

АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 621.396:351.814.3

В.П. Харченко, д.т.н., проф.
Д.Г. Бабейчук, заст. голови Державіатрансу України
О.С. Слюняєв, асп.

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ ІНФОРМАЦІЙНИХ АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМ КРИТЕРІЄМ ЕФЕКТИВНОСТІ

Сформульовано завдання аналізу структури системи. Запропоновано методику оптимізації мережі інформаційних засобів. Критерієм оптимізації вибрано узагальнений критерій ефективності аеронавігаційної системи.

The analysis of structure of the system is formulated in this article. The author offers the method of optimization of network of informative facilities. The generalized criterion of efficiency of the aeronavigation system is chosen for criterion of optimization.

Вступ

Специфіка роботи повітряного транспорту потребує постійного вдосконалення всіх систем та підсистем, що його складають. Це необхідно для гарантування безпечного та ефективного функціонування всього транспортного комплексу. Підвищення його характеристик неминуче пов'язано з розвитком інформаційних засобів забезпечення польотів для різних відомств і, передусім – для цивільної авіації та авіації Міністерства оборони України.

Для підтримання належного рівня безпеки польотів необхідно реалізувати цілий комплекс заходів, спрямованих на поділ повітряного простору і гнучкість його використання, вибір та розміщення сучасних радіоелектронних засобів для отримання потрібної інформації повітряну ситуацію про розроблення та впровадження нових концепцій і планів щодо оптимізації ефективного повітряного руху в структурованій аеронавігаційній системі [1; 2].

Аналізу аеронавігаційної структури

Задача аналізу структури полягає насамперед у визначенні основних характеристик за деякого вибраного (фіксованого) функціонально пов'язаного набору елементів. Розроблення відповідної структури потребує визначення множини елементів системи і зв'язків між ними, розподілу завдань, що покладаються на технічні засоби, та вибору технічних засобів для забезпечення ефективних управлінських рішень.

Під структурою керування аеронавігаційної системи будемо розуміти схему, що дозволяє, поперше, розподіляти процеси у групах підсистем різних рівнів впливу на загальний процес з підпорядкуванням підсистемам вищого рівня, подруге, виділити функції керування та відповідних алгоритмів по підсистемах.

Обидва наведених аспектів взаємозв'язані, обґрунтування структури припускає їх аналіз з урахуванням цих взаємозв'язків.

Для формалізації задачі аналізу структури аеронавігаційної системи уведемо позначення:

Q – множина можливих принципів і алгоритмів керування, де $q \in Q$ для побудови системи або її елементів. Множину Q задають або синтезують (вибирають) під час синтезу системи;

Φ – множина взаємозв'язаних функцій (завдань, операцій), виконуваних системою. Кожному набору принципів і алгоритмів керування q при побудові системи відповідає деяка множина функцій $\Phi(q)$, з якої під час проектування цієї системи вибирають підмножину $\varphi \in \Phi(q)$, достатню для реалізації вибраних принципів і алгоритмів q ;

V – множина взаємозв'язаних елементів системи.

Уведемо також операцію відображення $\overset{v}{\rightarrow}$ елементів множини Φ на елементи множини V . Оптимальне відображення має забезпечити екстремум деякої або деяких цільових функцій для виконання заданих обмежень. Тоді у загальному вигляді задача аналізу структури полягає у визначенні характеристик при виконанні умов:

$$q \in Q, \varphi \in \Phi(q), v \in V;$$

$$\{\varphi \in \Phi(q)\} \overset{v}{\rightarrow} \{v \in V\}.$$

Залежно від завдань дослідження слід використовувати різний набір характеристик, який визначають за прийнятою або розробленою методикою. Для задачі оптимізації інформаційних засобів аеронавігаційної системи (ІЗАС) цей набір визначають таким чином.

Методика оптимізації мережі інформаційних засобів аеронавігації

Проблему оптимального розміщення інформаційних засобів аеронавігації для сукупності трас і маршрутів розв'язувати складніше, ніж проблему формування оптимальної конфігурації інформаційного поля, оскільки потрібно враховувати більшу кількість чинників, а отже, істотно збільшується розмірність проблемного завдання. Пропонуємо такий підхід для її розв'язання.

Нехай задана щільність потоку літаків $\Phi(x)$. Позначимо через V об'єднання деяких трас і маршрутів $M_i, 1 \leq i \leq k; x \in V$. Задано ряд інформаційних засобів певного класу, але різних груп. Інформаційні засоби аеронавігаційної системи першої групи M_1 з дальністю дії $R_u^{(1)}$ розмістимо в точках $y_i, 1 \leq i \leq M_1$, а другої групи M_2 з дальністю дії $R_u^{(2)}$ – у точках $Z_j, 1 \leq j \leq M_2$. Крім того є ІЗАС третьої групи, розміщені в точках $V_k, 1 \leq k \leq M_3$ з радіусом дії $R_u^{(i)}$.

