

УДК 681.51.4

Р.Р. Гільманов, студ.
С.В. Юхимчук, д.т.н., проф., нач. департ.
Вінницький державний технічний університет

ОБРОБКА ДАНИХ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОГО КЛАСУ НЕЛІНІЙНИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМ НА ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АВТОКОЛИВАНЬ

Отримані залежності, які дозволяють здійснити обробку відповідних даних з метою аналізу впливу зміни характеристик вхідного сигналу на значення параметрів автоколиваний системи управління креновим рухом літального апарату, що самонастроюється, з форсуючою ланкою та фільтрами у широкому діапазоні зміни характеристик вхідного сигналу реле.

В роботі [1] доведено, що за допомогою введення фільтрів у структурну схему системи управління креновим рухом літального апарату (ЛА) можна завжди створити автоколивання з бажаними параметрами.

Такий вибір параметрів контура демпфування забезпечує пристосовуваність системи управління до зміни характеристик об'єкта управління – літального апарату.

В роботі [2] за допомогою методу узагальнених описуючих функцій були отримані рівняння, розв'язок яких дозволив здійснити уточнений розрахунок значень параметрів автоколивального режиму системи управління креновим рухом ЛА, що самонастроюється, з форсуючою ланкою та фільтрами. Структурна схема такої системи управління наведена на рисунку 1.

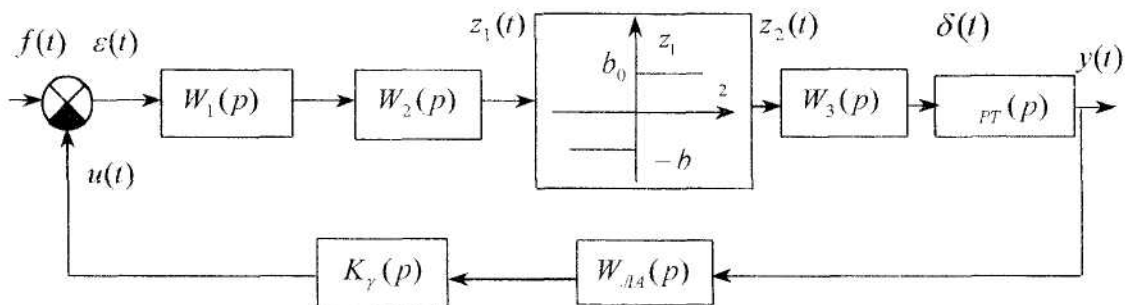


Рис. 1. Структурна схема системи управління креновим рухом ЛА

Значимо, що на рисунку 1:

– передаточна функція форсуючої ланки:

$$W_1(p) = Tp + 1,$$

де T – стала часу;

– передаточна функція фільтра низьких частот:

$$W_2(p) = \left[\frac{T_4 p + 1}{T_3 p + 1} \right]^2,$$

де T_3, T_4 – сталі часу фільтра;

– передаточна функція оберненого фільтра низьких частот:

$$W_3(p) = \frac{1}{W_4(p)} = \left[\frac{T_3 p + 1}{T_4 p + 1} \right]^2,$$

де T_3, T_4 – сталі часу;

– передаточна функція рульового тракту ЛА:

$$W_{PT}(p) = \frac{K_{PT}}{(T_2 p + 1)(T_1^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)},$$

де K_{PT}, T_1, T_2, ξ – коефіцієнт підсилення, сталі часу і відносний коефіцієнт демпфування рульового тракту відповідно;

– передаточна функція датчика кутової швидкості (ДКШ):

$$K_{\gamma}(p) = \frac{U_{oc}(p)}{y(p)} = K_{\gamma} ,$$

де $U_{oc}(p)$ – напруга, що знімається з ДКШ; K_{γ} – коефіцієнт підсилення ДКШ, $y(p)$ – кутова швидкість крену ЛА;

– передаточна функція, яка описує креновий рух ЛА:

$$W_{ЛА}(p) = \frac{K_{ЛА}}{T_{ЛА}p + 1} ,$$

де $K_{ЛА}$, $T_{ЛА}$ – відповідно коефіцієнт підсилення і стала часу ЛА.

