УДК 629.7.027

О.А. Сущенко, д.т.н., проф. *(Національний авіаційний університет)*

Параметричний синтез системи стабілізації та визначення курсу

Постановка проблеми. Створення високоточних систем за наявності параметричних збурень являє собою класичну проблему проектування сучасних систем управління. При багатьох класичних підходах до синтезу систем управління взагалі та систем стабілізації зокрема виходять із того, що значення параметрів є відомими. Але бажано виконувати синтез системи виходячи з можливості змінювання її параметрів у деякому діапазоні. Система вважається робастною, якщо вона характеризується достатнім рівнем стійкості та характеристик, для деякого діапазону змінювань параметрів та збурень.

Одним із найпоширеніших напрямів створення стійких до збурень систем стабілізації є параметричний синтез робастних систем, малочутливих як до варіацій параметрів системи, так і до відхилень параметрів моделі системи від її реальних значень. Синтез таких систем ґрунтується на мінімізації H_∞ – норми матричної передавальної функції замкненої системи. Відомий також підхід до синтезу сучасних систем, який ґрунтується на мінімізації H_2-норми матричної передавальної функції замкненої системи, яка характеризує точність системи. З точки зору організації обчислювальних алгоритмів H_∞ – оптимізація значно складніша від H_2 – оптимізації. Оптимізація за кожним із розглянутих підходів має свої переваги. Методи синтезу на підставі мінімізації H_2 – норми забезпечують високу точність синтезованої системи, але при цьому вона залишається чутливою як до зовнішніх збурень, так і до параметричних збурень об'єкта керування. Застосування H_∞ – норми дозволяє забезпечити стійкість системи до зовнішніх збурень за умови її параметричної невизначеності. Оптимізація за змішаним критерієм дозволяє поєднувати ці переваги. Тоді синтезована система може характеризуватись оптимальною якістю за умови можливості її функціонування за наявності збурень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наш час створенню робастних систем присвячено велику кількість наукових робіт. Основним ствердженням, яке визначило виникнення теорії робастності, є теорема Харітонова, яка вперше була сформульована в роботі [1]. Існує три основних напрямки розвитку теорії робастності. Перший підхід базується на праці [2], в якій вводиться поняття багатовимірної границі стійкості. Другий підхід викладено в праці [3], де вводиться поняття структурованого сингулярного числа, третій підхід, детально розглянутий у праці [4], є пов'язаним з застосуванням лінійних матричних нерівностей. В основу третього підходу покладено основні положення теорії стійкості А.М. Ляпунова. Сутність цього методу полягає в аналітичному пошуку лінійних регуляторів, які забезпечують екстремум деякого заданого функціоналу системи. При цьому оптимізація здійснюється для допустимих множин лінійних регуляторів із фіксованою або довільною структурою.

Одна з центральних ідей, на яких засновані методи аналізу робастної стійкості, виходить з поняття критерію стійкості Найквіста, на якому базується теорема про малий коефіцієнт підсилення [5].

Процедури параметричного та структурно-параметричного оптимального синтезу робастних систем управління літальних апаратів широкого класу на підставі змішаного H_2/H_∞ підходу представлені в роботах [6 – 8]. Розробка відповідних процедур для систем стабілізації та визначення курсу морського призначення ще потребує свого дослідження.

Створення математичного опису у просторі станів. Необхідність створення математичного опису у просторі станів зумовлюється наявністю автоматизованих процедур оптимального проектування, орієнтованих саме на моделі у просторі станів. З метою визначення такого опису необхідно виконати лінеаризацію представлених раніше моделей. Для цього необхідно розглядати зовнішні впливи, які можуть описуватися лінійними виразами, з метою можливості лінеаризації тригонометричних виразів, які є основними складовими кінематичних співвідношень, прийняти кути поворотів платформи малими та знехтувати різницею осьових моментів. Слід зазначити, що кути α, β, γ дійсно є малими, але ж вони являють собою похибку побудування вертикалі. Кут же розвороту платформи у площині горизонту γ взагалі малим не являється, але може вважатися таким для деяких режимів. З огляду на велику кількість режимів досліджуваної системи вважається доцільним виконати дослідження особливостей параметричної оптимізації на прикладі одного з режимів. Отже, лінеаризована модель системи стабілізації та визначення курсу в режимі попереднього приведення до горизонту набуває вигляду:

$$\dot{\omega}_{x\text{п}} = [-f\omega_x + k_1\delta_1 + k_4(-\delta_1 + k_3\beta)/T + H\omega_{0x}]/J_x;$$

$$\dot{\omega}_{y\text{п}} = [-f\omega_y + k_2\delta_1 - k_4(-\delta_2 + k_3\alpha)/T + H\omega_{0y}]/J_y;$$

$$\dot{\omega}_{z\text{п}} = [-f\omega_{z\text{п}} + k_5\gamma + H\omega_{0z}]/J_z;$$

