
ĐIỀU KHIỂN THIẾT BỊ BAY CÓ CHỨA CÁC THÀNH PHẦN THAM SỐ BẤT ĐỊNH TRÊN CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP THÍCH NGHI THEO TÍN HIỆU ĐẦU RA

Nguyễn Đức Thành*, Hoàng Minh Đắc, Nguyễn Việt Phương

Tóm tắt: Bài báo trình bày nội dung thiết kế hệ thống điều khiển cho kênh chuyển động dọc của thiết bị bay (TBB) có chứa các thành phần tham số bất định bằng phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra. Trong đó, tiến hành xây dựng mô hình toán học và mô phỏng đối tượng điều khiển. Các kết quả mô phỏng chứng minh tính ổn định của hệ thống. Từ đó, đánh giá được các ưu điểm và hạn chế của phương pháp này so với phương pháp thích nghi theo biến trạng thái.

Từ khóa: Thiết bị bay; Thích nghi; Điều khiển.

1. GIỚI THIỆU

Các phương pháp thích nghi kinh điển được tổng hợp dựa trên các biến trạng thái (đo được, hay không đo được) của đối tượng điều khiển đưa đến việc thiết kế và tổng hợp các hệ thống điều khiển phức tạp, gây ra sai số (do các cảm biến), làm cho các hệ thống điều khiển trở nên cồng kềnh và kém linh hoạt. Do đó, việc nghiên cứu các hệ thống điều khiển thích nghi mới độc lập với các biến trạng thái nhằm giảm bớt các hạn chế trên đang là hướng nghiên cứu khả thi. Đặc biệt đối với các đối tượng điều khiển có yêu cầu khắc khe về kích thích và trọng lượng. Hiện nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu các phương pháp điều khiển thích nghi theo tín hiệu đầu ra, nhưng phần lớn các phương pháp tổng hợp rất phức tạp và độ tin cậy không cao [6]. Vì vậy, việc phát triển thuật toán mới cho phép xây dựng các hệ thống điều khiển có cấu trúc đơn giản hơn đang được chú ý, và là nhiệm vụ của lý thuyết điều khiển hiện đại. Trên thế giới, các thuật toán này đang được nghiên cứu, việc ứng dụng vào thực tế còn rất hạn chế, chỉ dừng lại việc nghiên cứu lý thuyết [4-6]. Các công trình trong nước chưa có nhiều công bố và đánh giá. Do đó, việc nghiên cứu lý thuyết và hoàn thiện thuật toán thích nghi này sẽ tạo điều kiện đưa đến khả năng ứng dụng để giải quyết các vấn đề điều khiển trong thực tiễn. Với mục đích trên, bài báo nghiên cứu, tổng hợp hệ thống điều khiển sử dụng phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra cho kênh chuyển động dọc của TBB có chứa các thành phần tham số bất định. Từ kết quả mô phỏng trên phần mềm Malab-simulink, đưa ra một số đánh giá khả năng làm việc của hệ thống và sự ảnh hưởng của một số tham số đến chất lượng điều khiển.

2. MÔ TẢ THUẬT TOÁN

2.1. Xây dựng thuật toán

Xét bài toán điều khiển thích nghi theo tín hiệu đầu ra cho đối tượng tuyến tính [5, 6]. Giả sử đối tượng điều khiển tuyến tính dùng có mô hình toán ở dạng SISO như sau:

$$y = \frac{b(p)}{a(p)} u \quad (1)$$

Trong đó: p là toán tử laplace; $y=y(t)$ là tín hiệu đầu ra đo được; u là tín hiệu điều khiển có dạng $u=u_0+u_m$; u_0 là tín hiệu điều khiển theo chương trình; u_m là tín hiệu điều khiển thích nghi.

