

УДК 629.733.3(045)

О. О. Абрамович, канд. техн. наук,
С. О. Булавкіна,
О. І. Надсадна

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕСТРУКТУРОВАНОЇ ДИНАМІКИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАКОНІВ КЕРУВАННЯ АЕРОСТАТОМ

Інститут електроніки і систем управління НАУ, e-mail: lena.80@ua.fm

Запропоновано метод дослідження впливу неструктурованої динаміки під час проведення параметричної робастної оптимізації дискретних систем керування, що ґрунтується на використанні теореми Харитонова і теореми про малий коефіцієнт підсилення. Наведено результати використання цього методу на прикладі дискретної системи керування бічним рухом аеростатичної платформи.

Ключові слова: аеростатична платформа, робастна параметрична оптимізація, неструктуровані збурення.

Вступ. Стратосферні платформи (дирижаблі) є перспективним проектом щодо забезпечення мобільного стільникового зв'язку, основні переваги використання яких – дешевизна та простота наземного обладнання, можливість легко і без великих додаткових затрат нарощувати і замінювати обладнання, екологічна чистота, добра захищеність від різних природних впливів: починаючи з різних космічних випромінень (як у випадку із супутниками) і закінчуючи землетрусами (як у випадку з базовими станціями) і т. ін. Натеper уже можна виділити лідерів у галузі проектування аеростатичних платформ – компанії Sanswire Networks (США), Sky Station International Inc. (США), Zeppelin Luftschifftechnik (Німеччина), Advanced Technology Group (ATG, Великобританія), НПО «РосАероСистеми» (Росія), Повітроплавальний центр «Авгурь» (Росія). Зважаючи на це, можна вважати актуальним та доцільним об'єктом дослідження аеростатичну платформу.

Постановка завдання. Для стабілізації об'єкта на заданій точці потрібно синтезувати таку систему керування аеростатом, яка могла б функціонувати належним чином у широкому діапазоні збурень [1; 2]: стохастичні стратосферні вітри (структуровані збурення) і внутрішні параметричні збурення, що змінюють динаміку аеростата (неструктуровані параметричні збурення). Метою синтезу такої системи є гарантія потрібної якості незалежно від перешкод навколишнього середовища та зміни параметрів моделі.

Параметрична робастна оптимізація дискретних законів керування. Одним з перспективних методів вирішення поставленого завдання є H_2 / H_∞ – багатомодельний підхід для систем керування аеростатом, що ґрунтується на виконанні параметричної оптимізації дискретних систем керування за такими критеріями [3 – 5]:

1. H_2 -норма для кожної моделі дискретної системи в детермінованому випадку:

$$J_d = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} [x_k^T Q x_k + u^T R u]}, \text{ де } x_k \text{ вектор стану, } u \text{ – вхідний вектор, } R, Q \text{ – вагові матриці.}$$

2. H_2 -норма для кожної моделі дискретної системи в стохастичному випадку:

$$J_d = \sqrt{E_M \sum_{k=0}^{\infty} [x_k^T Q x_k + u^T R u]}, \text{ де } E_M \text{ – оператор математичного сподівання.}$$

3. H_∞ -норма функції комплементарної чутливості дискретної системи для кожної моделі:

$\|T\|_\infty = \sup_{\omega} \bar{\sigma}(T(j\omega))$, де σ – сингулярне число матриці T , $\bar{\sigma}$ – максимальне сингулярне число на заданій частоті. Відповідно до праці [6] $\|T\|_\infty$ є мірою робастності.

Такий підхід є основним для процедури синтезу законів керування бічним рухом у системі керування аеростата, який функціонує в стохастичному середовищі, оскільки саме досягнення компромісу між робастністю і якістю системи керування номінальних і збурених моделей об'єкта в детермінованому і стохастичному випадках є дуже важливою стратегією у конструюванні законів керування. Забезпечення номінальної якості та робастної стійкості можна досягти, використовуючи складний критерій оптимізації, до складу якого входить H_2 -норма (з відповідними ваговими коефіцієнтами), що обчислюється для детермінованого та стохастичного випадків, а також H_∞ -норма. І H_2 -норма, і H_∞ -норма обчислюються і для номінальної, і для параметрично збуреної моделей об'єкта керування. Це дозволяє регулювати вклад детермінованої та стохастичної частин у цільовій функції, водночас об'єднуючи в один критерій оптимізації H_2 - і H_∞ -норми, можна знайти компроміс між вимогами до пригнічення координатних та параметричних збурень [5].

