

УДК 621.396

О.М. Мішуков, Б.О. Чумак

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

*Розроблені науково-технічні пропозиції, щодо принципів побудови вимірювача системи управління літальними об'єктами підвищеної точності. У статті запропоновані науково-технічні пропозиції, щодо принципів побудови оптимального вимірювача системи управління літальний об'єкт.*

**Ключові слова:** середньоквадратична похибка, вимірювач, вхідний сигнал, синтез, дискримінатор, блок частоти, ефективність

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Проблеми, пов'язані з перспективами розвитку полігонного випробувального комплексу (ПВОК), передбачають розвиток прискореними темпами полігонної бази Повітряних Сил ЗС України і її інфраструктури.

У зв'язку з цим актуальним є завдання подальшого вдосконалення і розвитку як полігонного вимірювального комплексу, так і його засобів. Рішення даної задачі безумовно буде по-

в'язано з випробуваннями нових зразків озброєння та військової техніки. Дані випробування, у свою чергу, потребують вирішення наступних складних інженерних задач [1, 2]:

– створення системної методології аналізу і синтезу побудови ПВОК як складової підсистеми усієї системи полігонних випробувань та його радіоелектронних систем;

– вибір складу засобів і організації комплексів для якісного забезпечення навчань або льотних випробувань техніки;

– розробка принципів побудови основних функціональних підсистем складної системи полігонних випробувань та забезпечення навчань з бойовою стрільбою.

Однією з найважливіших при цьому є задача підвищення (поліпшення) тактико-технічних характеристик (ТТХ) інформаційно-вимірювальних систем, що призначені як для успішного виконання учбово-бойових задач, так і ефективного проведення льотно-конструкторських випробувань (ЛКВ) нових зразків перспективного озброєння.

**Метою статті** є розробка науково-технічних пропозицій, щодо принципів побудови оптимального вимірювача системи управління літальними об'єктами.

### Основна частина

Синтез приймача системи управління літальними об'єктами (ЛЮ) за частковим показником якості, зокрема, мінімуму середньоквадратичної похибки вимірювань навігаційних параметрів руху об'єкту, можливий, якщо завдання відтворення закону руху звести до задачі відтворення одного або декількох параметрів цього закону, що залишаються незмінними за час вимірювання.

Як показує аналіз [3], це можливо в наступних випадках:

1. Випадок квазірегулярних траєкторій, тобто траєкторій, відомих повністю, за винятком декількох параметрів  $a_1, \dots, a_n$ . Такий характер мають траєкторії ЛЮ на ділянках їх вільного (пасивного) польоту.

2. Випадок невеликого часу обробки. Якщо час  $\Delta t$ , що відводиться на обробку траєкторного сигналу, буде значно меншим, ніж повний час польоту  $T_n$  контрольованого об'єкту. Такий режим є характерним при проведенні випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) та/або навчань військ з бойовою стрільбою.

Закон руху об'єкту в цьому випадку може бути з достатньо високою точністю апроксимований поліномом, наприклад:

$$\lambda(t) = \sum_{k=1}^n \lambda_k \varphi_k(t), \quad (1)$$

де  $t \in (0, T)$ .

Або, в безперервному часі

$$\lambda(t) = \bar{\lambda}^T \bar{\varphi}(t), \quad (2)$$

де "T" – символ транспонування.

Ефективність виконання завдань полігонного випробувального комплексу щодо знаходження визначених траєкторій, як наведено вище, буде в суттєвій мірі залежати від оптимізації обробки інформації у вимірювальних засобах.

Таким чином, поставлена задача синтезу оптимального приймача наведених засобів.

Отже, за фізичним змістом задачі вхідний процес  $\lambda(t)$  можна представити у вигляді суми детермінованих функцій  $\varphi_k(t)$  із сталими, але невідомими під час сеансу роботи коефіцієнтами  $\lambda_k$ , що математично можна представити у вигляді (1).

Вхідний сигнал, який надходить до приймального пристрою вимірювальної системи, в загальному випадку можна показати у вигляді адитивної суми корисної та завадової складових:

$$y(t) = S[t, \lambda(t)] + n(t). \quad (3)$$

При цьому фільтрований параметр сигналу  $\lambda$  закодований в корисній компоненті сигналу.

Відносно завади будемо вважати, що її статистичні характеристики відомі, а саме:

$$\langle n(t) \rangle = 0 \text{ – статистичне середнє;}$$

$$\langle n(t) n(t+\tau) \rangle = 0,5 N_0 \delta(t+\tau) \text{ – кореляційна функція.}$$

Тут  $0,5 N_0$  – двобічна спектральна густина потужності шумів.