Позначимо через $\rho_i(x)$ коефіцієнт перекриття для ІЗАС першої групи, тобто кількість точок Y_1, \dots, Y_{M_1} , які віддалені від x не більше, ніж на R_1 . Аналогічно для другої групи $\rho_2(x)$ – кількість точок Z_1, \dots, Z_{M_2} , віддалених від x не більше, ніж на R_2 . Для третьої групи $\rho_3(x)$ – кількість точок V_1, \dots, V_{M_3} , таких, що відстань $|V_k - x| \leq R_u(k)$.

Через $\rho(x) = \rho_1(x) + \rho_2(x) + \rho_3(x)$ позначимо загальний коефіцієнт перекриття.

Витрати на споруду позицій і експлуатацію ІЗАС першої групи в точках y (без урахування вартості спостереження) позначимо через $z_1(y_i); z_2(Z_R)$ – такі ж витрати для ІЗАС другої групи для точок $Z_R; C_c^1$ – вартість одного спостереження для ІЗАС першої групи, C_c^2 – аналогічна вартість для другої групи; $z_3(V_j)$ та $C_c^3(V_k)$ – відповідно витрати і вартість одного спостереження для ІЗАС третьої групи, розміщених у точках V_k .

У разі обслуговування потоку з N літаків за допомогою груп ІЗАС їх ефективність визначається відповідно до формули

$$E = N [C_1 P(S_1) - \sum_{i=2}^5 C_i P(S_i)] - [NR + I'], \quad (1)$$

де S_i – тип повітряної ситуації ($i = \overline{1,5}$);
 N – інтенсивність польотів.

У формулі (1)

$$I' = I_1 + I_2.$$

де I_1 – капітальне вкладення і експлуатаційні витрати,

I_2 – витрати, пов'язані безпосередньо з вимірюваннями.

У цьому випадку

$$I_1 = \sum_{i=1}^{M_1} z_1(y_i) + \sum_{j=1}^{M_2} z_2(Z_j) + \sum_{k=1}^{M_3} z_3(V_k)$$

та

$$I_2 = N \bar{\tau}(M_1, M_2, M_3) (C_c^1 M_1 + C_c^2 M_2 + \sum_{k=1}^{M_3} C_c^3(V_k)), \quad (2)$$

де $\bar{\tau}(M_1, M_2, M_3)$ – середній час прийняття рішення щодо одного літака групами ІЗАС.

У формулі (2) вираз $N \bar{\tau}(M_1, M_2, M_3)$ – середня кількість спостережень, проведених одним засобом ІЗАС (наприклад, первинні або вторинні радіолокатори) при обслуговуванні потоку з N літаків. Розглянемо вплив перших двох груп ІЗАС. Вплив третьої групи зафіксуємо.

Оскільки в рівнянні (1) перший доданок

$$N(C_1 P(S_1) - \sum_{i=2}^5 C_i P(S_i))$$

є у цьому випадку фіксований, то замість мінімізації функціонала (1), можна розглядати мінімум функції втрат

$$\Phi = NR + \sum_{i=1}^{M_1} C_1(y_i) + \sum_{j=1}^{M_2} C_2(Z_j) + M \bar{\tau}(M_1, M_2) (C_c^1 M_1 + C_c^2 M_2 + \sum_{k=1}^{M_3} C_c^3(V_k)). \quad (3)$$

Функціонал Φ залежить від значень $R, M_1, M_2, \{y_j\}, \{Z_k\}$. Тут R функція ризику (2).

Формулу (3) виведено для однієї ділянки траси при обслуговуванні N літаків. Виведемо аналогічну формулу для досить великої ділянки.

Нехай Δl – довжина ділянки траси або маршруту.

Позначимо через $\Phi = \frac{N}{\Delta l}$ питому щільність потоку.

Вважаймо її фіксованою в кожній точці множини

$$V = \bigcup_{n=1}^m M_n.$$

Відповідно до формули (3) втрати на ділянці за-
вдовжки Δl в околі точки x становлять:

$$\begin{aligned} \Phi(x) = & \phi(x) \Delta l R + \phi(x) \Delta l \bar{\tau} (\rho_1(x) + \rho_2(x) + \rho_3(x)) \times \\ & \times (C_c^1 \rho_1(x) + C_c^2 \rho_2(x) + \\ & + \sum_{i:|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)) + \sum_{j:|y_j-x| \leq R_1} C_1(y_j) + \sum_{k:|Z_k-x| < R_2} C_2(Z_k). \end{aligned} \quad (4)$$

Величина $\bar{\tau}$ у формулі (4) залежить не тільки від $\rho(x) = \rho_1(x) + \rho_2(x) + \rho_3(x)$,

але й від порогового значення ризику R^* .