$$\dot{\delta}_1 = (-\delta_1 + k_3\beta)/T;$$

$$\dot{\delta}_2 = (-\delta_2 + k_3\alpha)/T;$$

$$\dot{\beta} = \omega_{x\text{п}};$$

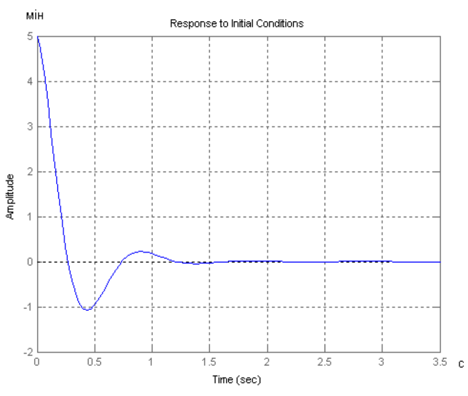
$$\dot{\alpha} = \omega_{y\text{п}};$$

$$\dot{\gamma} = \omega_{z\text{п}},$$

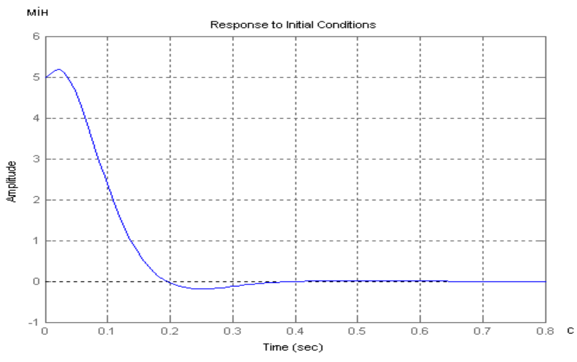
де k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коефіцієнти законів управління, $\omega_{0x}, \omega_{0y}, \omega_{0z}$ – зовнішні кутові швидкості, що діють на платформу, f – коефіцієнт тертя, δ_1, δ_2 – сигнали акселерометрів, T – стала часу, H – кінетичний момент.

Ця лінеаризована модель може бути представлена у просторі станів.

Особливості параметричної оптимізації Під час параметричної оптимізації системи стабілізації необхідно враховувати її особливості. Розглянемо ці особливості на прикладі режиму попереднього приведення до горизонту. По-перше, модель, яка описує систему у цьому режимі, являє собою астатичну систему другого порядку. Отже, для виконання параметричної оптимізації необхідно виконати мінімальну реалізацію системи. Аналіз системної матриці моделі системи стабілізації та визначення курсу показує, що її елементи розрізняються між собою приблизно на три порядки. З огляду на це вважається доцільним проведення збалансованої реалізації моделі. За оптимізовані параметри приймаються коефіцієнти передачі отриманої моделі. Результати параметричної оптимізації представлені на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Перехідні процеси по куту α: а – урахуванням демпфірування; б – синтезованої системи.

Як виходить з аналізу результатів моделювання, коефіцієнти передачі законів управління, визначені на основі процедури параметричної оптимізації, дозволяють значно покращити показники перехідного процесу за похибками побудування вертикалі у площині горизонту. Перш за все це стосується швидкодії перехідного процесу.

Висновки. В результаті отриманих досліджень визначено особливості процедури параметричного синтезу стійкої до збурень системи стабілізації та визначення курсу морського призначення, отримано вирази для завдання збурень в процесі синтезу, проаналізовано можливі закони керування системою в режимі попередного приведення до горизонту та отримано оптимальний закон управління системою у цьому режимі.

Список літератури

1. *Харитонов В.Л.* Асимптотическая устойчивость положения равновесия систем дифференциальных уравнений //Дифференциальные уравнения. – 1978. – №11. – С. 2086–2088.

2. *Safonov M.G., Athans M.* A multiloop generalization of the circle criterion for stability margin analysis //IEEE Tranc. On Automatic Control. – 1981. – Vol. 26, no2. – P. 415 – 422.

3. *Doyle J.C.* Analysis of feedback systems with structured uncertainties // IEE Proc. Pt. D: Control theory and applications. – 1982. – Vol. 129, no. 6 – P. 242–250.

4. *Boyd S., Ghaoui E., Feron E., Balakrishnan V.* Linear matrix inequalities in systems and control theory. – Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. – 1994. – 193 p.

5. *Zames G.* On the input-output stability of time-varying nonlinear feedback systems. Part I, II // IEEE Trans. on Automatic Control. – 1966. – Vol. 11, no. 2. – P.228 – 238; Vol. 11, no. 3. – P. 465 – 476.

6. *A.A.Tunik, R-Hyu, I.K.Ahn, C.H.Lim*. Parametric Optimization Procedure for Robust Flight Control System Design. Proceedings of the KSAS Fall Annual Meeting 2000, KSAS Publication, Daejeon, Korea, pp. 293-300.

7. *Tunik Anatol A., Hyeok Ryu, Hae-Chang Lee.* Parametric Optimization Procedure for Robust Flight Control System Design // KSAS International Journal. Vol. 2, № 2, November 2001, pp. 95 – 107.

8. *Квакернаак Х., Сиван Р.* Линейные оптимальные системы управления. – М.: Мир, 1977. – 464 с.