

**О.О. Абрамович**, к.т.н., доц., (Національний авіаційний університет)  
**Н.В. Білак**, к.т.н., доц., (Національний авіаційний університет)

**Вплив передімпульсної фільтрації на динаміку цифрової системи управління подовжнім рухом БПЛА.**

Наявність високочастотних сигналів датчиків приводить до того, що в дискретних системах управління (СУ) можливе виникнення накладання частот при невиконанні умов теореми Котельникова-Шеннона. У зв'язку з цим необхідно використовувати передімпульсний фільтр, щоб обмежити полосу пропускання і таким чином задовольнити умови теореми Котельникова-Шеннона.

Як правило, передімпульсним фільтром є неперервна ланка з досить малим значенням постійної величини часу. Необхідно підібрати передімпульсний фільтр таким чином, щоб в полосі пропускання системи фазові здвиги були незначними.

Також необхідно пам'ятати що чим більший інтервал квантування по відношенню до постійної величини часу, тим гірші запаси стійкості по амплітуді та фазі. Для того, щоб не підвищувати порядок системи, часто при її синтезі та аналізу передімпульсні фільтри не враховуються.

В цьому плані наявність передімпульсного фільтра можна трактувати з позиції теорії робастності як неструктуровані параметричні збурення. У зв'язку з цим необхідно оцінити вплив цих неструктурованих параметричних збурень на динаміку системи. Оцінка проводиться за допомогою теореми про граничну норму неструктурованого параметричного збурення. Стандартна форма оптимізаційної процедури дискретної ситеми управління зображена на рис.1.

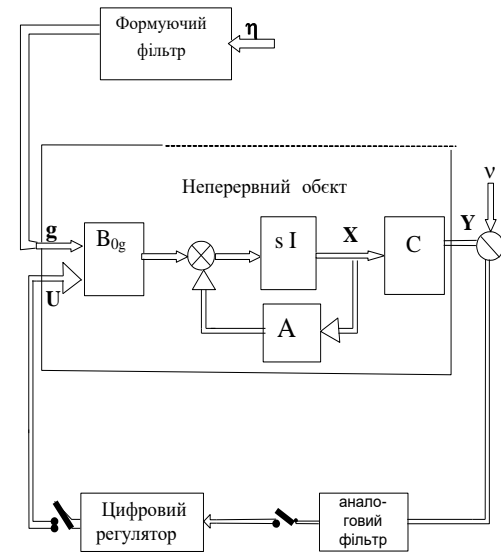


Рис.1

На рис.1. вектор  $\eta$  являє собою білий шум, вектор  $g$  – збурювання (пориви вітру). Формуючий фільтр описаний стандартною моделлю Драйдена. Вектор  $v$  являє собою шум вимірювань. Аналоговий фільтр виконує передімпульсну фільтрацію. Він є неперервною ланкою з досить малим значенням постійної величини часу:  $W(p) = \frac{1}{0.01p + 1}$ .

Процедура оптимізації ґрунтується на одержанні складного показника якості (ПЯ):

$$J_K = \lambda_d J_d + \sum_{i=1}^m \lambda_{di}^{(p)} J_{di}^{(p)} + \lambda_S J_S + \sum_{i=1}^m \lambda_{Si}^{(p)} J_{Si}^{(p)} + \lambda_\infty \|T(j\omega)\|_\infty + \sum_{i=1}^m \lambda_{\infty i}^{(p)} \|T_i^{(p)}(j\omega)\|_\infty + PF \quad (1)$$

де  $\lambda_d, \lambda_S$  - вагові коефіцієнти для показників  $H_2$ -норм номінальної моделі відповідно;  $\lambda_{di}^{(p)}, \lambda_{Si}^{(p)}$  - вагові коефіцієнти для показників  $H_2$ -норм для сімейства із  $m$  параметрично – збурених моделей відповідно;  $\lambda_\infty, \lambda_{\infty i}^{(p)}$  - вагові коефіцієнти для показників робастності для номінальної та параметрично збуреної моделей відповідно,  $J_S, J_d$  -  $H_2$ -норма для кожної моделі дискретної системи в стохастичному та в детермінованому випадку відповідно,  $\|T\|_\infty$  -  $H_\infty$ - норма функції комплементарної чутливості дискретної системи для кожної моделі, PF- штрафна функція, що обмежує розміщення полюсів замкнутої системи в області стійкості при виконанні оптимізаційної процедури.