Складний показник якості можна записати у вигляді $J_c = \lambda_d J_d^2 + \lambda_d^p (J_d^p)^2 + \lambda_s J_s^2 + \lambda_s^p (J_s^p)^2$, де $\lambda_d, \lambda_d^p, \lambda_s, \lambda_s^p$ – відповідні вагові коефіцієнти. Долучаючи H_∞ -норму для номінальної і параметрично збуреної моделей з відповідними ваговими коефіцієнтами $\lambda_\infty, \lambda_\infty^p$ до складного показника якості, можна отримати сукупний показник якості–робастності: $P_{p-r} = J_c + \lambda_\infty \|T\|_\infty^2 + \lambda_\infty^p \|T^p\|_\infty^2$. Збільшуючи або зменшуючи вагу $\lambda_\infty, \lambda_\infty^p$ відповідно до ваги складових якості $\lambda_d, \lambda_d^p, \lambda_s, \lambda_s^p$, можна досягти компромісу між якістю та робастністю системи. Показник якості–робастності є функцією вектора змінних параметрів регулятора $\vec{C}_a$, до складу якої входять коефіцієнти підсилення всіх вхідних сигналів. Оптимізаційна процедура визначає таку величину вектора, за якої показник якості–робастності досягає мінімуму.

Оскільки H_2 -норма визначається лише для стійких систем, то при варіюванні вектора $\vec{C}_a$ у процесі виконання оптимізаційної процедури необхідно забезпечити стійкість системи, тобто величини варійованих параметрів регулятора необхідно обмежити умовами стійкості системи. Для зведення задачі умовної мінімізації показника якості до безумовної необхідно включити в критерій оптимізації штрафну функцію (PF), що обмежує розміщення полюсів замкненої системи всередині деякої області M на комплексній площині [4; 5]. Розміщення полюсів усередині цієї області, що обмежує коливання, запас стійкості, максимальну смугу пропускання частот, гарантує високу якість і робастність системи. Ця область, показана на рис. 1, обмежена двома жирними півколами. Щоб запобігти виникненню високочастотних коливань з частотою Найквіста всі полюси замкненої системи мають розміщуватись в області між правим і лівим півколами. Штрафна функція утримує полюси всередині допустимої області M . Графічно штрафну функцію зображено на рис. 1, б перетином вертикальної площини, що проходить через дійсну вісь. Сама ж штрафна функція PF як функція цієї мінімальної відстані d_m визначається таким чином:

$$PF(d_m) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } d_m \geq d_{m1}; \\ \frac{P}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi(d_m - d_0)}{(d_{m1} - d_0)} \right) \right], & \text{якщо } d_0 < d_m < d_{m1}; \\ P, & \text{якщо } d_m \leq d_0, \end{cases}$$

де P – велике число (наприклад, $P = 10^4 - 10^6$).

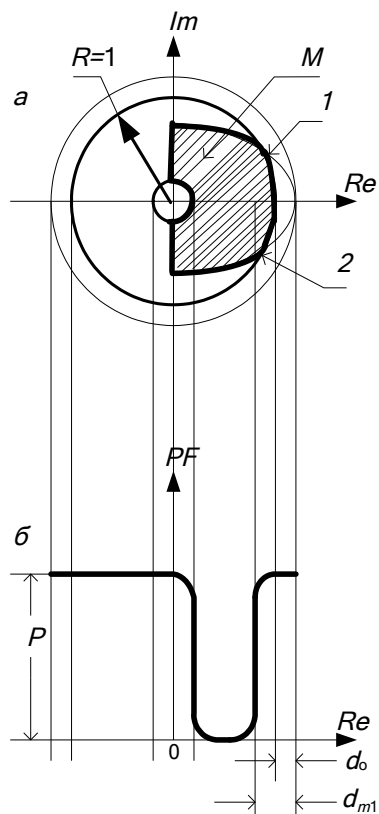


Рис. 1. Штрафна функція на комплексній z -площині: a – розміщення полюсів замкненої системи; b – графік $PF(d_m)$ – переріз по вертикальній площині “ PF - Re ”