Các đa thức $b(p)$, $a(p)$ có dạng:

$$b(p) = b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0; \text{ Đa thức } b(p) \text{ là Hurwitz và hệ số } b_m > 0;$$

$$a(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0, \quad n > m, \quad \rho = n - m;$$

Luật điều khiển sử dụng phương pháp thích nghi đầu ra có dạng như sau [5]:

$$u_m = -\alpha(p)(\mu + \kappa)\hat{e} \quad (2)$$

Trong đó:

μ - Tham số bất kỳ;

$\alpha(p)$ - Đa thức Hurwit có bậc $\rho - 1$;

κ - Hệ số dùng để thực hiện độ chính xác bám theo tín hiệu y_m ;

$e(t) = y_m(t) - y(t)$ - Tín hiệu sai lệch, sai lệch giữa tín hiệu đầu ra của đối tượng và tín hiệu đầu ra mong muốn.

$\hat{e}$ - Hàm được hình thành từ thuật toán đánh giá, có dạng:

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \sigma \cdot \xi_2 \\ \dot{\xi}_2 = \sigma \cdot \xi_3 \\ \dots \\ \dot{\xi}_{\rho-1} = \sigma \cdot (-k_1 \cdot \xi_1 - k_2 \cdot \xi_2 - \dots - k_{\rho-1} \cdot \xi_{\rho-1} + k_1 \cdot e) \end{cases} \quad (3)$$

$$\hat{e} = \xi_1 \quad (4)$$

Trong đó: Hệ số $\sigma > \mu + \kappa$; Hệ số k_i được tính toán từ điều kiện ổn định tiệm cận của hệ (3).

Luật điều khiển (2), (3), (4) hoàn toàn có thể thực hiện được vì trong các biểu thức này chỉ chứa các tín hiệu đã biết và tín hiệu đo được.

Viết lại hệ (3), (4) ở dạng véc tơ - ma trận:

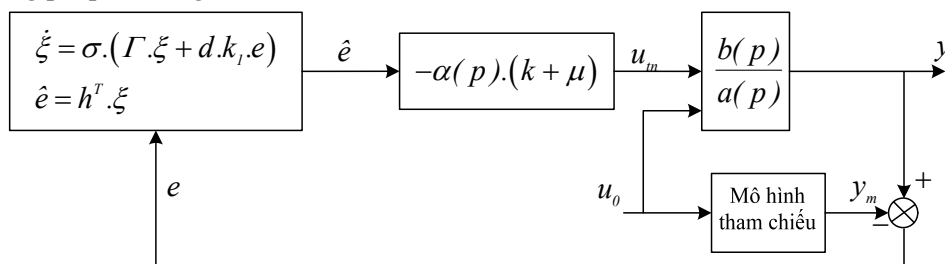
$$\dot{\xi} = \sigma(\Gamma \xi + d k_1 e) \quad (5)$$

$$\hat{e} = h^T \xi \quad (6)$$

Trong đó:

$$\xi = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_{\rho-1} \end{bmatrix}; \quad \Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -k_1 & -k_2 & \dots & -k_{\rho-1} \end{bmatrix}; \quad d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}; \quad h = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Từ (1), (2), (7) nhận được sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển đối tượng tuyến tính sử dụng phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra, thể hiện như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển thích nghi theo tín hiệu đầu ra.

Từ sơ đồ trên thấy rằng, phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra chỉ phụ thuộc tín hiệu ngõ ra của đối tượng điều khiển, mà không phụ thuộc vào các biến trạng thái của đối tượng. Thực hiện phương pháp này cho phép đơn giản được cấu trúc của hệ thống điều khiển.

2.2. Hiệu chỉnh thích nghi các hệ số của bộ điều khiển

Khi giải bài toán ĐKTN theo đầu ra bằng phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra, cần phải xác định các hệ số κ, μ, σ để bảo đảm hệ đạt được mục đích điều khiển (2), (3). Các hệ số này được xác định bằng cách sử dụng thuật toán hiệu chỉnh tham số của bộ điều khiển như sau [6]:

$$\tilde{k}(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau \quad (8)$$

Trong đó: $\tilde{k} = \kappa + \mu$; Hàm $\lambda(t)$ được tính toán như sau:

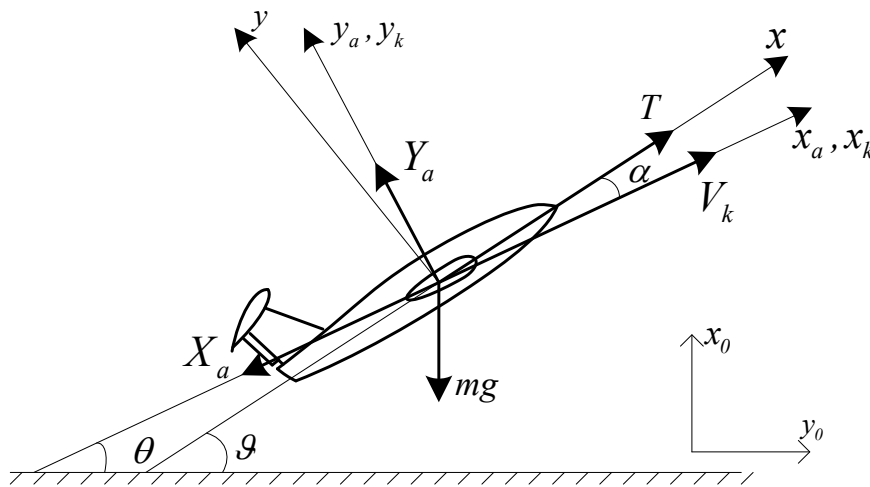
$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0 & \text{khi } |e(t)| > \varepsilon_0 \\ 0 & \text{khi } |e(t)| \leq \varepsilon_0 \end{cases} \quad (\lambda_0 > 0) \quad (9)$$

Lựa chọn σ như sau: $\sigma = \sigma_0 \tilde{k}^2$ với $\sigma_0 > 0$

3. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO KÊNH CHUYỂN ĐỘNG DỌC CỦA THIẾT BỊ BAY

Xét mô hình chuyển động dọc của TBB như trên hình 2. Ở đây, ta sử dụng một số giả thiết như sau:

- Coi bài toán chuyển động của TBB là bài toán động lực học chuyển động của vật rắn với các đặc tính khí động cho trước, bỏ qua yếu tố đàn hồi và biến dạng kết cấu của TBB;
- TBB được trang bị các cảm biến lý tưởng đo tọa độ, vận tốc, độ cao bay, tư thế trong không gian, các vận tốc góc và các hệ số quá tải. Nghĩa là, các cảm biến không có sai số tĩnh và động, tất cả các cảm biến đo lường các tham số chuyển động của UAV được mô phỏng bằng khâu khuếch đại lý tưởng;
- Coi các cơ cấu chấp hành (servos) là khâu quán tính bậc nhất, hàm truyền là khâu khuếch đại hệ số bằng 1 với hằng số thời gian cho trước.



Hình 2. Chuyển động của TTB trong mặt phẳng đứng.

Trên hình 2, ta có các hệ tọa độ: x_0Oy_0 , x_aOy_a ; x_kOy_k là các hệ tọa độ mặt đất, hệ tọa độ vận tốc và hệ tọa độ liên kết [1].

Mô hình toán học phi tuyến kênh chuyển động dọc của TBB được viết dưới dạng [1]:

$$\begin{cases} m\dot{V}(t) = T \cos \alpha - X_a - mg \sin \theta; \\ mV\dot{\theta}(t) = T \sin \alpha + Y_a - mg \cos \theta; \\ J_z \dot{\omega}_z = qSbm_z; \\ \dot{\vartheta} = \omega_z; \\ \dot{x}(t) = V \cos \theta; \\ \dot{H}(t) = V \sin \theta, \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó: ϑ , θ , α - Góc gât, góc nghiêng quỹ đạo, góc tấn công của TBB; V- Địa tốc của TBB; mg - Trọng lực của TTB; T - Lực đẩy động cơ; S - Diện tích đặc trưng của TBB; J_z - Mô men quán tính theo trục z; q - Khối lượng riêng không khí; x, H - Tọa độ trọng tâm của TBB trong hệ tọa độ mặt đất; X_a , Y_a lần lượt là thành phần lực cản, lực nâng; m_z - Hệ số mô men theo trục z; b - Dây cung khí động trung bình.

