

## **ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЮ РАДІОЛОКАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ В РЕЖИМІ НАВЕДЕННЯ**

*Анотація.* Розглянута задача оптимального управління режимом наведення багатофункціональної РЛС. Отримане вирішення визначає закон оптимального керування наведенням літальних апаратів і виміром їхніх координат.

*Ключові слова.* Радіолокаційна система, летальні апарати, система наведення, алгоритм оптимального управління.

### **Постановка проблеми**

Для наведення керованих літальних апаратів (ЛА) на об'єкт використовують командні системи телеуправління, системи самонаведення і комбіновані системи управління. Управління режимом наведення радіолокаційної системи може бути здійснено тільки для командних систем наведення [1].

Вимірювання поточних координат ЛА і передача команд управління на його борт в командних системах телеуправління здійснюється багатофункціональною радіолокаційною системою (БФ РЛС). При цьому управління ЛА визначається відповідно до вибраного методу наведення, причому команди управління посилаються на апарат кожного разу під час сеансу зв'язку з ним. При цьому частота проведення (кількість за одиницю часу) сеансів зв'язку зазвичай вибирається стаціонарною [2]. Отже, якщо апарат знаходиться на розрахунковій (кінематичною) траєкторії, то, згідно даному алгоритму управління, БФ РЛС продовжуватиме вимірювання координат ЛА і передачу команд управління на його борт з тією ж частотою, що і в будь-якій іншій ситуації. Ця частота не залежить від якості управління апаратом, тобто від величини помилок наведення, що приводить до підвищеної витрати енергетичних ресурсів РЛС (під якими розумітимемо число звернень до апарату за одиницю часу), не поліпшуючому, проте, точність наведення ЛА на об'єкт.

Отже, задача оптимального управління ЛА, що наводяться, а також радіолокаційними спостереженнями за їх координатами в ре-

жимі наведення є актуальною і вимагає відповідного вирішення.

### Аналіз публікацій

Питанням оптимізації процесу функціонування БФ РЛС в режимах виявлення, супроводження і наведення об'єктів присвячено ряд робіт [3 - 5]. У цих роботах обґрунтовані показники ефективності функціонування при реалізації кожного з режимів роботи БФ РЛС окремо, або при поєднанні двох режимів. У них досліджуються алгоритми управління режимом наведення, проте розглянуті лише спеціалізовані РЛС. Сучасні ж тенденції розвитку радіолокаційної техніки вдають найбільшу перспективність використання БФ РЛС для комплексного вирішення завдань супроводження і наведення. Подібна проблема доки досліджена недостатньо.

### Мета статті

Необхідно розробити метод управління режимом наведення БФ РЛС, який дозволить понизити кількість команд управління при збереженні необхідної точності наведення і, тим самим, звеличить пропускну спроможність у даному режимі.

### Виклад основного матеріалу

#### Розробка методу оптимального управління

Розглянемо процес наведення ЛА на об'єкт, рухомий по детермінованій траєкторії.

Вважатимемо, що траєкторія руху ЛА описується поліномом відомого ступеня, а модель наведення ЛА на ціль в загальному вигляді можна представити [6,7] у вигляді управляної послідовності пари випадкових векторів  $\theta_t$  і  $\varphi_t$ , задовольняючій наступній системі рекурентних рівнянь:

$$\theta_{t+1} = \Phi_t \theta_t + C_t u(t), \quad (1)$$

$$\varphi_{t+1} = v(t) \theta_t, \quad t = 0, 1, \dots, T, \quad (2)$$

где  $\theta_t$  - спостережений вектор параметрів траєкторії ЛА в  $t$ -ий момент часу;

$\varphi_t$  - вектор вимірюваних за допомогою БФ РЛС координат ЛА в  $t$ -ий момент часу;

$u(t)$ - вектор управляних дій, що необхідні для компенсації відхилення поточних значень параметрів траєкторії ЛА від їх необхідних величин, визначуваних прийнятим методом наведення;

$v(t)$ - оператор відповідності, що встановлює зв'язок між спостережуваними координатами і оцінюваними параметрами, і крім того враховує, чи проводяться в даний момент часу вимірювання чи ні;

$\Phi_t$  - матриця екстраполяції;

$C_t$  - матриця, що визначає зв'язок між параметрами траєкторії ЛА та управляльними діями.

Дана задача є задачею управління за неповними даними та характеризується тим, що інформація про поточний стан системи доставляється за допомогою непрямих вимірювань, здійснюваних до того ж з помилками. Іншими словами, стороні, що управляє, не відомий точно вектор  $\theta_t$  але він може бути виміряний з помилками. Таким чином, початкову задачу управління можна звести до двох задач: задаче спостереження і задаче управління. У задачі спостереження необхідно оптимально в деякому розумінні оцінити певні параметри траєкторії ЛА, а в задачі управління деяким найкращим чином вплинути на значення цих параметрів [6, 7].