У результаті складний критерій оптимізації набуде вигляду $J_\Sigma = J_c + PF$, а оптимальний вектор параметрів регулятора є результатом виконання процедури оптимізації: $\vec{C}_a^* = \arg \min J_\Sigma(\vec{C}_a)$, $\vec{C}_a \in M_c$, де M_c – область стійкості в просторі параметрів регулятора, яка визначається областю M . Першим кроком виконання оптимізаційної процедури є визначення структури і вектора початкових параметрів щодо розміщення полюсів замкненої системи в заданій області. Після цього виконується процедура оптимізації у розглядуваному випадку методом Нелдера–Міда. Знайдені в результаті виконання оптимальні значення параметрів регулятора використовуються для оцінювання якості (в детермінованому та стохастичному випадках) та робастності системи керування. Якщо результат не задовольняє вимоги до системи керування польотом, необхідно змінити відповідні вагові коефіцієнти в цільовій функції і знову виконати оптимізаційну процедуру. Таким чином, виконання оптимізаційної процедури відбувається в інтерактивному режимі доти, доки якість та робастність системи не будуть задовольняти наперед задані вимоги.

Оцінювання впливу неструктурованої динаміки за теоремою Харитонова.

Невизначеність, яка розглядається в системі, є структурованими параметричними збуреннями, оскільки структура системи не змінювалась. Необхідно розглянути і неструктуровані параметричні збурення, що визначаються динамікою дискретної системи керування і не враховуються на початку синтезу. Із фізичного погляду така неструктурована динаміка зводиться до наявності обчислювального запізнення в дискретних системах керування та аналогових передімпульсних фільтрів для запобігання явищу накладання частот [7]. У статті [8] таку процедуру розглянуто для неперервних систем на основі теореми Харитонова та теореми про малий коефіцієнт підсилення. Проте задано дискретну систему керування, тому необхідно оцінити вплив неструктурованих параметричних збурень на динаміку дискретної системи керування [9]. Розглянемо замкнену систему, яка містить у зворотному зв'язку неструктуровані збурення (рис. 2). Цю систему подано передатною функцією типу: $W(z) = \frac{P(z)}{Q(z)}$.

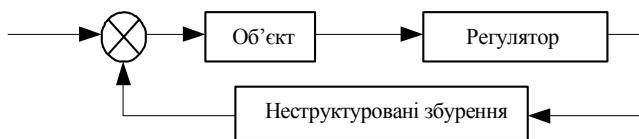


Рис. 2. Спрощена структурна схема замкненої системи з неструктурованими збуреннями

Необхідно виконати білінійне перетворення для того, щоб мати можливість розглядати дискретну систему як неперервну. Розглянемо основні аспекти теорії поліномів Харитонова [7]. Нехай задано дійсний поліном, визначимо його парну $\delta^{\text{пар}}(s)$ та непарну $\delta^{\text{непар}}(s)$ частини і запишемо:

$$\delta(s) = \underbrace{(\delta_0 + \delta_2 s^2 + \delta_4 s^4 + \dots)}_{\delta^{\text{пар}}(s)} + \underbrace{(\delta_1 s + \delta_3 s^3 + \delta_5 s^5 + \dots)}_{\delta^{\text{непар}}(s)}.$$

Визначимо сім'ю поліномів з реальними інтервалами:

$$\delta(s) = \delta_0 + \delta_1 s + \delta_2 s^2 + \dots + \delta_{n-1} s^{n-1} + \delta_n s^n,$$

де $\delta_0 \in [x_0, y_0]$, $\delta_1 \in [x_1, y_1]$, $\delta_n \in [x_n, y_n]$.

Чотири поліноми Харитонова, що входять у цю сім'ю, визначаються відповідним чином:

$$K^1(s) = x_0 + x_1 s + y_2 s^2 + y_3 s^3 + x_4 s^4 + x_5 s^5 + \dots;$$

$$K^2(s) = x_0 + y_1 s + y_2 s^2 + x_3 s^3 + x_4 s^4 + y_5 s^5 + \dots;$$

$$K^3(s) = y_0 + x_1 s + x_2 s^2 + y_3 s^3 + y_4 s^4 + x_5 s^5 + \dots;$$

$$K^4(s) = y_0 + y_1 s + x_2 s^2 + x_3 s^3 + y_4 s^4 + y_5 s^5 + \dots.$$

Розглянемо сім'ю поліномів для об'єкта з передатною функцією: $g(s) = \frac{n(s)}{d(s)}$, де $n(s)$ належить сім'ї поліномів N , а $d(s)$ – сім'ї поліномів D , які визначаються так:

$$n(s) = n_0 + n_1 s + \dots, \text{ де } n_i \in [\alpha_i, \beta_i], \forall i = 0 \dots p;$$

$$d(s) = d_0 + d_1 s + \dots, \text{ де } d_i \in [\gamma_i, \delta_i], \forall i = 0 \dots p.$$