Оскільки цей підхід дозволяє віднайти компроміс між різними суперечливими цілями, то в сучасній літературі його називають також багатоцільовим підходом [1].

Мінімізація виразу (1) здійснюється методом Нелдера – Міда.

### Робастна параметрична оптимізація дискретних систем управління подовжнього каналу БПЛА.

Номинальна й збурена моделі подовжнього каналу малого БПЛА, що відповідають істинній повітряній швидкості 250 км/год і 200 км/год, мають вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} -0.0345 & 6 & -9.78 & 0 & 0 \\ -0.0041 & -1.76 & 0 & 0.99 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0033 & -25.7 & 0 & -2.19 & 0 \\ 0 & -69.4 & 69.4 & 0 & 0 \end{bmatrix}; A_p = \begin{bmatrix} -0.0273 & 6 & -9.78 & 0 & 0 \\ -0.0064 & -1.39 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0036 & -16.1 & 0 & -1.73 & 0 \\ 0 & -55.6 & 55.6 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [0.36 \quad -0.16 \quad 0 \quad -31.1 \quad 0]^T; \quad B_p = [0.36 \quad -0.13 \quad 0 \quad -19.9 \quad 0]^T$$

де матриці збуреної моделі позначаються з індексом “р”. На вхід регулятора надходять сигнали від датчиків висоти  $h$ , кута тангажа  $\theta$  і кутової швидкості по тангажу  $q$ , відповідно,  $K_h$ ,  $K_\theta$ ,  $K_q$  їхній коефіцієнти підсилення. Вектор вимірюваних координат  $Y = [h, \theta, q]^T$ , регулятор представляється матрицею-рядком  $C = [K_h \theta \quad C_{h\theta q} \quad K_\theta \quad K_q] * C_{\theta q}$ . Вектор стану  $X = [\alpha, \theta, q, h, de]$ , а відхилення руля висоти є керуванням  $u$ . Використовуються пристрої динамічної корекції (ПД-регулятори для контуру швидких  $C_{\theta q}$  і повільних рухів  $C_h$ ) з наступними передатними функціями:  $W_{C_h}(z) = K_h + \frac{K_5 * (z-1)}{T * z}$ ;  $W_{C_{\theta q}}(z) = 1 + \frac{K_4 * (z-1)}{T * z}$ . Вектор параметрів автопілоту  $\bar{C}_n$ , що визначається оптимізаційною процедурою, складається з наступних компонентів:  $\bar{C}_n = [K_\theta, K_q, K_h, K_4, K_5]$ . Після оптимізації вектор параметрів буде мати вигляд:  $\bar{C}_n = [-9.854 \quad -0.867 \quad -0.057 \quad 0.127 \quad 0.006]$

Чисельні характеристики номінальної й збуреної систем представлені в таблиці 1 та в таблиці 2. З цих таблиць видно, що с. к. з. перемінних стану номінальної й збуреної систем, так само як і запас стійкості, і  $H_2$  і  $H_\infty$ -норми мають невеликі розходження, цілком припустимі з погляду функціонування системи в цілому.

#### Чисельні характеристики номінальної й збуреної систем стохастичної моделі. Табл.1.

об'єкт	С.к.з. змінних стану				
	$\alpha$ (рад)	$\theta$ (рад)	$Q$ (рад·с <sup>-1</sup> )	$h$ (м)	$\delta e$ (рад)
Ном.	0.0007	00.0032	0,004	10,99	0.0016
збур.	0,001	00.006	0,0048	11,315	0.0021

#### Чисельні характеристики номінальної й збуреної систем детермінованої моделі. Табл.2

об'єкт	Запаси стійкості		$H_2$	$H_\infty$
	Фаза, (Нград)	Амплітуда, (дБ)		
Ном.	154	20	1,32	0,33
Збур.	161	23	00,97	0,23

Практичне використання результатів оптимізації вимагають також моделювання динаміки системи при наявності нелінійних елементів типу насичення, зони нечутливості і т.д., що широко використовуються в реальних законах керування польотом. У зв'язку з цим остаточний висновок про якість функціонування СУ роблять після її моделювання в пакеті СИМУЛІНК із використанням необхідних нелінійних функцій.

### Список літератури

1. А.А. Tunik, Е.А. Abramovich. Parametric robust optimization of the digital flight control systems, Вестник, №2, 2003, с.31-37.