Дуже часто в якості функцій  $\varphi_k(t)$  застосовуються відомі функції ряду Тейлора, тобто

$$\varphi_k(t) = \frac{t^k}{K!}, \text{ (якщо } \varphi_0(t)=1, \varphi_1(t)=t, \varphi_2(t)=0,5t^2 \text{ та ін.)}$$

Задача оцінки процесу (3), який закодований в сигналі  $S[t, \lambda(t)]$ , зводиться до сумісної оцінки векторного параметра:

$$\bar{\lambda}^T = \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_n\}. \quad (4)$$

Задачу сумісної оцінки векторного параметра (3) вирішується методом максимальної правдоподібності. Для сигналу відомої форми  $S[t, \lambda(t)]$  логарифмічна функція правдоподібності має вигляд [4]:

$$\ln p\left(\frac{y(t)}{\lambda(t)}\right) = -\frac{1}{N_0} \int_0^T \{y(t) - S[t, \lambda(t)]\}^2 dt, \quad (5)$$

де  $y(t)$  визначається співвідношенням (4).

Точність оцінки векторного параметра  $\bar{\lambda}$  характеризується матрицею

$$\Sigma_{\bar{\lambda}} = \Phi^{-1}, \quad (6)$$

де  $\Phi$  – інформаційна матриця Фішера з елементами

$$\Phi_{ki} = - \left\langle \frac{\partial^2 \ln p\left[\frac{y(t)}{\bar{\lambda}(t)}\right]}{\partial \lambda_k \partial \lambda_i} \right\rangle, \quad k, i = 0, 1, \dots, n.$$

Структура системи має містити пристрій оцінок векторного параметра  $\bar{\lambda}$ , які можна визначити із системи рівнянь

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_k} \ln p\left(\frac{y(t)}{\lambda(t)}\right) = \frac{2}{N_0} \int_0^T \left\{ y(t) - S[t, \bar{\lambda}, \bar{\varphi}(t)] \right\} \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda_k} S[t, \bar{\lambda}, \bar{\varphi}(t)] dt = 0 \quad (7)$$

$k = 0, 1, \dots, n$ .

Вираз для елемента матриці Фішера в даному випадку буде мати наступний вигляд:

$$\Phi_{ki} = \frac{2}{N_0} \int_0^T \frac{\partial S(t, \bar{\lambda})}{\partial \lambda_k} \frac{\partial S(t, \bar{\lambda})}{\partial \lambda_i} dt. \quad (8)$$

Алгоритм фільтрації (оцінки) процесу  $\lambda(t)$  зводиться до визначення суми:

$$\hat{\lambda}(t) = \sum_{k=1}^n \hat{\lambda}_k \varphi_k(t) = \bar{\varphi}^T \hat{\lambda}. \quad (9)$$

Точність фільтрації характеризується виразом

$$\sigma_{\hat{\lambda}}^2(t) = \sum_{k,i=1}^n \Phi_{ki}^{-1} \varphi_k(t) \varphi_i(t). \quad (10)$$

Розглянемо детальніше структуру вимірювача. Перепишемо вираз (7) наступним чином:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_k} \ln p\left(\frac{y(t)}{\lambda(t)}\right) = \frac{2}{N_0} \int_0^T \left\{ y(t) - S[t, \bar{\lambda}, \bar{\varphi}(t)] \right\} \cdot \frac{\partial S[t, \bar{\lambda}(t)]}{\partial \lambda(t)} \frac{\partial \lambda(t)}{\partial \lambda_k} dt = 0, \quad (11)$$

де  $\frac{\partial \lambda(t)}{\partial \lambda_k} = \varphi_k(t)$ ,  $k = 0, 1, \dots, n$ .

Із співвідношення (11) виходить уявлення матриці Фішера у вигляді

$$\Phi_{ki} = \frac{2}{N_0} \int_0^T \left\{ \frac{\partial S[t, \lambda(t)]}{\partial \lambda(t)} \right\}^2 \frac{\partial \lambda(t)}{\partial \lambda_k} \frac{\partial \lambda(t)}{\partial \lambda_i} dt. \quad (12)$$

де  $\frac{\partial \lambda(t)}{\partial \lambda_i} = \varphi_i(t)$ .