Нехай $K_N^i(s)$, $i = 1, 2, 3, 4$ та $K_D^i(s)$, $i = 1, 2, 3, 4$ визначаються поліномами Харитонова, пов'язаними з N і D відповідно. Далі можна визначити 16 об'єктів з відповідними передатними функціями: $g(s) = \frac{K_N^i(s)}{K_D^i(s)}$.

Припустімо, що ΔP – неструктуровані параметричні збурення, які діють на систему.

Теорема 1. Якщо $g(s)$ – стійка передатна функція, то замкнена система лишається стійкою для всіх неструктурованих збурень, які задовольняють умову $\|\Delta P\|_\infty < \alpha$, якщо і тільки якщо $\|g(s)\|_\infty < \alpha$.

Теорема 2. Замкнена система (див. рис. 1) лишається стійкою для всіх неструктурованих збурень, які задовольняють умову $\|\Delta P\|_\infty < \alpha$, якщо і тільки якщо $\alpha < \frac{1}{\max \|g(s)\|_\infty}$.

Приклад. Визначення впливу неструктурованої динаміки при виконанні параметричної робастної оптимізації дискретної системи керування бічним рухом аеростатичної платформи.

Задано в просторі станів модель бічного руху аеростатичної платформи. Вважаємо, що за швидкості $V_t = 20$ м/с маємо номінальну модель, а за швидкості $V_{tp} = 10$ м/с – параметрично збурену. Вектор стану системи: $X = [v, p, r, \varphi]^T$, де v – бічна швидкість; p – кутова швидкість за креном; r – кутова швидкість за ристанням; φ – кут крену. Вектором керування є δ_r , відхилення керма напрямку δ_r . Під час дослідження стохастичного випадку припускається, що на об'єкт діє турбулентний бічний вітер, середньоквадратичне відхилення миттєвої швидкості якого дорівнює 2,5 м/с.

Номінальну модель стратостата подано такими матрицями:

$$A = \begin{bmatrix} -0,4222 & -0,7781 & 8,8109 & -3,4476 \\ -0,0341 & -0,4808 & 3,1348 & -2,1249 \\ -0,0286 & 0,0234 & -0,2533 & 0,0887 \\ 0 & 1,0000 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1,7549 \\ 0,2244 \\ -0,1258 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Відповідно параметрично збурену модель стратостата подано такими матрицями:

$$A_p = \begin{bmatrix} -0,2111 & -0,3891 & 4,4055 & -3,4476 \\ -0,0170 & -0,2404 & 1,5674 & -2,1249 \\ -0,0143 & 0,0117 & -0,1267 & 0,0887 \\ 0 & 1,0000 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B_p = \begin{bmatrix} 0,4387 \\ 0,0561 \\ -0,0315 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

На вхід регулятора надходять сигнали від датчиків бічної швидкості v , кутової швидкості за креном p та рисканням r . Коефіцієнти підсилення цих сигналів позначаються відповідно як K_v, K_p, K_r . Відповідно регулятор можна записати вектором параметрів $K = [K_v, K_p, -K_r]$. Після виконання оптимізаційної процедури отримано вектор оптимальних параметрів регулятора: $p = [-14,4192 \quad 35,2040 \quad 364,0529]$. Отримані результати зведено в таблицю.

Числові характеристики для номінальної та збуреної моделей системи

Об'єкт	Середньоквадратичні відхилення змінних простору стану				H_2 - норма (детермінована)	H_2 - норма (стохастична)	H_∞ - норма
	p рад·с ⁻¹	r рад·с ⁻¹	φ рад	δ_r рад·с ⁻¹			
Номінальний	0,4852	0,5830	0,7231	7,7247	0,0124	0,0802	0,0348
Збурений	0,3486	0,5577	0,4354	8,0147	0,0070	0,0800	0,0133

З таблиці видно, що значення H_2 -норми і H_∞ -норми номінальної та збуреної систем, а також середньоквадратичні відхилення мають невеликі розходження, припустимі з погляду функціонування системи в цілому.

