

О.М. Тачиніна, д.т.н., Кутєпов В.О.  
(Національний авіаційний університет)

О.І. Лисенко, д.т.н.,  
(Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

### Синтез параметрів регулятора контуру управління кутом тангажа літального апарату

У доповіді запропоновано методу синтезу параметрів регулятора системи автоматичної стабілізації кута тангажа літального апарату. Дана методика полягає у комплексному застосуванні методу Зіглера-Нікольса та методу PID-Tuner. Метод Зіглера-Нікольса дозволяє отримати перше наближення до оптимального значення параметрів регулятора, а метод PID-Tuner застосовується для проведення корекції параметрів регулятора.

Розглянемо задачу управління кутом тангажа, при цьому обмежимося моделлю короткоперіодичного поздовжнього руху літального апарату (ЛА).

Рівняння, що відображає математичну модель поздовжнього короткоперіодичного руху ЛА має вигляд [1, 2, 4]:

$$\begin{aligned} (p + a_{m_z}^{\omega_z})\omega_z(p) + a_{m_z}^{\alpha}\alpha(p) &= a_{m_z}^{\delta_e}\delta_e(p); \\ -\omega_z(p) + (p - a_y^{\alpha})\alpha(p) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

З рішення системи рівнянь (1) отримаємо передаточну функцію (ПФ), що зв'язує кут тангажа та відхилення руля висоти

$$W_{\delta}^B(p) = \frac{\vartheta(p)}{-\delta_e(p)} = W_{\delta}^B(p) \frac{1}{p} = \frac{K_{\delta}^B \omega_{\alpha}^2 (T_{\Theta} p + 1)}{(p^2 + 2\xi_{\alpha} \omega_{\alpha} p + \omega_{\alpha}^2) p} = \frac{K_{\delta}^B \omega_{\alpha}^2 (T_{\Theta} p + 1)}{(p^2 + 2\xi_{\alpha} \omega_{\alpha} p + \omega_{\alpha}^2)} \cdot \frac{1}{p}. \quad (2)$$

Структурна схема контуру керування кутом тангажа, що відображає динаміку поздовжнього руху літака (2) представлена на рис. 1

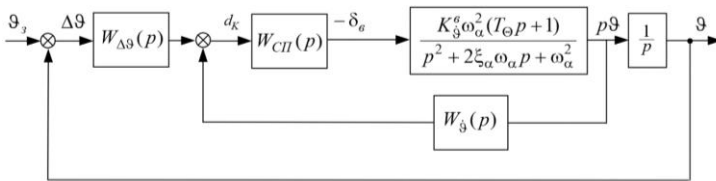


Рис. 1. Структурна схема контуру управління кутом тангажа

В структурній схемі (рис. 1) прийняті такі позначення:  $W_{\Delta\vartheta}$  – ПФ коригуючого елемента;  $W_{СП}$  – ПФ сервоприводу;  $W_3 = W_{\delta}^B$  – ПФ, що зв'язує відхилення руля висоти та кутову швидкість тангажа;  $W_{\delta}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку.

Для побудови математичної моделі системи автоматичної стабілізації кута тангажа літального апарату в роботі прийняті наступні значення коефіцієнтів [3]:

$$K_{\vartheta}^B = 2,4; K_{\vartheta} = 2,5; K_{\dot{\vartheta}} = 0,2; T_{\vartheta} = 1,72c; \omega_{\alpha} = 1,7 c^{-1}; \xi_{\alpha} = 0,4;$$

$$W_3 = W_{\vartheta}^B = \frac{6,9(1,72p + 1)}{p^2 + 1,36p + 2,89}.$$

На основі отриманої математичної моделі системи автоматичної стабілізації кута тангажа літального апарату (рис.1) була побудована імітаційна модель системи у середовищі MatLab, яка представлена на рис. 2.

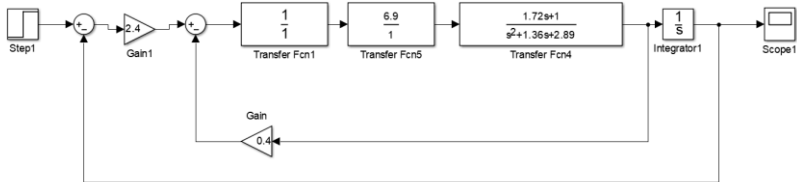


Рис. 2. Імітаційна модель системи автоматичної стабілізації кута тангажа літального апарату

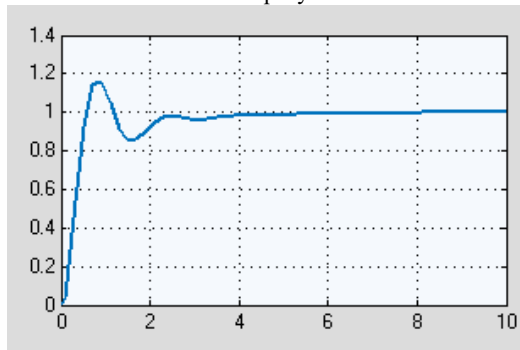


Рис.3. Графік перехідного процесу

Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що графік перехідного процесу (рис. 3) не задовольняє заданим технічними умовам, оскільки наявне перегулювання.

