

**І.О. Канкін, ад'юнкт**

**В.Б. Ревенко, к.т.н.**

*Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова*

**ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ  
АВТОМАТИЧНИМИ СЛІДКУВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ**

*Розглянута можливість зменшення випадкових помилок спостереження в автоматичних сліdkувальних системах. Наведено результати досліджень.*

В [2] описано синтез алгоритму оцінювання стану динамічного об'єкта з підвищеною точністю супроводження літальних апаратів радіотехнічними сліdkувальними системами (РТСС). Зменшення помилок супроводження, що обумовлені навмисним маневруванням і неминучими випадковими відхиленнями цілі від заданої траєкторії внаслідок непередбачених факторів, досягається завдяки введенню додаткового параметра у поліном  $A(z)$  чисельника передаточної функції з нев'язки спостереження. Можливості зменшення випадкових помилок супроводження у цьому разі не приділялась увага.

У даній роботі розв'язується задача синтезу алгоритму системи супроводження, еквівалентного з точності оцінювання відомому  $\alpha - \beta$  фільтру [3], але з більшими можливостями з точності спостереження при випадкових вхідних діях.

**Математична постановка задачі.** На вхід алгоритму в дискретні моменти часу  $t = nT$  надходить адитивна суміш корисної складової

$$x(n) = x(n-1) + \Delta x(n-1)T \tag{1}$$

та некорельованого збурення  $f(n)$ , з нульовим середнім, дисперсією  $R(n) = M[f^2(n)]$  та  $M[f(n)f(n-1)] = 0, M[x(n)f(n)] = 0$ , де  $T$  – темп обробки інформації;  $\Delta x(n-1)$  – перша різниця вхідної координати. Тоді рівняння спостереження має вигляд:

$$g(n) = x(n) + f(n). \tag{2}$$

Необхідно отримати оцінку  $\hat{x}(n)$ , еквівалентну  $\alpha - \beta$  фільтра та управління  $u(n)$ , оптимальне за критерієм

$$P_v(n) = M[\varepsilon^2(n)] \rightarrow \min, \tag{3}$$

де  $\varepsilon(n) = g(n) - u(n)$  – нев'язка спостереження;  $P_v(n)$  – дисперсія помилок управління.

**Синтез алгоритмів оцінювання та управління.** В основу розробки алгоритмів покладено метод синтезу цифрових систем оцінювання з управлінням процесом спостереження [4], який дозволяє окремо задавати точність з оцінювання та управління, використовуючи для цього відповідні передаточні функції.

Згідно з вибраним методом синтезу алгоритми оцінювання та управління визначаються за виразами:

$$\hat{x}(n) = \frac{C(z) - B(z)}{A(z)} \varepsilon(n); \tag{4}$$

$$u(n) = F_e(z) \hat{x}(n), \tag{5}$$

де  $C(z)$  – характеристичний поліном замкненої системи, який визначає стійкість;  $z$  – часовий оператор;  $A(z)$  та  $B(z)$  – поліноми чисельників передаточних функцій нев'язок спостереження та оцінювання  $\varepsilon(n) = g(n) - \hat{x}(n)$ ;  $F_e(z)$  – передаточна функція алгоритму управління, яка визначається для характеристичного полінома  $C(z) = \frac{A(z) - F_e(z)B(z)}{1 - F_e(z)}$ .

Для другого порядку астатизму

$$A(z) = (1 - z^{-1})^2 (1 + a_1 z^{-1}); B(z) = (1 - z^{-1})^2 b_0;$$

$$C(z) = 1 + (a_1 + kb_0)z^{-1} + b_0 z^{-2}.$$

Умови еквівалентності з оцінювання фільтра мають вигляд:

$$b_0 = 1 - \alpha; \quad k = \frac{\alpha - 2 + \beta - a_1}{b_0},$$

де  $\alpha$  та  $\beta$  – вагові коефіцієнти  $\alpha - \beta$  фільтра.

Алгоритми оцінювання та управління, які описують цифровий фільтр другого порядку, представлені виразами:

$$\overset{\xi}{x}(n) = v_3 \overset{\xi}{x}(n-1) + v_4 \overset{\xi}{x}(n-2) + v_5 \overset{\xi}{x}(n-3) + v_1 \overset{\xi}{u}(n) + v_2 \overset{\xi}{u}(n-1), \quad (6)$$

$$\overset{\xi}{u}(n) = v_6 \overset{\xi}{x}(n-1) + v_7 \overset{\xi}{x}(n-2) + v_8 \overset{\xi}{x}(n-3) + v_9 \overset{\xi}{u}(n-1), \quad (7)$$

де  $v_1 = 1 - b_0; \quad v_2 = a_1 + b_0(k - 2); \quad v_3 = 2 - a_1; \quad v_4 = 2a_1 - 1; \quad v_5 = -a_1; \quad v_6 = \frac{kb_0 + 2}{1 - b_0};$

$$v_7 = \frac{b_0 + 1 + 2a_1}{1 - b_0}; \quad v_8 = \frac{a_1}{b_0 - 1}; \quad v_9 = \frac{a_1 + b_0(k + 2)}{b_0 - 1}.$$

Таким чином, синтезовано фільтр другого порядку астатизму, еквівалентний за оцінюванням  $\alpha - \beta$  фільтра та який може мати більшу точність супроводження.