Логарифмічні частотні характеристики показано на рис. 3 (чорною лінією – динамічні характеристики номінальної замкнутої системи, сірою – параметрично збуреної).

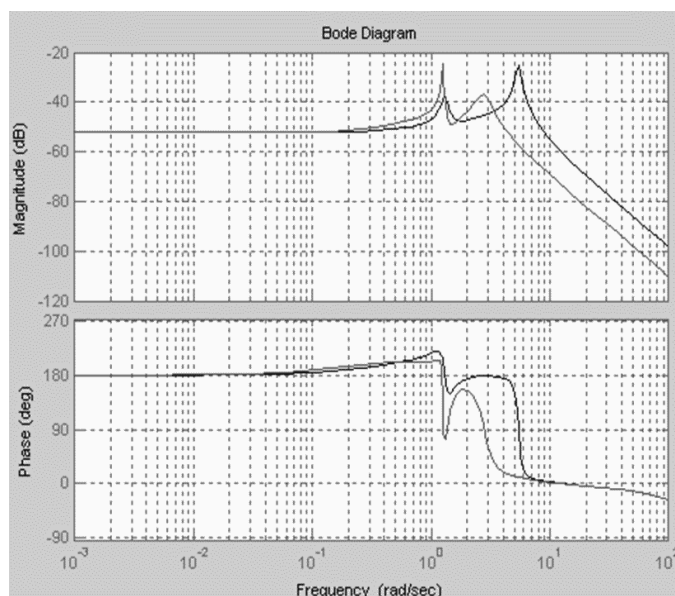


Рис. 3. Логарифмічні частотні характеристики

Мале відхилення логарифмічних характеристик номінальної й параметрично збуреної моделей дискретних систем керування бічним рухом аеростатичної платформи свідчать про високу робастність системи.

Після вдалого завершення оптимізаційної процедури необхідно дослідити вплив неструктурованої динаміки на стійкість отриманої оптимальної системи керування бічним рухом аеростатичної платформи.

Згідно з теоремою про граничну норму неструктурованого параметричного збурення система залишається стійкою під час дії неструктурованих параметричних збурень, якщо збільшення H_∞ -норми не перевищує граничної норми α . У зв'язку з цим були проведені подальші дослідження [7].

Оскільки розглядаємо дискретну систему керування, необхідно зробити заміну змінних за допомогою білінійного перетворення, в результаті чого відповідно до теореми відображення можна розглядати дискретну систему як неперервну.

Розглянемо сім'ю поліномів для об'єкта з передатною функцією:

$$g(s) = \frac{n_0 + n_1 s + n_2 s^2 + \dots + n_8 s^8}{d_0 + d_1 s + d_2 s^2 + \dots + d_8 s^8},$$

$$\begin{aligned} \text{де } n_0 &= [5,592 \cdot 10^7, 6,998 \cdot 10^6]; & n_1 &= [4,429 \cdot 10^7, 9,657 \cdot 10^6]; \\ n_2 &= [3,678 \cdot 10^7, 4,7 \cdot 10^6]; & n_3 &= [2,24 \cdot 10^7, 5,524 \cdot 10^6]; \\ n_4 &= [5,01 \cdot 10^5, 1,256 \cdot 10^5]; & n_5 &= [602, 162,3]; \\ n_6 &= [-50,48, -12,59]; & n_7 &= [-0,2848, -0,07149]; \\ n_8 &= [-4,747 \cdot 10^{-6}, -1,783 \cdot 10^{-6}]; & d_0 &= [5,617 \cdot 10^7, 7,061 \cdot 10^6]; \\ d_1 &= [4,407 \cdot 10^7, 9,959 \cdot 10^6]; & d_2 &= [3,869 \cdot 10^7, 6,621 \cdot 10^6]; \\ d_3 &= [2,463 \cdot 10^7, 7,656 \cdot 10^6]; & d_4 &= [1,719 \cdot 10^6, 1,27 \cdot 10^6]; \\ d_5 &= [8,129 \cdot 10^5, 8,012 \cdot 10^5]; & d_6 &= [2,583 \cdot 10^4, 2,567 \cdot 10^4]; \\ d_7 &= [278,5, 227,8]; & d_8 &= [1,1]. \end{aligned}$$