Використовуючи рівняння, отримані в роботі [2], було досліджено вплив параметрів вхідного сигналу на зміну параметрів автоколивального режиму, а саме були розраховані значення амплітуди $A_{ак}$ та частоти $\omega_{ак}$ автоколивального режиму при окремих значеннях амплітуди вхідного сигналу реле $A_{вх}$, його частоти $\omega_{вх}$ та параметра b , що характеризує зміну вихідного сигналу релейної ланки системи, що розглядається, у випадку, коли інші значення фіксувалися.

Але такий підхід не дає змогу проаналізувати поведінку системи в складних випадках і не враховує умов збереження властивостей самоналаштування. Саме тому необхідно, за допомогою отриманих рівнянь в роботі [2], здійснити таку обробку відповідних даних, яка дозволяє проаналізувати поведінку системи управління і знайти проміжки значень характеристик вхідного сигналу реле, при яких зберігаються властивості самоналаштування, з врахуванням спектра керуючого сигналу.

Для реле, яке має характеристику, що зображена на рисунку 1, узагальнена описуюча функція має вигляд [3]:

$$q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) = \frac{4b_0}{\pi A_{вх}} \pm \frac{2b}{A_{вх}\omega_{вх}} , \quad (1)$$

де $A_{вх}$, $\omega_{вх}$ – відповідно частота і амплітуда вхідного сигналу реле.

Зазначимо, що вираз (1) отримано при умові, що вихідний сигнал реле b_0 змінюється за законом:

$$B(t) = b_0 \pm bt, \quad b \ll b_0 .$$

Розглянемо випадок, коли:

$$q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) = \frac{4b_0}{\pi A_{вх}} + \frac{2b}{A_{вх}\omega_{вх}} . \quad (2)$$

Характеристичне рівняння системи управління з урахуванням можливої зміни параметрів релейної ланки має вигляд:

$$a_8 \cdot p^8 + a_7 \cdot p^7 + a_6 \cdot p^6 + a_5 \cdot p^5 + a_4 \cdot p^4 + a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0 = 0 , \quad (3)$$

де a_i ($i = (0, \dots, 8)$) – коефіцієнти характеристичного рівняння.

В цьому випадку частота автоколивань знаходиться з характеристичного рівняння системи, що розглядається [2]:

$$f(\overline{p}, \omega) = -a_7 \cdot \omega^6 + a_5 \cdot \omega^4 - a_3 \cdot \omega^2 + a_1 = 0 , \quad (4)$$

де [2]

$$\begin{aligned} a_1 &= 2 \cdot T_4 + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3 + 2 \cdot T_3 + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \times \\ &\times K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_4 + K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T + 2 \cdot \xi \cdot T_1 + T_2 + T_{ЛА}; \\ a_3 &= 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3^2 \cdot T_4 + K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_3^2 + \\ &+ K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_4^2 + T_1^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 + T_3^2 \cdot T_{ЛА} + T_1^2 \cdot T_2 + \\ &+ 2 \cdot T_3^2 \cdot T_4 + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3 \cdot T_4^2 + T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3 \cdot T_4^2 + \\ &+ 2 \cdot T_1^2 \cdot T_4 + T_3^2 \cdot T_2 + T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \times \\ &\times K_{ЛА} \cdot T \cdot T_4 \cdot T_3 + 2 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 + 8 \cdot T_3 \cdot \xi \times \\ &\times T_1 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 + 4 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4 + 4 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \times \\ &\times T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_5 = & T_1^2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_{ЛА} + T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + K_{PT} \cdot q(A_{\text{вх}}, b, \omega_{\text{вх}}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \times \\
 & \times T \cdot T_4^2 \cdot T_3^2 + T_3^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + \\
 & + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_4^2 + 4 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \times \\
 & \times T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + \\
 & + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4 + T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 + T_3^2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + \\
 & + 8 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 + \\
 & + 4 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА}; \\
 a_7 = & 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + \\
 & + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА};
 \end{aligned}$$

$\bar{P} = (T, T_1, T_2, T_3, T_4, T_{ЛА}, \xi, K_{ЛА}, K_{PT}, K_{\gamma}, A_{\text{вх}}, b, \omega_{\text{вх}})$ – вектор параметрів.

