THIẾT KẾ VÀ TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO ĐỐI TƯỢNG BAY PHI TUYẾN CHỨA CÁC THAM SỐ BẤT ĐỊNH VÀ TRONG ĐIỀU KIỆN NHIỄU TÁC ĐỘNG

Nguyễn Đức Thành*

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu thuật toán tổng hợp bộ điều khiển thích nghi sử dụng hàm major cho đối tượng TBB phi tuyến có tính bất định trong điều kiện có nhiễu động gió. Kết quả khảo sát trên máy tính với mô hình TBB giả định cho thấy rằng, khi sử dụng bộ điều khiển này sẽ làm giảm đáng kể tác động của nhiễu gió nâng cao an toàn bay cho TBB và cải thiện được khả năng sử dụng TBB trong điều kiện có nhiễu động gió.

Từ khóa: Nhiễu động gió; Máy bay không người lái; Điều khiển phi tuyến; Điều khiển thích nghi.

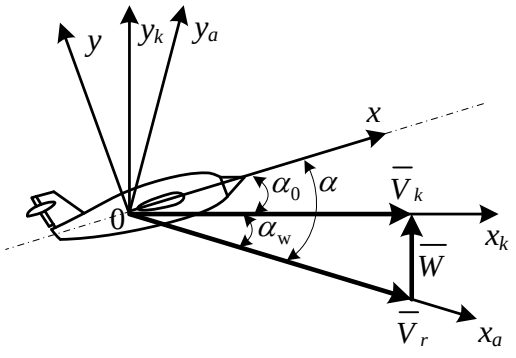
I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống tự lái của TBB trong thực tế là các hệ phi tuyến có chứa các thành phần tham số bất định. Các phương pháp thiết kế điều khiển truyền thống hầu hết dựa trên cơ sở lý thuyết điều khiển tuyến tính. Hệ thống được tuyến tính hoá tại lân cận điểm làm việc và bộ điều khiển được tổng hợp dựa trên mô hình tuyến tính đã được xấp xỷ hóa [3, 4]. Hiện nay, do yêu cầu nâng cao chất lượng điều khiển TBB, nâng cao hiệu quả, giảm tác động của nhiễu gió,… các nhà nghiên cứu quan tâm hơn đến lĩnh vực điều khiển phi tuyến thích nghi kết hợp bù khử tham số bất định. Trong bài báo này, tác giả sử dụng mô hình động học nguyên bản của TBB, là các mô hình phi tuyến, có tham số bất định để xây dựng hệ thống thích nghi.

Hiện nay, các công trình nghiên cứu điều khiển phi tuyến đang hướng đến phương pháp Backstepping [6], phương pháp trượt,... Các phương pháp này cho hiệu quả điều khiển cao, dễ thực hiện. Nhưng nhược điểm chung của các phương pháp điều khiển này là cần phải biến đổi mô hình phi tuyến về dạng chuẩn như dạng strict-feedback [6],... Và rất phức tạp khi thực hiện đối với đối tượng nhiều biến, phức tạp. Do đó, trong bài báo này đưa ra phương án xây dựng hệ thống thích nghi theo phương pháp sử dụng hàm major [2].

II. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC PHI TUYẾN CỦA TBB KHI ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỄU GIÓ

1. Đánh giá ảnh hưởng của nhiễu gió đến TBB



Hình 1. *Ảnh hưởng của gió đến góc tấn.*

Khi không có gió vecto không tốc $\overline{V}_r$ trùng với vecto địa tốc $\overline{V}_k$, TBB bay với góc tấn α_0. Khi có nhiễu động gió $\overline{V}_r$ lệch so với $\overline{V}_k$ một góc α_w (hình 1). Thông thường vecto gió $\overline{W}$ có hướng và cường độ tùy ý theo thời gian và trong không gian, tuy nhiên, thành phần gió thổi

thẳng đứng từ dưới lên có ảnh hưởng lớn nhất đến độ an toàn bay của TBB, trong phạm vi bài báo này chỉ xét gió thổi thẳng đứng từ dưới lên trong mặt phẳng đứng ($\theta_w = 90^o$).

