

УДК 621.396.96

І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## СТРУКТУРА ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті наводяться структура та показники якості інформаційного забезпечення споживачів сумісними системами спостереження повітряного простору у складі первинного, вторинного та ідентифікаційного каналів при формуванні формуляру повітряного об'єкту на етапі первинної обробки інформації при реалізації квазіоптимальної обробки інформації у кожному з каналів.

**Ключові слова:** інформаційне забезпечення, сполучені системи спостереження, показники якості.

### Вступ

**Постановка проблеми й аналіз літератури.** Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системі контролю використання повітряного простору є системи спостереження (СС). Підвищення надійності інформаційного забезпечення (ІЗ) користувачів системи контролю повітряного простору (ПП) неможливо без використання інформаційних технологій (ІТ) у процесі отримання, збору, обробки, зберігання й розповсюдження аеронавігаційних даних. Реалізація цифрової обробки інформації у СС [1] дозволила здійснювати обробку інформації СС починаючи з виходів фазових детекторів. У цьому разі використання ІТ дозволило підвищити рівень ІЗ, що забезпечило безпеку польотів, підвищення економічності й регулярності польотів цивільної й військової авіації в районі аеродрому, на повітряних трасах та у позатрасовому ПП. ІТ у цій ситуації припускають автоматизацію процесів отримання, збору, обробки й відображення інформації від різнорідних СС та здійснюють мережеву обробку інформації. Сучасний інформаційний комплекс для надання інформаційних послуг споживачам системи контролю використання повітряного простору, як правило, містить в собі [2, 3]:

– первинну та вторинні СС із вбудованою апаратурою первинної та вторинної обробки інформації;

– апаратуру передачі даних.

Формуляр повітряного об'єкту (ПО), який видається споживачам інформації СС, повинен включати:

- вектор стану ПО;
- польотну інформацію (ПІ) ПО;
- інформацію про ідентифікацію ПО за ознакою «свій-чужий».

Широке використання ІТ з етапу ПОІ посилює задачу сумісної оптимізації обробки інформації на подальших етапах обробки. Це визначається структурою ПОІ, котру і будемо розглядати.

**Мета роботи.** Розробка загальної структури ІЗ користувачів на основі сумісних СС повітряного простору та обґрунтування інтегрального показника якості ІЗ споживачів інформації на етапі первинної обробки інформації (ПОІ).

### Основна частина

Основні елементи процедури контролю повітряного простору – аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначається якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення.

Обробка інформації СС повітряного простору здійснюється за етапами, що і впливає на структуру ІЗ. Формуляр ПО формується на етапі ПОІ. При формуванні формуляру ПО на етапі ПОІ ведучою у ІЗ є первинна СС, координатна інформація (КІ) ПО якої і закладається у формуляр ПО. Обчислення КІ ПО вторинними (запитальними) СС потрібне тільки для поєднання та порівняння інформації первинних та запитальних СС. Однак слід зазначити, що тільки на етапі первинної обробки інформації є можливість зміни показників якості виявлення сигналів, повітряних об'єктів та зав'язки трас ПО за рахунок аналогового управління порогу виявлення сигналів. У якості параметру, що оптимізує характеристики усіх етапів обробки інформації, може бути використано значення порогу виявлення сигналів. Ця обставина дозволяє зробити висновок: величину порогу виявлення сигналів може бути використано у якості параметру при сумісній оптимізації етапів обробки інформації.

У цьому разі структуру ІЗ користувачів на базі сумісної СС, яка включає первинну, вторинну та ідентифікаційну СС при виконанні задач ПОІ, мож-

ливо зобразити у вигляді, який показано на рис. 1. На входи структури поступають відфільтровані сигнали  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  та  $y_3(t)$  відповідно первинної, вторинної та ідентифікаційної СС. Структура містить виявлювачі сигналів (сигналів відповіді (СВ)), з виходу якого знімається послідовність випадкових нулів і одиниць  $x_i$ . Оптимальний поріг виявлення сигналу вибирається відповідно до обраного критерію. Таким чином, виявлення сигналу здійснюється за необхідними показниками якості, тобто  $F_{0i}$ ,  $D_{0i}$ .

Послідовність нулів і одиниць з виходу виявлювачів сигналу проходить часову дискретизацію і поступає далі на входи виявлювачів і вимірювачів координат ПО. Завдання виявлювача ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць вирішити оптимальним чином, чи являє собою прийнята вибірка пачку сигналів або вона відноситься до завади.