Розв'язок рівняння (4) за допомогою пакета MathCAD 2000 довів, що рівняння має три дійсних кореня. При цьому зазначимо, що розв'язок рівняння (4) здійснювався при наступних значеннях первинних параметрів системи, що аналізується: $T_1 = 0,05$ с; $T_2 = 0,03$ с; $T_3 = 0,457$ с; $T_4 = 0,05$ с; $T = 0,4$ с; $T_{ЛА} = 0,5$ с; $T_{PT} = 1$ град/В; $K_{\gamma} = 0,2$ В/град/с; $K_{ЛА} = 5$ с⁻¹; $\xi = 0,3$ [1].

Здійснено чисельне моделювання, яке дозволить розглянути зміну характеристичного рівняння (4), а відповідно і значень $\omega_{ак}$, від зміни характеристик вхідного сигналу реле $\omega_{вх}$, $A_{вх}$ та параметра b (1). На графіках зміну характеристичного рівняння представлено поверхнею, а значення $\omega_{ак}$ визначаються координатами перетину цієї поверхні з площиною β , зображеною на рис. 2–5.

Моделювання розв'язків рівняння (4) показало, що значення коренів фактично не залежать від частоти вхідного сигналу і параметра b , який характеризує зміну вихідного сигналу релейного елемента. Для різних значень $\omega_{вх}$ та b вигляд поверхонь, зображених на рисунках 4, 5, практично не змінюється.

Як було показано в [2], додатній амплітуді автоколивання відповідає лише одне значення кореня $\omega_{ак} = 25,91$ с⁻¹ (при $A_{вх} = 2$ В, $\omega_{вх} = 15$ с⁻¹, $b_0 = 90$ В). Обробка даних, які визначають параметри системи, що розглядається, дозволяє зробити висновок, що фактично помітний вплив спричиняє лише зміна амплітуди вхідного сигналу.