Для оптимізації параметрів системи (рис.2 ) пропонується застосувати пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор та провести синтез його параметрів метод Зіглера – Нікольса [5-7].

Використовуючи метод Зіглера – Нікольса [5-7]. обчислимо значення коефіцієнтів ПІД регулятора ( $K_i$ ,  $K_d$ ,  $K_p$ ) :  $K_p = 4$ ;  $K_d = 9$ ;  $K_i = 0,4$  та проведемо імітаційне моделювання скорегованої системи (рис. 4).

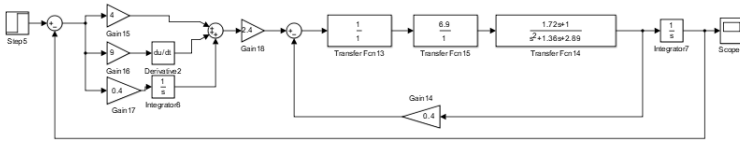


Рис. 4. Імітаційна модель скорегованої системи методом Зіглера-Нікольса

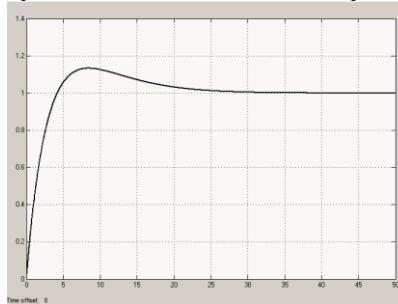


Рис. 5.Графік перехідного процесу скорегованої системи методом Зіглера-Нікольса

Аналізу результатів імітаційного моделювання (рис. 5) показав, що показники якості перехідного процесу покращились, але все ще присутнє процесу перерегулювання та незадовільний час перехідного процесу. Таким чином, метод Зіглера-Нікольса може бути застосованим тільки для попереднього синтезу параметрів ПІД-регулятора.

Для отримання бажаного перехідного процесу в роботі пропонується застосувати спеціальний інструментарій обчислювальних засобів. В інтегрованому середовищі Matlab таким інструментарієм є PID Tuner.

Використовуючи метод PID Tuner обчислимо значення коефіцієнтів ПІД регулятора ( $K_i$ ,  $K_d$ ,  $K_p$ ) :  $K_p = 8$ ;  $K_d = 0,04$ ;  $K_i = 3,5$  та проведемо імітаційне моделювання скорегованої системи (рис. 6).

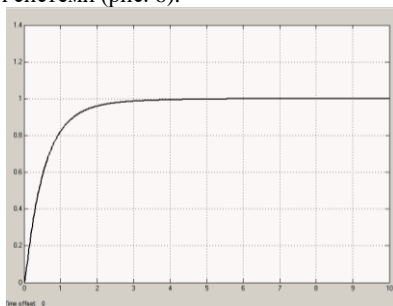


Рис. 6. Перехідний процес скоригованої системи з використанням PID Tuner

Аналізу результатів імітаційного моделювання (рис. 6) показав, що в результаті застосування методу PID Tuner для корекції коефіцієнтів ПД-регулятора, отримана показники якості перехідного процесу, які повністю задовольняють заданим технічними умовам: перерегулювання дорівнює – 0%; тривалість перехідного процесу – 3 с.

Отже, метод PID-Tuner може бути застосованим для проведення корекції параметрів ПД-регулятора і отримання бажаного перехідного процесу для системи автоматичної стабілізації кута тангажа ЛА.

Таким чином, метод Зіглера-Нікольса може бути застосованим тільки для попереднього синтезу параметрів ПД-регулятора, а метод PID-Tuner може бути застосованим для проведення корекції параметрів ПД-регулятора і отримання бажаного перехідного процесу для систем автоматичної стабілізації кута тангажа літального апарату.

### Список літератури

1. Синеглазов В.М., Філяшкін М.К. Автоматизовані системи управління повітряних суден: підручник для студентів вищих навчальних закладів/ Національний авіаційний університет. – Київ, 2003. – 502 с.

2. Рогожин В. О., Синеглазов В. М., Філяшкін М. К. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден: підручник/ Національний авіаційний університет; МОН. – Київ, 2005. – 316 с.

3. Котельников Г.Н. Аеродинаміка літальних апаратів. – К.: Вища освіта. 2002. – 225 с.

4. Філяшкін М. К., Калініченко В. В., Кеменяш Ю. М., Тупіцин М. Ф. Програмне забезпечення моделювання систем цивільної авіації: навчальний посібник/ МОН України, Національний авіаційний університет. – Київ: НАУ, 2017. – 244 с.

5. Кветний Р. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 2: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного.–Вінниця: ВНТУ, 2012. –230 с.

6. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і дог. — К.: Либідь, 2007. — 656с.

7. Tachinina O., Lysenko O., Alekseeva I., Novikov V., Sushyn I. Methods for Parametric Adjustment of a Digital System and Precision Automatic Stabilization of an Unmanned Aerial Vehicle. 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development, APUAVD 2021 - Proceedings, pp. 76–79.