Аналіз випадкових помилок сталого режиму проводиться відповідно до прийнятих допущень та з урахуванням, що система згладжування, яка розглядається, лінійна. Дисперсія випадкової помилки на виході цієї системи визначається [3, 4] з виразу:

$$\sigma_{\text{вих}}^2 = \frac{\sigma_{\text{ex}}^2}{2\pi j} \oint_{|z|<1} K(z^{-1})K(z)z^{-1} dz, \quad (8)$$

де  $K(z^{-1})$  – відповідна передаточна характеристика,  $\sigma_{\text{ex}}^2$  – дисперсія помилок на вході системи.

Вираз (8) може бути зведений [1] до вигляду:

$$\sigma_{\text{вих}}^2 = 2I_k \sigma_{\text{ex}}^2, \quad (9)$$

де  $I_k$  – інтеграл Парсеваля  $k$ -го порядку.

Передаточна функція за помилкою екстрополяції (управління) алгоритму, що розглядається, має вигляд:

$$K_{\text{гр}}(z) = \frac{(1 - z^{-1})^2(1 + a_1 z^{-1})}{1 + (a_1 + kb_0)z^{-1} + b_0 z^{-2}}. \quad (10)$$

Використовуючи залежність  $K_3(z) = 1 - K_{\text{гр}}(z)$ , де  $K_3(z)$  – передаточна функція замкненої системи, відоме [3, 4] білінійне перетворення дискретного оператора з безперервним оператором та табличне значення інтеграла Парсеваля 4-го порядку [1], отримаємо дисперсію випадкової помилки управління

$$P_v(n) = 2I_4 \sigma_{\text{ex}}^2 = \frac{Q1 + Q2 + Q3 + Q4}{Q5} \sigma_{\text{ex}}^2, \quad (11)$$

де  $Q1 = c_3^2(d_0 d_1 d_2 - d_0^2 d_3)$ ,  $Q2 = (c_2^2 - 2c_1 c_3) d_0 d_1 d_4$ ,  $Q3 = (c_1^2 - 2c_0 c_2) d_0 d_3 d_4$ ,

$Q4 = c_0^2(d_2 d_3 d_4 - d_1 d_4^2)$ ,  $Q5 = d_0 d_4(d_1 d_2 d_3 - d_0 d_3^2 - d_1^2 d_4)$  – складові інтеграла Парсеваля. Коефіцієнти  $c_i, d_i$ , де  $i = 0, 4$  розраховуються як  $c_0 = 1 + kb_0 + b_0 + a_1$ ,  $c_1 = 3 + kb_0 - b_0 + a_1$ ,  $c_2 = -(1 + kb_0 + b_0 + 5a_1)$ ,  $c_3 = 3a_1 + b_0 - kb_0 - 3$ ,  $d_0 = 1 + kb_0 + b_0 + a_1$ ,  $d_1 = 4 + 2kb_0 + 2a_1$ ,  $d_2 = 6 - 2b_0$ ,  $d_3 = 4 - 2a_1 - 2kb_0$ ,  $d_4 = 1 - a_1 - kb_0 + b_0$ .

Отриманий аналітичний вираз для дисперсії випадкових помилок управління дозволяє вибрати оптимальне за критерієм (1) значення параметра управління. Для цього перейдемо до відносних помилок

$$\frac{P_v(n)}{\sigma_{\text{ex}}^2} = 2I_4, \quad (12)$$

візьмемо власну похідну від виразу (12) за  $a_1$  та, прирівнявши її до нуля, отримаємо рівняння, розв'язанням якого є оптимальне значення параметра управління:

$$a_1^{\text{opt}} = \frac{8\alpha^2 \beta + 16\alpha \beta^2 - 2\alpha^2 \beta^2 - 3\alpha \beta^3 - \beta^4 - 8\beta^3 + 8\beta^2}{16\alpha \beta + 8\beta^2}. \quad (13)$$

Проведено порівняльний аналіз випадкових помилок сталого режиму запропонованого та відомого  $\alpha - \beta$  фільтрів. Отримані аналітичні вирази для коефіцієнта послаблення, який визначається як відношення дисперсій перешкод на вході  $\sigma_{ex}^2(n)$  та виході  $\sigma_{eux}^2(n)$  систем, що розглядаються

$$K_{пос}(n) = \frac{\sigma_{ex}^2(n)}{\sigma_{eux}^2(n)} = \frac{1}{2I_k(n)}. \tag{14}$$

На рис. 1 показані графіки  $K_{пос}(n)$ : 1 – з оцінювання алгоритмів, що порівнюються; 2 – із спостереження  $\alpha - \beta$  фільтра; 3 – із спостереження запропонованого алгоритму при  $a_1 = a_1^{opt}$ .