Для допустимого значення ризику послідовне
правило будемо так, щоб реальний середній ри-
зик становив $R \leq R^*$. Тоді функцію втрат $\Phi(x)$
можна замінити на функцію $\Phi = \Phi^*(R^*)$ гаран-
тованих утрат:

$$\begin{aligned} \Phi^*(x) = & \phi(x) \Delta l R^* + \phi(x) \Delta l \bar{\tau} (\rho(x), R^*) \times \\ & \times (C_n^1 \rho_1(x) + C_c^2 \rho_2(x) + \\ & + \sum_{i:|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)) + \sum_{j:|y_j-x| \leq R_1} C_1(y_j) + \sum_{k:|Z_k-x| < R_2} C_2(Z_k). \end{aligned} \quad (5)$$

Функціонал Φ^* потрібно мінімізувати за R^* . Це
виконують моделюванням. Мінімізації підлягає
функція

$$\begin{aligned} f(R^*; x) = & R^* + \bar{\tau} (\rho(x), R^*) (C_n^1 \rho_1(x) + C_c^2 \rho_2(x) + \\ & + \sum_{i:|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)), \end{aligned} \quad (6)$$

що є коефіцієнтом при $\phi(x) \Delta l = N$ у формулі (5).

Нехай $R^* \rho_1, \rho_2 = R^*(x, \rho_1(x), \rho_2(x))$ – точка міні-
муму (6). Тоді мінімум

$$\begin{aligned} \Phi^*(x) = & \phi(x) \Delta l R^* \rho_1, \rho_2 + \phi(x) \Delta l \bar{\tau} (\rho(x)) \times \\ & \times R^* \rho_1, \rho_2 (C_c^1 \rho_1(x) + \\ & + C_c^2 \rho_2(x) + \sum_{|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)) + \sum_{|y_j-x| \leq R_1} C_1(y_j) + \sum_{|Z_k-x| < R_2} C_2(Z_k). \end{aligned}$$

Загальні гарантовані втрати на V можна подати
виразом

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}^*(V) = & \int_V \phi(x) R^* \rho_1, \rho_2, dl(x) + \int_V \phi(x) \bar{\tau} \times \\ & \times (\rho, R^* \rho_1, \rho_2) (C_c^1 \rho_1 + C_c^2 \rho_2 + \\ & + \sum_{|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)) + \sum_{|y_j-x| \leq R_1} C_1(y_j) + \sum_{|Z_k-x| < R_2} C_2(Z_k). \end{aligned} \quad (7)$$

Позначимо:

$$\begin{aligned} \kappa(x, \rho_1, \rho_2) = & R^* \rho_1, \rho_2 + \bar{\tau} (\rho, R^* \rho_1, \rho_2) (C_c^1 \rho_1 + \\ & + C_c^2 \rho_2 + \sum_{|V_i-x| \leq R(i)} C_c(V_i)). \end{aligned}$$

Цю функцію можна обчислити в кожній точці x
 $\in V$ за заданих $\rho_1(x)$ і $\rho_2(x)$. Тоді рівняння (7) має
вигляд

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}^*(V) = & \int_V \phi(x) \kappa(x, \rho_1(x), \rho_2(x)) dl(x) + \\ & + \sum_{|y_j-x| \leq R_1}^{M_1} C_1(y_j) + \sum_{|Z_k-x| \leq R_2} C_2(Z_k). \end{aligned} \quad (8)$$

У формулі (8) ρ_1 та ρ_2 задовольняє нерівність

$$\rho_1(x) + \rho_2(x) + \rho_3(x) \geq 2 \quad \forall x \in V, \quad (9)$$

що обумовлено наявністю різних класів засобів
спостереження, навігації та зв'язку.

Позначимо

$$\mu(x) = \max\{0; 2 - \rho_3(x)\}, x \in V.$$

З рівняння (9) маємо

$$\rho_1(x) + \rho_2(x) \geq \mu(x), x \in V. \quad (10)$$

Функціонал (8) слід мінімізувати за умови (10).

Висновки

Підвищення ефективності аеронавігаційного об-
слуговування потребує реалізації широкого спе-
ктора заходів, що містять організаційні, технічні,
технологічні, експлуатаційні та екологічні скла-
дові. Запропоновано методику, яка дозволяє
розв'язувати задачу оптимального розміщення
інформаційних засобів аеронавігаційного обслу-
гування за узагальненим критерієм ефективності.
Цю методику застосовують для оптимізації струк-
турованої аеронавігаційної системи з вибраним
набором характеристик.

Література

1. *Енциклопедія безпеки авіації* / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др. / под ред. Н.С. Кулика. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.
2. *Харченко В.П., Зайцев Ю.В.* Аеронавігація: – К.: Кн. вид-во НАУ, 2008. – 272 с.