the systems of critical application is given. The most essential criteria of optimization of computer networks of the systems of critical application are certain. Certainly, that the basic index of timeliness of connection at passing to information is probability of leading to of information to the recipient for time, not exceed possible. Dependences of possible time of transmission of codegrams are analysed on dispersion of errors, which arise up due to the delay of codegrams in ductings of connection, and probability of «failure» to appear of object outside the possible area of reflection from distance to the object.

**Keywords:** system of critical application, computer networks, timeliness information, radio-location.

### Список літератури

1. Береза А.С. Основы построения АСУ: Учебн. пос-соб. в 2 кн. Книга 1. Систематические основы построения АСУ. – Х.: ХВУ, 1996. – 355 с.
2. Визначення показників ефективності управління складними організаційно-технічними системами: Звіт про НДР / Харківський університет Повітряних Сил. – № 0101U000520. – Х., 2006. – 84 с.
3. ДСТУ В 3265 – 95. Зв'язок військовий. Терміни та визначення. – К: УкрНДІССІ, 1995. – 23с.
4. Малишев О.А., Семенов С.Г. Методика передачі відеоінформації про повітряну обстановку в режимі реального часу // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2006. – № 6(12) – С. 31-33
5. Рудик В.В. Актуальные проблемы и направления развития системы связи Вооруженных Сил Украины, как составной части системы управления войсками (силами) // Наука и оборона. – К: МО, 2005 – № 2. – С. 22-28
6. Семенов С.Г. Метод адаптивной маршрутизации видеоинформации о воздушной обстановке в зоне стихийного бедствия // Научно-методичні основи оцінювання та управління техногенною безпекою у разі виникнення надзвичайної ситуації. – Х: НДІ мікрографії, 2007. – С. 26-27
7. Современные боевые самолеты: Справ. пособие / Под ред. Н.И. Рябинкина. – Мн.: Элайда, 1997. – 256 с.

Надійшла до редколегії 6.06.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.