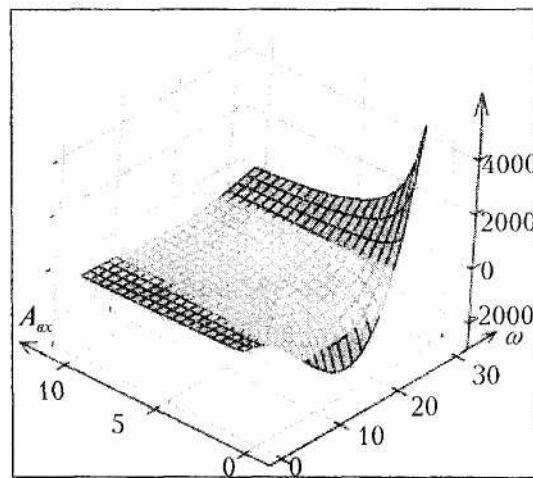


Рис. 2. Поверхня, що зображує зміну функції $f(\bar{P}, \omega)$

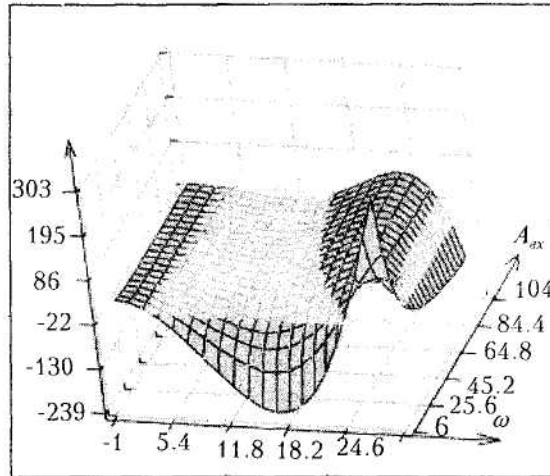


Рис. 3. Поверхня, що зображує зміну функції $f(\bar{P}, \omega)$

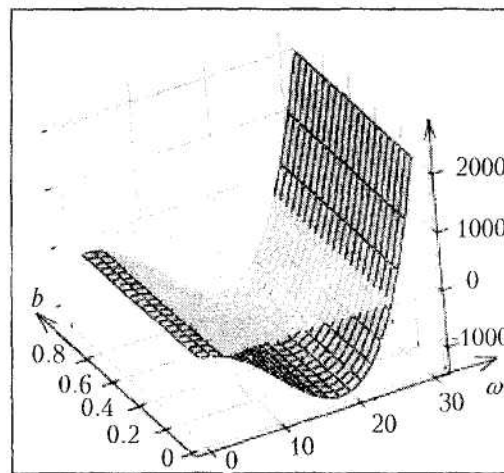


Рис. 4. Поверхня, що зображує зміну функції $f(\bar{P}, \omega)$

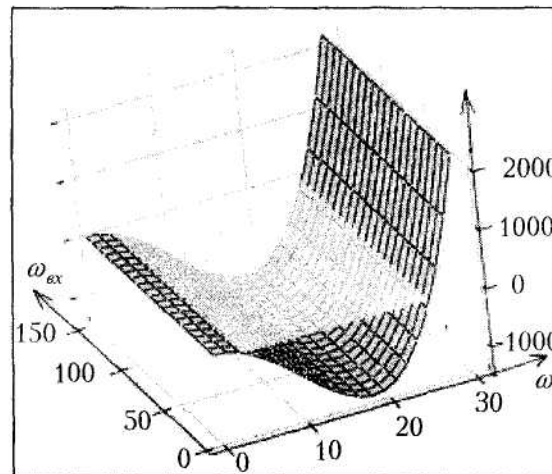


Рис. 5. Поверхня, що зображує зміну функції $f(\bar{P}, \omega)$

У [1] шляхом експериментального моделювання було показано, що властивості самоналаштування зберігаються для спектра керуючого сигналу $\omega_{вх}$, який задовольняє нерівності:

$$\frac{\omega_{вх}}{\omega_{ак}} < \frac{1}{3}. \tag{5}$$

Підставивши у вираз (5) значення $\omega_{ак}$, отримані шляхом розв'язання рівняння (4) при різних значеннях характеристик вхідного сигналу та параметра b з досліджуваних проміжків ($A_{вх} \in (0,10)$, $\omega_{вх} \in (0,150)$, $b \in (0,10)$), можливо знайти значення параметрів вхідного сигналу, при яких обмеження (5) виконується і властивості самонастроювання зберігаються. Шляхом математичного моделювання доведено, що співвідношення (5) виконується для всіх значень амплітуди вхідного сигналу та параметра b на відповідних проміжках $A_{вх} \in (0,100)$ $b \in (0,10)$.

При цьому доведено, що для збереження властивостей самонастроювання необхідно обмежити мінімальне допустиме значення частоти вхідного сигналу значенням $\omega = 8.64 \text{ с}^{-1}$.

Амплітуда автоколивань знаходиться з характеристичного рівняння системи [2]:

$$a_8 \cdot \omega^8 - a_6 \cdot \omega^6 + a_4 \cdot \omega^4 - a_2 \cdot \omega^2 + a_0 = 0, \quad (6)$$

де

$$a_0 = 1 + K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА};$$

$$a_2 = 4 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4 + 4 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3 \cdot T_4 + T_4^2 + T_3^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 + T_1^2 + 2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 + 4 \cdot T_3 \cdot T_4 + K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3^2 + 2 \cdot T_3 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_3 + K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_2 \cdot T_4 + T_2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_4;$$

$$a_4 = K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T_3^2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_4^2 \cdot T_3 + T_3^2 \cdot T_4^2 + T_1^2 \cdot T_4^2 + T_3^2 \cdot T_1^2 + 2 \cdot K_{PT} \cdot q(A_{вх}, b, \omega_{вх}) \cdot K_{\gamma} \cdot K_{ЛА} \cdot T \cdot T_4 \cdot T_3^2 + 2 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 + T_3^2 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_2 \cdot T_4 + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 + 8 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 8 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_1^2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА};$$

$$a_6 = T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \times T_4 \cdot T_{ЛА} + 4 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4 + 2 \cdot T_3 \cdot T_1^2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА} + T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_4^2 + 4 \cdot T_3 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \times T_4^2 \cdot T_{ЛА} + 2 \cdot T_3^2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_4^2 + T_3^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА};$$

$$a_8 = T_3^2 \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot T_4^2 \cdot T_{ЛА}.$$