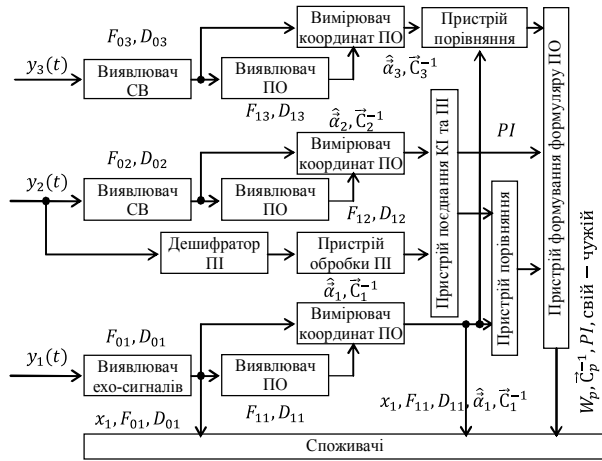


Рис. 1. Структура інформаційного забезпечення користувачів

Для вирішення сформульованого завдання виявлювач ПО має обробляти сигнали, що надходять, відповідно до деякого алгоритму. Алгоритм виявлення ПО зводиться до перевірки гіпотези  $H_0$  про відсутність ПО проти альтернативної гіпотези  $H_1$  про її наявність, тобто до утворення співвідношення правдоподібності й порівняння цього відношення з якимось наперед заданим числом, яке обирається, виходячи з припустимої ймовірності хибного виявлення.

Таким чином, для вирішення задач виявлення необхідно одержати відношення правдоподібності й зрівняти його з порогом, обраним відповідно до припустимої ймовірності хибної тривоги виявлення  $F$ . Функції правдоподібності для гіпотез  $H_1$  і  $H_0$  можна записати в наступному вигляді:

$$L(x_i | H_1) = \prod_{i=1}^N P_{cn}^{x_i}(x_i) \left[ 1 - \frac{1}{2} P_{cn}^{x_i}(x_i) \right]^{1-x_i}, \quad (1)$$

$$L(x_i | H_0) = \prod_{i=1}^N P_n^{x_i}(x_i) \left[ 1 - \frac{1}{2} P_n^{x_i}(x_i) \right]^{1-x_i}, \quad (2)$$

де  $x_i$  – об'єднана послідовність нулів і одиниць.

Використовуючи (1) і (2), відношення правдоподібності можна записати як

$$l(x_i) = \frac{L(x_i | H_1)}{L(x_i | H_0)} = \prod_{i=1}^N \left( \frac{P_{cn}^{x_i}(x_i)}{P_n^{x_i}(x_i)} \right)^{x_i} \left( \frac{1 - P_{cn}^{x_i}(x_i)}{1 - P_n^{x_i}(x_i)} \right)^{1-x_i} \geq l_0.$$

Логарифмуючи вираз та перетворюючи отриманий вираз, одержуємо

$$\sum_{i=1}^N x_i \eta_i \geq C, \quad (3)$$

де 
$$\eta_i = \frac{P_{cn}(x_i) [1 - P_{cn}(x_i)]}{P_n(x_i) [1 - P_n(x_i)]},$$

$$C = \ln l_0 - \sum_{i=1}^N \ln \frac{1 - P_{cn}(x_i)}{1 - P_n(x_i)}.$$

Таким чином, алгоритм оптимального виявлення ПО (3) зводиться до підсумовування вагових коефіцієнтів  $\eta_i$ , обумовлених формами діаграм спрямованості антен відповідного каналу сумісної СС, відповідних до позицій пачки, де  $x_i = 1$ .

Рішення про виявлення об'єкту з показниками якості  $F_{1i}$  і  $D_{1i}$  надходить на вимірювач координат ПО. Оцінка координат миттєвого положення ПО робиться одночасно з виявленням ПО. Завдання вимірювача координат ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць оцінити оптимальним чином координати ПО.

Отримані в кожному з каналів оцінки векторів виміру, разом з кореляційними матрицями помилок виміру надходять на пристрій об'єднання оцінок. В пристрої об'єднання оцінок, на основі аналізу оцінок векторів виміру, що надходять, й кореляційних матриць помилок виміру обчислюється оцінка результуючого вектора вимірів і результуюча кореляційна матриця помилок. Результуючий вектор виміру  $\hat{a}$ , разом з результуючою кореляційною матрицею помилок  $\hat{C}_p^{-1}$ , видаються споживачам.

Закінчується ПОІ (первинна обробка інформації) формуванням формуляру ПО, який включає:

$$\hat{W}_p, \hat{C}_p^{-1}, PI, \text{"свій - чужий"}.$$

При цьому слід зазначити, що поточний вектор стану ПО  $\hat{W}_p$  з відповідною матрицею точності складений на основі виміру координат ПО первинною СС та містить просторові координати ПО. Швидкість руху ПО, як правило, не оцінюється за

результатом обробки сигналів, що приймаються. Однак слід зазначити, що за ПО з ознакою «свій» швидкість може бути отримана за запитальною СС та наявністю потрібного літакового відповідача.