Отримаємо 16 поліномів Харитонова відповідно вищенаведеного алгоритму:

$$\begin{aligned} g_1(s) &= \frac{K_N^1(s)}{K_D^1(s)}, & g_2(s) &= \frac{K_N^1(s)}{K_D^2(s)}, & g_3(s) &= \frac{K_N^1(s)}{K_D^3(s)}, & g_4(s) &= \frac{K_N^1(s)}{K_D^4(s)}, \\ g_5(s) &= \frac{K_N^2(s)}{K_D^1(s)}, & g_6(s) &= \frac{K_N^2(s)}{K_D^2(s)}, & g_7(s) &= \frac{K_N^2(s)}{K_D^3(s)}, & g_8(s) &= \frac{K_N^2(s)}{K_D^4(s)}, \\ g_9(s) &= \frac{K_N^3(s)}{K_D^1(s)}, & g_{10}(s) &= \frac{K_N^3(s)}{K_D^2(s)}, & g_{11}(s) &= \frac{K_N^3(s)}{K_D^3(s)}, & g_{12}(s) &= \frac{K_N^3(s)}{K_D^4(s)}, \\ g_{13}(s) &= \frac{K_N^4(s)}{K_D^1(s)}, & g_{14}(s) &= \frac{K_N^4(s)}{K_D^2(s)}, & g_{15}(s) &= \frac{K_N^4(s)}{K_D^3(s)}, & g_{16}(s) &= \frac{K_N^4(s)}{K_D^4(s)}. \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
K_N^1(s) &= 5,592 \cdot 10^7 + 4,429 \cdot 10^7 s + 4,7 \cdot 10^6 s^2 + 5,524 \cdot 10^6 s^3 + 5,01 \cdot 10^5 s^4 + 602 s^5 - 12,59 s^6 - \\
&\quad - 0,07149 s^7 - 4,747 \cdot 10^{-6} s^8; \\
K_N^2(s) &= 5,592 \cdot 10^7 + 9,657 \cdot 10^6 s + 4,7 \cdot 10^6 s^2 + 2,24 \cdot 10^7 s^3 + 5,01 \cdot 10^5 s^4 + 162,3 s^5 - 12,59 s^6 - \\
&\quad - 0,2848 s^7 - 4,747 \cdot 10^{-6} s^8; \\
K_N^3(s) &= 6,998 \cdot 10^6 + 4,429 \cdot 10^7 s + 3,678 \cdot 10^7 s^2 + 5,524 \cdot 10^6 s^3 + 1,256 \cdot 10^5 s^4 + 602 s^5 - 50,48 s^6 - \\
&\quad - 0,07149 s^7 - 1,783 \cdot 10^{-6} s^8; \\
K_N^4(s) &= 6,998 \cdot 10^6 + 9,657 \cdot 10^6 s + 3,678 \cdot 10^7 s^2 + 2,24 \cdot 10^7 s^3 + 1,256 \cdot 10^5 s^4 + 162,3 s^5 - 50,48 s^6 - \\
&\quad - 0,2848 s^7 - 1,783 \cdot 10^{-6} s^8; \\
K_D^1(s) &= 5,617 \cdot 10^7 + 4,407 \cdot 10^7 s + 6,621 \cdot 10^6 s^2 + 7,657 \cdot 10^6 s^3 + 1,719 \cdot 10^6 s^4 + 8,129 \cdot 10^5 s^5 + \\
&\quad + 2,567 \cdot 10^4 s^6 + 227,8 s^7 + s^8; \\
K_D^2(s) &= 5,617 \cdot 10^7 + 9,959 \cdot 10^6 s + 6,621 \cdot 10^6 s^2 + 2,463 \cdot 10^7 s^3 + 1,719 \cdot 10^6 s^4 + 8,012 \cdot 10^5 s^5 + \\
&\quad + 2,567 \cdot 10^4 s^6 + 278,5 s^7 + s^8; \\
K_D^3(s) &= 7,061 \cdot 10^6 + 4,407 \cdot 10^7 s + 3,869 \cdot 10^7 s^2 + 7,657 \cdot 10^6 s^3 + 1,27 \cdot 10^6 s^4 + 8,129 \cdot 10^5 s^5 + \\
&\quad + 2,583 \cdot 10^4 s^6 + 227,8 s^7 + s^8; \\
K_D^4(s) &= 7,061 \cdot 10^6 + 9,959 \cdot 10^6 s + 3,869 \cdot 10^7 s^2 + 2,463 \cdot 10^7 s^3 + 1,27 \cdot 10^6 s^4 + 8,012 \cdot 10^5 s^5 + \\
&\quad + 2,583 \cdot 10^4 s^6 + 278,5 s^7 + s^8.
\end{aligned}$$