Tuyến tính hóa hệ (10), trong bài toán chỉ xét các chuyển động chu kỳ ngắn (các chuyển động góc) bỏ qua sự thay đổi tốc độ, độ cao bay, cũng như bỏ qua sự thay đổi chế độ làm việc của động cơ. Ngoài ra, giả thiết rằng bỏ qua thành phần theo lực nâng của cánh lái độ cao. Để đơn giản hệ phương trình bỏ qua các kí hiệu sai lệch nhỏ Δ tức là $\Delta\delta_c = \delta_c \dots$ Nhận được hệ phương trình vi phân theo sai lệch nhỏ như sau [4].:

$$\begin{cases} \dot{\theta}(t) = (-a_y^\theta + a_y^\alpha)\theta(t) - a_y^\alpha \vartheta(t) + a_y^{\delta_c} \delta_c \\ \dot{\omega}_z(t) = a_{m_z}^\alpha \theta(t) - a_{m_z}^{\omega_z} \omega_z(t) - a_{m_z}^\alpha \vartheta(t) - a_{m_z}^{\delta_c} \delta_c \\ \dot{\vartheta}(t) = \omega_z(t) \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó: δ_c là góc lệch cánh lái của TBB; a_y^α , a_y^θ , $a_y^{\delta_c}$, $a_{m_z}^\alpha$, $a_{m_z}^{\omega_z}$, $a_{m_z}^{\delta_c}$ là các hệ số động lực học bay được tính [2], giá trị của nó phụ thuộc vào điều kiện bay, độ cao và vận tốc của TBB. Bỏ qua sự ảnh hưởng của thành phần rất nhỏ a_y^θ , ngoài ra, ta có quan hệ $\alpha = \vartheta - \theta$, sau khi biến đổi (11), ta được:

$$\begin{cases} \dot{\alpha}(t) = \omega_z(t) + a_y^\alpha \alpha(t) + a_y^{\delta_c} \delta_c \\ \dot{\omega}_z(t) = -a_{m_z}^\alpha \alpha(t) - a_{m_z}^{\omega_z} \omega_z(t) - a_{m_z}^{\delta_c} \delta_c \\ \dot{\vartheta}(t) = \omega_z(t) \end{cases} \quad (12)$$

Trong phần này, ta sẽ tiến hành điều khiển thích nghi ổn định góc gât của TTB. Biến đổi (12) về dạng SISO như sau:

$$W_g^{\delta_c} = \frac{a_{m_z}^{\delta_c} s - (a_{m_z}^{\delta_c} a_y^\alpha + a_y^{\delta_c} a_{m_z}^\alpha)}{s^3 + (a_{m_z}^{\omega_z} - a_y^\alpha) s^2 + (a_{m_z}^\alpha - a_y^\alpha a_{m_z}^{\omega_z}) s} \quad (13)$$

Chọn hàm mẫu có dạng $y^* = \vartheta^*$, ta có quan hệ bậc của đối tượng $\rho = 2$, chọn đa thức

có dạng $\alpha(p) = (p+1)$, thuật toán điều khiển theo (2) có dạng:

$$u_m = -(\mu + \kappa)(p+1)\hat{e} \quad (14)$$

Theo (3) nhận được:

$$\dot{\xi}_1 = \sigma(-2\xi_1 + 2e) \quad (15)$$

$$\hat{e} = \xi_1 \quad (16)$$

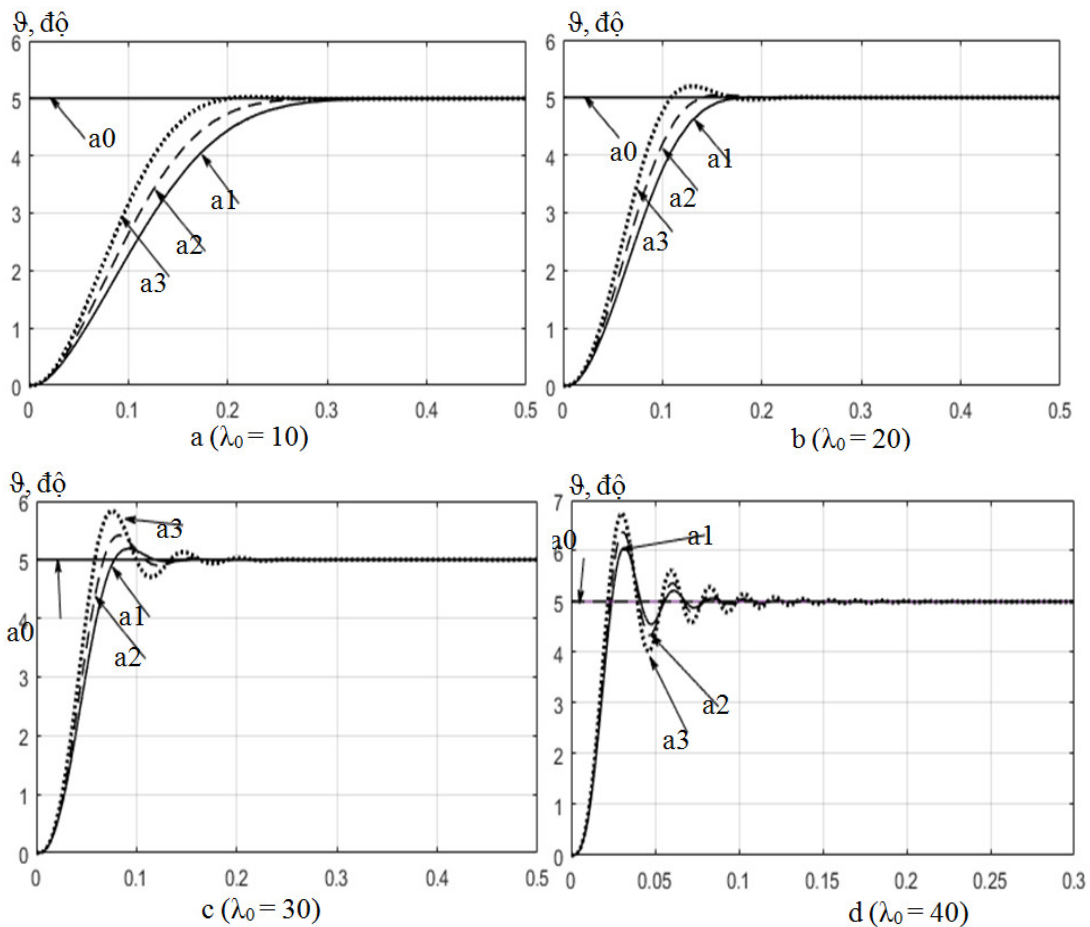
4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Hệ thống kín kênh gập được mô phỏng trên Matlab và cho các tham số ban đầu (9) của hệ thống điều khiển thích nghi theo tín hiệu đầu ra $\varepsilon_0 = 0.01$; $\lambda_0 = 10$.

Khảo sát một loại TBB có các hệ số động lực học bay [4] trong các trường hợp:

Bảng 1. Các tham số động học của TBB.

	$a_y^\alpha (s^{-1})$	$a_{m_z}^\alpha (s^{-2})$	$a_{\omega_z}^{m_z} (s^{-1})$	$a_y^{\delta_c} (s^{-1})$	$a_{m_z}^{\delta_c} (s^{-2})$
a1	-1.10	15.5	1.20	0.09	33.0
a2	-0.86	5.81	0.18	0.06	9.15
a3	-1.34	-12.5	0.45	0.07	15.2



Hình 3. Phản ứng của góc gập ϑ với kích động bậc thang.

Bài toán mô phỏng góc gât của TBB trong các trường hợp tham số bất định trong bảng 1 và cho các giá trị λ_0 thay đổi theo (9). Từ đó, đánh giá được độ ổn định của hệ thống. Đồng thời để đánh giá hiệu quả của thuật toán thích nghi (9), tiến hành thay đổi tham số ban đầu λ_0 để đánh giá khả năng đáp ứng nhanh của hệ thống và chất lượng của tín hiệu ra. Từ đó, có các phương án lựa chọn các tham số ban đầu (9) cho phù hợp với yêu cầu thiết kế.