Із співвідношення (11) виходить, що обробка прийнятого коливання  $y(t)$  поділяється на високошестотну обробку сигналу

$$I[y(t)] = \left\{ y(t) - S[t, \lambda(t)] \right\} \frac{\partial S[t, \lambda(t)]}{\partial \lambda(t)} \quad (13)$$

та згладжування результатів цієї обробки на інтервалі часу  $t \in (0, T)$  з функцією вагомості  $\varphi_k(t)$ . Подальша обробка зводиться до оцінки векторного параметра  $\bar{\lambda}$  і фільтрації процесу згідно з (9).

При нелінійній залежності параметрів сигналу від векторного параметра можна застосовувати метод лінеаризації цієї залежності у сполученні з методом послідовних приближень, а саме:

$$\bar{\lambda}_{(N+1)} = \bar{\lambda}_{(N)} + \underline{\Phi}_{(N)}^{-1} \bar{z}_{(N)}[y(t)], \quad (14)$$

де  $N$  – номер ітераційного циклу.

При цьому  $\bar{z}_{(N)}$  являє собою вектор з компонентами

$$z_{k(N)}[y(t)] = \frac{2}{N_0} \int_0^T \left\{ y(t) - S[t, \hat{\lambda}_{(N)}(t)] \right\} \times \frac{\partial S[t, \hat{\lambda}_{(N)}(t)]}{\partial \lambda(t)} \varphi_k(t) dt, \quad (15)$$

$$\hat{\lambda}_{(N)}(t) = \sum_{k=1}^n \hat{\lambda}_{k(N)} \varphi_k(t). \quad (16)$$

Фактично виразом (15) описується алгоритм перетворення вхідної суміші в оптимальному дискримінаторі.

Відзначимо, що ітераційне обчислювання закінчується при виконанні наступної умови:

$$\left| \hat{\lambda}_{k(N+1)} - \hat{\lambda}_{k(N)} \right| \leq \Phi_{kk(N)}^{-1} \text{зад}, \quad (17)$$

де  $\Phi_{kk(N)}^{-1} \text{зад}$  – наперед задана точність фільтрації.

Після закінчення ітераційного процесу оцінка  $\bar{\lambda}_{(N)}$  приймається в якості результату обробки сигналу, а точність цієї оцінки характеризується матрицею

$$\underline{\Sigma}_{(N)} = \underline{\Phi}_{(N)}^{-1}. \quad (18)$$

Вимірювач, що синтезується, передбачає обробку сигналу на всьому інтервалі спостереження, тобто попереднє запам'ятовування сигналу на інтервалі  $t \in (0, T)$ . Структура вимірювача приведена на рис. 1. Розглянутий вимірювач доцільно застосовувати при невеликих інтервалах спостереження. В такому вимірювачу здійснюється обробка прийнятого коливання на елементарному інтервалі "сталості" параметра  $t \in (t-\Delta/2, t+\Delta/2)$ , в якості оцінки  $\bar{\lambda}_{(N)}$  використовується оцінка, яка одержана на попередньому інтервалі. Відзначимо, що головна прикладна сторона щодо реалізації синтезованої системи міститься в розробці та практичній реалізації цифрових мікропроцесорних пристроїв: дискримінаторів, блоків точності, фільтрів, блоків оцінки загальної точності фільтрації.

## Висновки

Таким чином, в статті запропоновані науково-технічні пропозиції, щодо принципів побудови оптимального вимірювача системи управління ЛО.

Оптимальність даної системи міститься в тому, що оптимальним є:

- структура вимірювача;
- дискримінатори;
- блоки точності.

Побудова системи обробки інформації в ПВОК в такому вигляді дасть змогу забезпечити отримання оптимальних оцінок параметрів фільтрованого процесу, а також точності даних оцінок в реальному часі.