Якість вирішення цих задач, тобто якість управління наведенням ЛА можна оцінити показником якості вигляду [6]:

$$J = M \left\{ \theta_1^* G(T) \theta_1 + \sum_{k=0}^{T-1} \left[ \theta_k^* g(t) \theta_k + u^*(t) Q(t) u(t) + F(t, v(t)) \right] \right\} \rightarrow \min \quad (3)$$

де  $G(T)$ ,  $g(t)$ ,  $Q(t)$  - відомі симетричні матриці;

$F(\circ)$  - деяка ненегативна скалярна функція;

символ " $M\{\circ\}$ " означає операцію математичного сподівання, а знак "\*" - операцію транспонування.

Вираз (3) може бути перетворено до наступного вигляду:

$$J = Sp \left[ G(T) \Omega(T) \right] + \sum_{k=0}^{T-1} Sp \left[ g(t) \omega(t) \right] + \sum_{k=0}^{T-1} \left[ u^*(t) Q(t) u(t) + F(t, v(t)) \right] \rightarrow \min \quad (4)$$

де  $\Omega(T)$  і  $\omega(t)$  - кореляційні матриці помилок оцінювання параметрів траєкторії ЛА, що наводиться, у момент часу  $T$  і  $t$  відповідно.

У функціоналі (4) перший доданок характеризує, згідно [2, 6], якість оцінювання параметрів траєкторії ЛА в точці зустрічі з об'єктом (помилку оцінки миттєвого промаху в точці зустрічі). Другий доданок характеризує якість оцінювання параметрів траєкторії апарату, що наводиться, в кожен момент часу  $t$ . Останній доданок дозволяє врахувати сумарні витрати енергетичних ресурсів БФ РЛС на управління польотом ЛА і проведення спостережень за його траєкторією.

У сформульованій задачі матриця  $\omega(t)$  не залежить явно від значення вектора управління апаратом  $u(t)$ . У роботі [6] показано, що в цьому випадку рішення задачі оптимізації управління ЛА і процесом спостереження можна отримати з урахуванням того, що управління спостереженнями  $v(t)$  за координатами ЛА, рухомого по відомій траєкторії, може бути розраховано наперед. В цьому випадку для кожного допустимого управління спостереженнями  $v(t)$  можна знайти оптимальне управління  $\tilde{u}(t)$  таке, що  $J(\tilde{u}, v) \leq J(u, v)$ .

Це управління може бути визначене методом динамічного програмування.

Відповідне функціоналу (4) рівняння Беллмана можна записати у наступному вигляді:

$$R(t, x) = \min_{u \in U} \left\{ x^* g(t)x + Sp \left[ g^{1/2}(t) \omega_t g^{1/2}(t) \right] + \right. \\ \left. + u(t)^* Q(t)u(t) + M \left[ R((t+1), \theta_t) / \theta_t = u(t) \right] \right\}, \quad 0 \leq t \leq T-1, \quad (5)$$

з краєвою умовою  $R(T, x) = x^* G(T)x + Sp \left[ G^{1/2}(T) \omega(T) G^{1/2}(T) \right]$ .

У роботі [6] доведено, що оптимальне управління  $\tilde{u}(t)$  є лінійною функцією умовного середнього значення вектора оцінок значень параметрів траєкторії ЛА  $\hat{\theta}_t^0$ . При цьому, оптимальне значення функціонала  $J(\tilde{u}(t))$  рівно  $M\{R(0, \hat{\theta}_0^0)\}$ .

В цьому випадку оптимальне управління  $\tilde{u}(t)$  визначається з умови мінімізації квадратичної форми

$$\tilde{u}(t) = u(t)^* [Q(t) + C_t^* p(t+1)C_t]^{-1} + 2u(t)^* C_t^* p(t+1)\Phi(t)\hat{\theta}_t^0 \rightarrow \min,$$

де  $\hat{\theta}_i$  - вектор оцінок значень параметрів траєкторії ЛА, отриманий при вирішенні задачі управління спостереженнями за ним.

Розв'язанням задачі управління польотом апарату в такій постановці є вираз для розрахунку оптимального управління польотом ЛА вигляду

$$\tilde{u}(t) = -[Q(t) + C_i^* p(t+1) C_i]^{-1} C_i^* p(t+1) \Phi_i \hat{\theta}_i \quad (6)$$

де матриці  $p(t)$  і  $\rho(t)$  при цьому повинні задовольняти наступним рекурентним рівнянням:

$$p(t) = g(t) + \Phi_i^* p(t+1) \Phi_i - \Phi_i p(t+1) C_i^* \times [Q(t) + C_i^* p(t+1) C_i]^{-1} C_i^* p(t+1) \Phi_i, \quad (7)$$

$$\rho(t) = \rho(t+1) + Sp[p^{1/2}(t+1) D(t+1) D(t+1)^* p^{1/2}(t+1)] + Sp[g^{1/2}(t) \omega(t) g^{1/2}(t)], \quad (8)$$

де  $D(t) = v(t)[1 + \omega(t)]$ .

Рівняння (7), (8) вирішуються з крайовими умовами:

$$p(T) = G(T),$$

$$\rho(t) = Sp[G^{1/2}(T) \omega(t) G^{1/2}(T)^*],$$

причому також як  $v(t)$ , матриці  $p(t)$  і  $\rho(t)$  залежать тільки від функції дискретного часу і можуть бути обчислені наперед.