Обчислюємо для кожного полінома $\|H\|_\infty$ -норму:

$$\begin{array}{llll}
g_1 = 0,506; & g_2 = 0,779; & g_3 = 0,889; & g_4 = 7,610; \\
g_5 = 3,458; & g_6 = 5,526; & g_7 = 11,793; & g_8 = 6,258; \\
g_9 = 1,477; & g_{10} = 8,282; & g_{11} = 0,573; & g_{12} = 0,906; \\
g_{13} = 18,220; & g_{14} = 8,207; & g_{15} = 2,380; & g_{16} = 2,151.
\end{array}$$

Відповідно до теореми 2 розраховуємо граничну норму α : $\alpha = \frac{1}{18,22} = 0,0549$.

Замкнена система залишається стійкою, якщо різниця за модулем H_∞ -норми номінальної моделі та H_∞ -норми параметрично збуреної моделі не перевищує граничної норми α , тобто $\|\Delta\| \leq \alpha$, де $\|\Delta\| = \|H_{36}\| - \|H_0\|$.

Перевіримо умову робастної стійкості для досліджуваної системи: $\|\Delta\| = 0,0348 - 0,0133 = 0,0215$, що не перевищує граничної норми α .

Висновок. Таким чином, доведено, що система залишається стійкою у разі дії на неї неструктурованих параметричних збурень.

Список літератури

1. *Tunik A. A.* Robust Optimization of Control Law of Flight in Stochastically Disturbed Atmosphere / A. A. Tunik, Ahn I. K., Yeom C. H. / Proceedings of Millennium Conference on Air and Space Sciences, Technology and Industries. – Hankook Aviation University. – Apr. 28, 2000. – Seoul, Korea. – P. 122 – 133.
2. *Харитонов В. Л.* Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений / Дифференциальные уравнения / Харитонов В. Л. – Т. 14. – №11. – С. 2086 – 2088.

3. Schoemig E. Mixed H_2/H_∞ Control of Multimodel Plants / Journal of Guidance, Control and Dynamics. / Schoemig E., Sznaiier M. – №. 3. – May – June. – 1995. – P. 525 – 531.
4. Туник А. А. Многомодельный подход к параметрической робастной оптимизации цифровых систем управления полетом / Проблеми управління і інформатики / Туник А. А., Абрамович Е. А. – 2004. – №2. – С. 32 – 43.
5. Туник А. А. Робастна параметрична оптимізація дискретної системи управління, яка має неструктуровані параметричні збурення / Вісник НАУ/ Туник А. А., Абрамович О. О. – 2004. – № 2. – С. 31 – 35.
6. Chapellat H. Robust stability under structured and unstructured perturbations/ IEEE Transactions on Automatic Control. / Chapellat H., Dahleh M., Bhattacharyya S.P. – Vol.35. – №.10. – October1990. – P. 1100 – 1107.
7. Kwakernaak H. Robust Control and H_∞ - Optimization/Automatica / Kwakernaak H. – Vol.29. – №.2. – 1993. – P. 255 – 273.
8. Tunik A. A. Parametric Robust Optimization of the Digital Flight Control Systems/ Tunik A. A., Abramovich E. A. / Вісник НАУ. – 2003. – № 2. – С. 31 – 37.
9. D. McLean Automatic Flight Control Systems. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs / D. McLean. – 1990. – 593 p.

Е. А. Абрамович, С. О. Булавкина, О. И. Надсадная

Оценка влияния неструктурированной динамики при оптимизации законов управления аэростатом

Предложен метод исследования влияния неструктурированной динамики при проведении параметрической робастной оптимизации дискретных систем управления, которая базируется на использовании теоремы Харитоновой и теоремы о малом коэффициенте усиления. Приведены результаты использования этого метода на примере дискретной системы управления боковым движением аэростатической платформы.

О. О. Abromovych, S.O. Bulavkina, O.I. Nadsadna

Assess of unstructured dynamic influence by control laws optimization of aerostats.

The method of researching influence unstructured dynamics by parametric robust optimization of discrete control systems is proposed in the present article. It is based on using the Kharytonov theoreme and the small amplification coeffiecient theoreme. The results were taken in using the present method in discrete control system of aerostatistics platform side move, which was cited as an example.