Здійснимо аналіз зміни амплітуди автоколивань від зміни характеристик вхідного сигналу. За допомогою пакета MathCAD 2000 отримано, що функція, яка визначає амплітуду автоколивань, має розрив першого роду при $A_{вх} = 53.1 \text{ В}$. Тому необхідно обмежити максимальне допустиме значення амплітуди вхідного сигналу, який подається на вхід реле.

Проаналізуємо залежність амплітуди автоколивань від зміни характеристик вхідного сигналу, а саме залежність від зміни параметра b та залежність від частоти вхідного сигналу. Для цього був досліджений розв'язок рівняння (6) при підрахованому значенні частоти автоколивання $\omega_{ак} = 25.91 \text{ с}^{-1}$.

Обробка результатів моделювання дозволила зробити висновок, що фактично помітний вплив спричиняє лише зміна параметра b , а параметри вхідного сигналу належать проміжкам: $\omega_{вх} \in [8.64, 150] \text{ с}^{-1}$, $A_{вх} \in [0.4...10] \text{ В}$.

Дослідження залежності частоти і амплітуди автоколивань від зміни параметрів вхідного сигналу реле і параметра b можливо провести і для випадку коли:

$$q(A_{\text{вх}}, b, \omega_{\text{вх}}) = \frac{4b_0}{\pi A_{\text{вх}}} - \frac{2b}{A_{\text{вх}} \omega_{\text{вх}}}. \quad (7)$$

Шляхом обробки відповідних даних доведено, що результати в цьому випадку майже повністю співпадають з отриманими у випадку (4).

Необхідна умова стійкості системи, що розглядається, має вигляд:

$$a_i(A_{\text{вх}}, b, \omega_{\text{вх}}, \bar{P}) > 0, \quad (8)$$

де a_i ($i = 0, \dots, 8$) – коефіцієнти характеристичного рівняння (3), відповідні коефіцієнти визначаються виразами, які входять у співвідношення (4) і (5).

Використовуючи умову (8) можна визначити допустимий проміжок зміни параметра b . Використовуючи вирази для коефіцієнтів характеристичного рівняння [2] було встановлено, що параметр b може приймати будь-які значення з проміжку, що розглядався ($b \in (0,10)$). Такий висновок повністю підтверджується отриманими результатами моделювання.

Таким чином, в роботі шляхом математичного моделювання знайдено допустимі проміжки зміни характеристик вхідного сигналу реле, при яких зберігається властивість самонастроювання системи управління, що розглядається.

Наведені результати дозволяють зробити висновок, що при експлуатації вищерозглянутої системи керування ЛА необхідно здійснювати контроль амплітуди і частоти сигналу на вході реле, для того щоб запобігти виникненню аварійних ситуацій. Запропоновані підходи до обробки відповідних даних, які необхідно буде реалізувати у відповідній системі контролю.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Козлов В.И. Самонастраивающиеся системы с релейными элементами. – М.: Энергия, 1974. – 88 с.
2. Юхимчук С.В., Гільманов Р.Р. Розрахунок параметрів автоколивань одного класу нелінійних нестационарних систем // Вісник ВПІ. – 2000. – № 6. – С. 5–10.
3. Юхимчук С.В. Математические модели оценки устойчивости нелинейных нестационарных систем. – Винница: Універсум, 1997. – 141 с.

ГІЛЬМАНОВ Ренат Раїтович – студент Вінницького технічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія автоматичного керування.

ЮХИМЧУК Сергій Васильович – доктор технічних наук, начальник департаменту міжнародних зв'язків Вінницького державного технічного університету, завідувач кафедри інтелектуальних систем.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання в наукових дослідженнях;
- теорія автоматичного керування.

Подано 10.01.2001