#### Результати моделювання

На підставі розробленого методу управління радіолокаційними спостереженнями БФ РЛС в режимі наведення був розроблений алгоритм, що реалізовує цей метод.

Результати оцінки збільшення пропускної спроможності БФ РЛС  $H_p$  при використанні розробленого алгоритму для різної необхідної точності наведення  $\sigma_{mp}^2$  і різній кількості  $N$  ЛА, що наводяться, приведені на рис.1.

Математичне моделювання показало, що використання розробленого алгоритму дозволяє понизити енергетичні витрати (тобто кількість команд на одиницю часу) на наведення кожного літального апарату, і збільшити тим самим пропускну спроможність БФ РЛС в цілому на 9-15%.

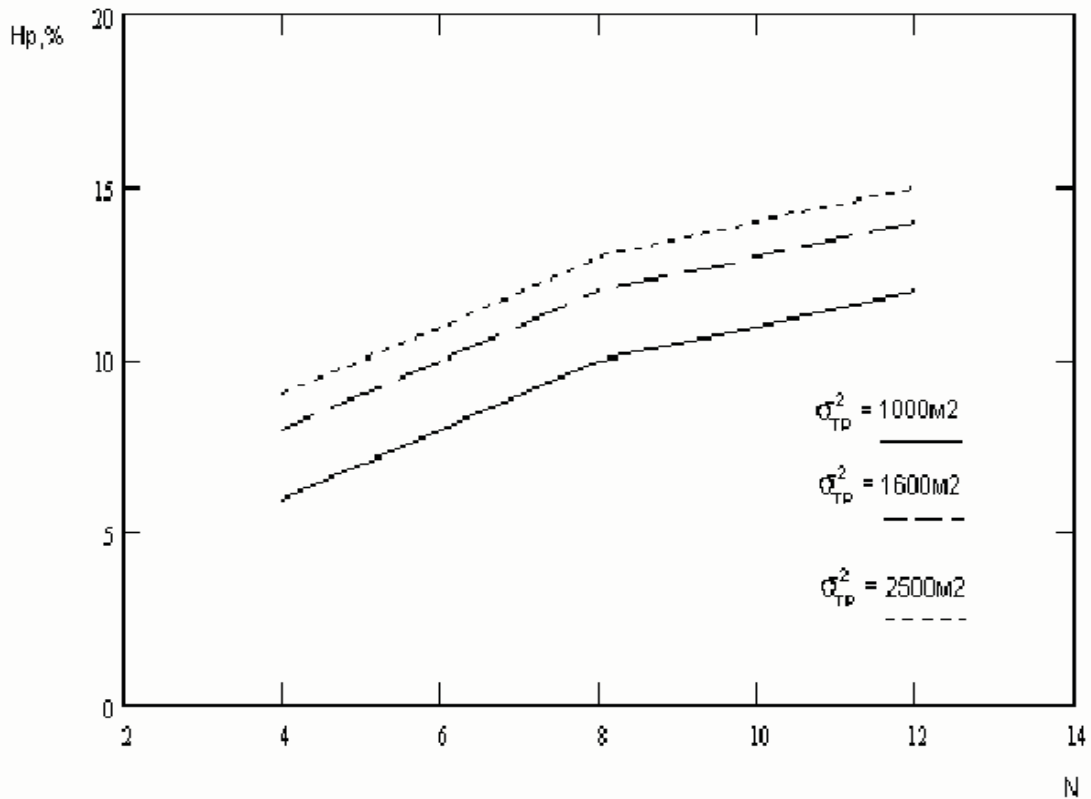


Рисунок 1 – Залежність відносного збільшення пропускної спроможності БФ РЛС  $H_p$  при використанні оптимального алгоритму управління режимом наведення від необхідної точності наведення  $\sigma_{тр}^2$  і кількості апаратів  $N$ , що наводяться

### Висновок

В результаті виконаної роботи розроблені метод і алгоритм оптимального управління БФ РЛС в режимі наведення, який дозволяє значно підвищити пропускну спроможність РЛС при збереженні необхідних помилкових характеристик наведення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитними ракетами. – М.: Воениздат, 1991. – 294 с.
2. Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Карлов В.И. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

3. Гришин И.Ю., Можар М.К., Решетник В.М. Проблемы управления зенитными ракетными комплексами // Наука і оборона, - 1994, вип. 3, с. 27-32.
4. Пискунов С.П. Оптимальное распределение энергетических ресурсов многофункциональной РЛС между функциональными режимами // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - Х.: ХГТУРЭ, 1998. - Вып. 107. - С. 42-45.
5. Пискунов С.Н. В.М. Решетник Оптимизация процесса управления наблюдениями при обнаружении воздушных целей в многофункциональной радиолокационной станции // Радиоэлектроника и информатика. -Х: ХГТУРЭ, 1998. -№1.- С. 82-84.
6. Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А., Серебровский А.П. Управление наблюдениями в автоматических системах. – М.: Наука, 1986– 215 с.
7. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях. – М.:Наука, 1978. – 352 с.