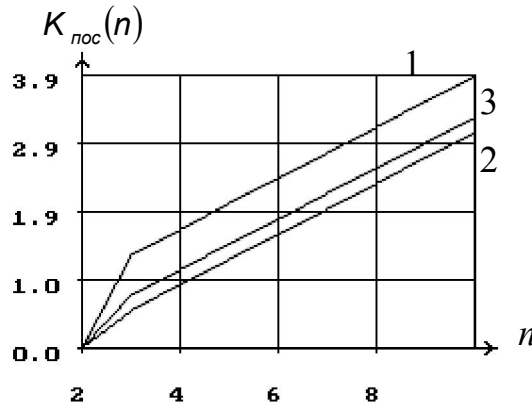


Рис. 1

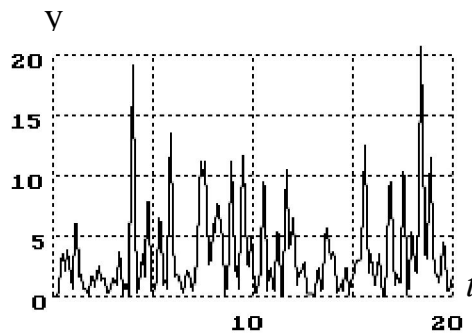


Рис. 2

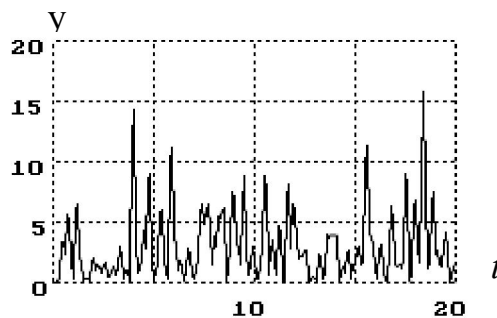


Рис. 3

З графіків можна побачити, що випадкові помилки управління розробленого алгоритму менші, ніж в  $\alpha - \beta$  фільтра.

З метою підтвердження теоретичних положень проведено математичне моделювання на ПЕОМ. Модель вхідної дії описувалась поліномом першого порядку (1). Помилки вимірювань моделювались за нормальним розподілом з нульовим математичним очікуванням та дисперсією  $50 \text{ м}^2$ . Дослідження проводилось з темпом обробки 1 Гц.

Ефективність синтезованого алгоритму оцінювалась за значенням середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  помилки управління (рис. 2) в порівнянні з роботою  $\alpha - \beta$  фільтра (рис. 3). З результатів

моделювання бачимо, що при використанні запропонованого алгоритму в автоматичних слідкувальних системах є можливість зменшити випадкові помилки управління в 1.17 раз, порівнюючи з роботою  $\alpha - \beta$  фільтра, при заданій точності оцінювання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Артемьев В.М., Яшугин Е.А.* Основы автоматического управления систем радиоэлектронных средств: Учебник. – Воениздат, 1984. – 456 с.
2. *Канкін І.О., Ревенко В.Б.* Розробка алгоритму оцінювання з підвищеною динамічною точністю спостереження літальних апаратів // Вісник ЖІТІ. – 2001. – № 17/ Технічні науки. – С. 44–46.
3. *Кузьмин С.З.* Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио. – 1974. – 356 с.
4. *Кузьмин С.З.* Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: КВЦ. – 2000. – 428 с.
5. *Пушкарев Ю.А., Ревенко В.Б.* Новый структурный метод синтеза эффективных цифровых фильтров обработки информации для автоматических следящих систем // Проблемы управления и информатики. – 1995. – № 1. – С. 138–148.

КАНКІН Іван Олегович – ад'юнкт кафедри комп'ютеризованих систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– адаптивні алгоритми оцінювання.

РЕВЕНКО Володимир Борисович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– алгоритми оцінювання для сучасних інформаційно-керуючих систем.

Подано 17.03.2002

**Канкін І.О., Ревенко В.Б.** До питання підвищення точності супроводження літальних апаратів автоматичними слідкувальними системами

**Ревенко В.Б., Канкін І.О.** К вопросу повышения точности сопровождения летательных аппаратов автоматическими следящими системами

**Revenko V.B., Kankin I.O.** To the question of increasing accuracy of escorting aircrafts by automatic tracking systems

УДК 621.396.96

**К вопросу повышения точности сопровождения летательных аппаратов автоматическими следящими системами / В.Б. Ревенко, И.О. Канкин.**

Рассмотрена возможность уменьшения случайных ошибок наблюдения в автоматических следящих системах. Приведены результаты исследований.

УДК 621.396.96

**To the question of increasing accuracy of escorting aircrafts by automatic tracking systems / V.B. Revenko, I.O. Kankin**

Reduction the possibility of observation casual mistakes in automatic tracking systems has been considered. The result of investigations are introduced.