Інтегральним показником якості (ПЯ) ІЗ при використанні ІГ на етапі ПОІ може бути ймовірність ІЗ, яка для структури, наведеної на рис. 1, може бути записана як

$$P_{\text{inf}} = D_{11}, D_{12}, D_{13}, P_{\text{obe}}, P_{\text{por1}}, P_{\text{por2}}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{obe}}$  – ймовірність об'єднання координатної та польотної інформації вторинної СС;  $P_{\text{por1}}$  – ймовірність порівняння координатної інформації первинної та вторинної СС;  $P_{\text{por2}}$  – ймовірність порівняння координатної інформації первинної та ідентифікаційної СС.

Ймовірності правильного виявлення ПО кожним каналом сумісної СС  $P_i = D_{1i}$  є функціями

$$D_{1i} = f(D_{0i}, F_{0i}, C_i, P_0) = f(q_{0i}, z_{0i}, C_i, P_0),$$

де  $z_0(C)$  – аналоговий (цифровий) поріг виявлення сигналу (ПО);  $P_0$  – коефіцієнт готовності відповідача літака, що є характерним для вторинної та ідентифікаційної СС.

При порівнянні та поєднанні інформації (рис. 1), що потрібно для автоматичного складання формуляру ПО, критерієм є якість виміру КІ, через ймовірності цих дій, до яких належать:

- ймовірність втрат правильної польотної інформації (ПІ);
  - ймовірність спотворення ПІ;
  - ймовірність об'єднання КІ і ПІ вторинної СС;
  - ймовірність порівняння КІ первинної та ідентифікаційної СС;
  - ймовірність об'єднання КІ і ПІ у сполученій СС.
- Коротко розглянемо наведені ймовірності.

При обробці ПІ схемою за критерієм  $k/m$  є ймовірність втрат правильної польотної інформації у пристрої обробки

$$P_{\text{vtr}} = 1 - P_{\text{pi}}^k,$$

де  $P_{\text{pi}}$  – ймовірність видачі ПІ з виходу запитальної СС у перших  $m$  інформаційних відповідях.

При використанні у пристрої обробки схем підтвердження ПІ за критерієм  $k/m$  ймовірність спотворення польотної інформації складе:

$$P_{\text{ick.p.i}} = \sum_{i=k}^m C_m^i P_{\text{ick}}^i (1 - P_{\text{ick}})^{m-i},$$

де  $P_{\text{ick}}$  – ймовірність видачі запитальною СС хибної ПІ.

ПІ запитальних СС може надходити з деяким запізнюванням відносно КІ. Тоді номер дискрети приходу ПІ:

$$N'_d = N_d + T(KI) / r_d,$$

де  $N_d$  – номер дискрети приходу координатної інформації;  $T(KI)$  – запізнювання для запитальної системи спостереження, відповідне коду КІ;  $r_d$  – ціна дискрети дальності.

Практично ймовірність об'єднання координатної і польотної інформації складе:

$$P_{\text{obe}} = (1 - P_{\text{vtr.pi}})(1 - P_{\text{ick.pi}}) P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\},$$

де  $P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\}$  – умовна ймовірність приходу ПІ у

стробі від  $+N'_o$  до  $-N'_o$  відносно КІ ПО.

Алгоритм об'єднання інформації в пристрої обробки може бути побудований так, що одиночні відмітки каналів сумісної системи спостереження об'єднуються, якщо азимутний кут між центрами пакетів не перевищує  $\Delta\beta$ , а різниця їх дальностей  $\Delta r$ .

За умови, що відхилення центрів пакетів у первинному і вторинному каналах сумісної СС незалежні і підкоряються нормальному розподілу, ймовірність об'єднання пакетів можна визначити з наступного співвідношення:

$$P_{\text{por}} = \frac{1}{4} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\Delta\beta}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{\beta_1}^2 + \sigma_{\beta_2}^2}} \right) \right] \times \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\Delta r}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{r_1}^2 + \sigma_{r_2}^2}} \right) \right],$$

де  $\Phi(x)$  – інтеграл ймовірностей;  $\Delta\beta$  і  $\Delta r$  – роздільні здатності за азимутом та дальністю;  $\sigma_{\beta_1}, \sigma_{\beta_2} (\sigma_{r_1}, \sigma_{r_2})$  – середньоквадратичні відхилення азимутів (дальностей) центрів пакетів первинного та вторинних каналів сумісної СС.