Trên hình 3 ký hiệu: a_0 - Tín hiệu tác động ϑ_c ; a_1, a_2, a_3 tương ứng là tín hiệu thực ϑ theo các trường hợp trong bảng 1. Các hình a, b, c, d tương ứng với phản ứng của góc ϑ khi $\lambda_0 = 10, 20, 30, 40$. Tín hiệu thực ϑ bám theo tín hiệu tác động ϑ_c . Hệ thống đảm bảo ổn định tiệm cận tại giá trị $\vartheta_c = \text{const}$.

Khi tăng λ_0 hệ thống có thời gian đáp ứng nhanh hơn, nhưng xuất hiện dao động và độ quá chỉnh lớn (hình 3c, 3d).

Nhận xét:

- Đặc trưng quá độ của hệ kín cho thấy, hệ ổn định tiệm cận toàn cục sau một thời gian xác định với các chỉ tiêu chất lượng: thời gian quá độ, độ quá chỉnh, số lần dao động đạt yêu cầu thiết kế;
- Kết quả mô phỏng phù hợp với các kết quả lý thuyết;
- Chất lượng điều khiển và thời gian đáp ứng của hệ thống phụ thuộc rất mạnh vào việc chọn các hệ số λ_0 . Khi tăng hệ số λ_0 , hàm ξ tiến đến giá trị xác lập nhanh hơn (9);
- Khi tăng hệ số λ_0 tức là tăng độ nhạy của hệ thống điều khiển, khi giảm hệ số ε_0 tức là giảm sai số $\vartheta - \vartheta_c$. Các giá trị này khi chọn phải nằm trong giới hạn cho phép để đảm bảo hệ thống làm việc hiệu quả.

5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phương pháp thích nghi theo tín hiệu đầu ra, các tác giả đã đề xuất tổng hợp bộ điều khiển cho kênh gât hệ tự lái TBB trong điều kiện chứa các tham số bất định. Kết quả theo lý thuyết cũng như mô phỏng đã chứng minh tính đúng đắn của phương pháp thiết kế, và là cơ sở cho các bước nghiên cứu chuyên sâu, cũng như áp dụng cho các đối tượng điều khiển thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Đức Cường (2002), "*Mô hình hóa và mô phỏng chuyển động của các khí cụ bay tự động*", NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội.
- [2]. Vũ Hòa Tiến (12-2010), "*Cơ sở thiết kế hệ thống điều khiển thiết bị bay*". Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [3]. Лебедев, А. А. "*Динамика полета беспилотных летательных аппаратов*" / А. А. Лебедев, Л. С. Чернобровкин. - М.: Машиностроение, 1973. 615с.
- [4]. Бобцов А.А. "*Алгоритмы адаптивного управления нелинейными динамическими объектами с неопределенностями по входу*". // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. №1.
- [5]. Бобцов А. "*А адаптивное и робастное управление неопределенными системами по выходу*". - СПб.: Наука, 2011. - 174 с.
- [6]. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. "*Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами*" / Серия "Анализ и синтез нелинейных систем"; под общей редакцией Леонова Г.А. и Фрадкова А.Л. - СПб.: Наука, 2000. - 549 с., ил. 82.

ABSTRACT

ADAPTIVE CONTROL FOR OUTPUT FOR CONTROLLING AERIAL VEHICLE

This paper describes an adaptive control system of an air vehicle's (AV) longitudinal motion. A nonlinear mathematical model of resilient aircraft's longitudinal motion is designed. The adaptive control system of a resilient AV is built by adaptive control for output. Simulation results confirm the effectiveness of this method in terms. The advantages and disadvantages of this method are compared with adaptive control systems based on plant state vector.

Keywords: Adaptive; Controller; Aerial Vehicle.

Nhận bài ngày 26 tháng 12 năm 2019

Hoàn thiện ngày 06 tháng 02 năm 2020

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 4 năm 2020

Địa chỉ: Viện Tên lửa, Viện KH-CN quân sự.

*Email: thanhnd37565533@gmail.com.