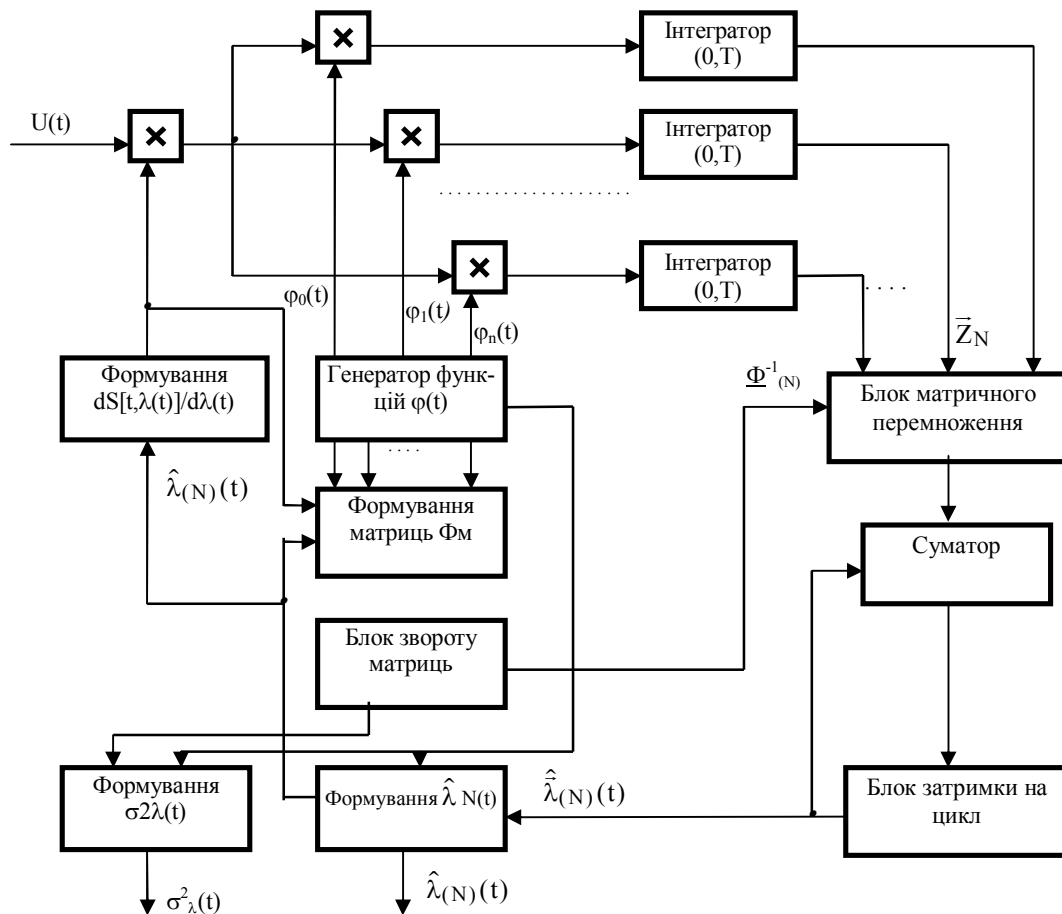


Рис. 1. Структура вимірювача

### Список літератури

1. Чумак Б.А. Принципи застосування полігонного вимірювально-обчислювального комплексу як елемента перспективного полігонного випробувального комплексу / Б.А. Чумак, О.М. Мишуков // Новітні технології – для захисту повітряного простору; V наук. конф. ХУПС ім. І. Кожедуба. – X., 2009. – С. 62.

2. Проблемы системной методологии анализа и синтеза полигонного испытательного комплекса Новітні технології – для захисту повітряного простору / Б.А. Чумак, Н.В. Бархударян, К.К. Кулагин, А.М. Мишуков // V наук. конф. ХУПС ім. І. Кожедуба. – X., 2009. – С. 62.

3. Гуткин Л.С. Радиоуправление // Л.С. Гуткин, В.В. Пестряков, В.Н. Тупугин. – М.: Сов. радио, 1970. – 324 с.

4. Хомяков Э.Н. Статистическая теория оптимальных радиотехнических систем / Э.Н. Хомяков. – М.: МО СССР, 1987. – 248 с.

Надійшла до редколегії 8.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, старший науковий співробітник Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

А.М. Мишуков, Б.А. Чумак

Разработаны научно-технические предложения, относительно принципов построения измерителя системы управления летательными объектами повышенной точности. В статье предложены научно-технические предложения относительно принципов построения оптимального измерителя системы управления летательный объект.

**Ключевые слова:** среднеквадратическая погрешность, измеритель, входной сигнал, синтез, дискриминатор, блок частоты, эффективность.

### SYNTHESIS OF OPTIMUM MEASURING DEVICE OF CONTROL THE SYSTEM BY FLYING OBJECTS

A.M. Mishukov, B.A. Chumak

Scientific and technical suggestions are developed, in relation to principles of construction of measuring device of control the system by the flying objects of the promoted exactness. In the article scientific and technical suggestions are offered in relation to principles of construction of optimum measuring device of control the system flying object.

**Keywords:** mean-square error, measuring device, entrance signal, synthesis, discriminator, block of frequency, efficiency.