Наведений вираз підкреслює те, що точність оцінки координат ПО СС також повинна входити до ПЯ ІЗ, як складова частина ймовірності поєднання а порівняння інформації каналів обробки. Слід зазначити, що ця обставина наводить істотні обмеження на якість виміру координат ПО. Дійсно, можливо показати, що точність виміру азимуту ПО вторинною та ідентифікаційною СС по пачці з  $N$  сигналів відповіді оцінюються як [5]:

$$\frac{\sigma}{\Delta\beta} = \frac{\varphi^2 \exp(z_o^2 / 2)}{2\sqrt{2} z_o q_o P_0} \left\{ \sum_{k=1}^{(N-1)/2} g^2(k) \exp(-q_k^2) k^2 I_1(z_o q_k) P_1 \right\}^{1/2},$$

$$\text{де } P_i = \sum_{k=0}^n \frac{\{P_{11}^{1-k}(k)P_{10}^{n-i-1}(k)(i-nP_{11}(k))\}^2}{P_0 P_{11}^i(k) P_{10}^{n-i}(k) + (1-P_0) P_{01}^i(1-P_{01})^{n-i}}$$

$\Delta\beta$  – кутова відстань між сигналами запиту;  $g(k)$  – апроксимація діаграми спрямованості антени СС за напругою;  $\varphi$  – ширина діаграми спрямованості.

Наведемо розрахунки імовірності ІЗ користувачів сумісною СС ПП при виявленні та виміри координат ПО на основі аналізу усієї пачки сигналів, що приймаються. На рис. 2 наведено вплив відношення с/ш ( $q$ ) на якість ІЗ при різних КГ літакових відповідачів запитальної та ідентифікаційної СС, котрі приймаються однаковими. При розрахунках прийнято, що відношення сигнал/шум у каналах обробки однакове.

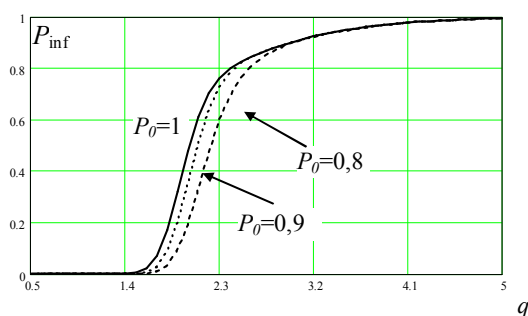


Рис. 2. Залежність  $P_{inf} = f(q, P_0)$

Наведені розрахунки показують:

– суттєвий вплив коефіцієнтів готовності літакових відповідачів на якість інформаційного забезпечення користувачів;

– потребу значного значення відношення сигнал/шум для реалізація автоматичної видачі формуляру ПО.

Слід зазначити, що нами розглянуто випадок однакових відносин сигнал-шум у каналах обробки спільної СС. На практиці ж, відношення сигнал-шум вторинних каналів спільної СС значно перевершує цей показник первинного каналу.

Таким чином, використання запропонованого ППЯ дозволяє об'єднати критерії ефективності обробки як сигналів, так і даних СС на основі порогу виявлення сигналів, тобто величина порогу може бути використана у якості параметру при сумісній оптимізації характеристик первинної, вторинної та третинної обробки.

## Висновки

Наведена структура та запропонований інтегральний показник якості інформаційного забезпечення споживачів дозволяє проводити оптимізацію характеристик різних етапів обробки інформації СС повітряного простору при широкому застосуванні інформаційного забезпечення на етапі первинної обробки інформації та здійснювати розподілену обробку потрібної інформації окремих СС користувачами.

## Список літератури

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
2. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с.
3. Грачев В.В. Радиотехнические средства управления воздушным движением / В.В. Грачев, В.М. Кейн. – М.: Транспорт, 1975. – 237 с.
4. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. та ін.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
5. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## СТРУКТУРА И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.И. Обод, А.А. Стрельницкий, В.А. Андрусевич

В статье приводится структура и показатели качества информационного обеспечения потребителей совместными системами наблюдения воздушного пространства в составе первичного, вторичного и идентификационного каналов при формировании формуляра воздушного объекта на этапе первичной обработки информации при реализации квазиоптимальной обработки информации в каждом из каналов.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, совместные системы наблюдения, показатели качества.

## THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF QUALITY OF INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, SURVEILLANCE OF AIRSPACE

I.I. Obad, A.A. Strelnickiy, V.A. Andrysevich

The paper provides a framework and indicators of the quality of information consumers provide joint air space surveillance systems as part of the primary and secondary channels in the formation of an identification form an air facility in primary processing of information in the implementation of the quasi-optimal processing of information in each channel.

**Keywords:** informative providing, joint supervision systems, index of quality.