Trong đó: *xOy* - Hệ tọa độ liên kết; x_kOy_k - Hệ tọa độ quỹ đạo; x_aOy_a - Hệ tọa độ tốc độ. Độ lớn của không tốc $\overline{V}$ và góc tấn công của TBB được xác định:

$$\begin{cases} V_r = \sqrt{V_k^2 + W_{y_g}^2}; \\ \alpha = \alpha_0 + \alpha_w; \alpha_w = \text{arctg}(W/V_k) \approx W/V_k. \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: α là góc tấn công của TBB; α_0 là góc tấn công ban đầu khi chưa có tác động của nhiễu gió; α_w là góc tấn công khi tính đến ảnh hưởng của nhiễu gió. Vậy, khi có nhiễu động gió tác động làm cho góc tấn α và không tốc V_r của UAV thay đổi dẫn tới lực khí động X_a ,Y_a và mô men chúc ngóc M_z thay đổi, do đó, theo (4) dẫn tới tốc độ góc ω_z sẽ thay đổi.

Ta nhận được thành được hệ phương trình phi tuyến khi tính đến ảnh hưởng của nhiễu gió [4]:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \dfrac{P\sin\alpha + Sqc_y(\alpha)}{mV_k} - \dfrac{g}{V_k}\cos\theta; \\ \dot{\alpha} = \dfrac{g}{V_k}\cos\theta - \dfrac{P\sin\alpha + Sqc_y(\alpha)}{mV_k} + \omega_z + W(t); \\ \dot{\omega}_z = \dfrac{Sqb_a m_z(\alpha)}{J_z} + \dfrac{M_{z_{\omega_z}}}{J_z}\omega_z + \dfrac{M_{z_{\delta_B}}}{J_z}\delta_B, \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: V_k - Vận tốc của TBB trong hệ tọa độ mặt đất; ϑ,θ - Góc gật, góc nghiêng quỹ đạo, góc tấn công của TBB. V là địa tốc của TBB; mg là trọng lực của TTB; *P* là lực đẩy động cơ; *S* là diện tích đặc trưng của TBB; J_z là mô men quán tính theo trục z; Y_a là lực nâng; *q* là khối lượng riêng không khí; X_a, Y_a lần lượt là thành phần lực cản, lực nâng; m_z là hệ số mô men theo trục z; $W(t)$ - Nhiễu gió đứng.

Theo [1] các hệ số khí động được biểu diễn dưới dạng:

$$\begin{aligned} c_y(\alpha) &= c_{y0} + c_{y1}\alpha + c_{y2}\alpha^2 + c_{y3}\alpha^3; \\ m_z(\alpha) &= m_{z0} + m_{z1}\alpha + m_{z2}\alpha^2 + m_{z3}\alpha^3. \end{aligned} \quad (3)$$

2. Tổng hợp hệ thống điều khiển kênh gật TBB

Sau đây sẽ tiến hành xây dựng thuật toán điều khiển tuyến tính modal [2] và thuật toán điều khiển thích nghi.

2.1. Xây dựng bộ điều khiển tuyến tính modal

Để xây dựng bộ điều khiển tuyến tính modal, thực hiện tuyến tính hóa (3) [4]; Nhận được các xấp xỉ sau:

$$\frac{g}{V_k}\cos\theta \approx \frac{g}{V_k}\ ;\ c_y(\alpha) \approx c_{y_\alpha}\alpha\ ;\ m_z(\alpha) \approx m_{z_\alpha}\alpha \quad (4)$$

Trong đó: c_{y_α} - Thành phần đạo hàm của lực nâng theo góc tấn công α;

m_{z_α} - Thành phần đạo hàm của mô men theo trục z theo góc tấn công α.

Khi đó, hệ (2) nhận được có dạng sau:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \dfrac{P + c_{y_\alpha} qS}{mV_k}\alpha; \\ \dot{\alpha} = -\dfrac{P + c_{y_\alpha} qS}{mV_k}\alpha + \omega_z; \\ \dot{\omega}_z = \dfrac{Sqb_a m_{z\alpha}}{J_z}\alpha + \dfrac{M_{z_{\omega_z}}}{J_z}\omega_z + \dfrac{M_{z_{\delta_B}}}{J_z}\delta_B. \end{cases} \quad (5)$$

Biểu diễn hệ (5) dưới dạng phương trình trạng thái:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_0\mathbf{x} + \mathbf{b}_0 u;\ y = \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}, \quad (6)$$

Trong đó: $\mathbf{x} = \left(\theta\ \alpha\ \omega_z\right)^{\mathrm{T}}$; $\mathbf{A}_0$, $\mathbf{b}_0$, $\mathbf{c}$ là ma trận hằng số, có dạng sau:

$$\mathbf{A}_0 = \begin{pmatrix} 0 & a_{y_\alpha} & 0 \\ 0 & -a_{y_\alpha} & 1 \\ 0 & a_{z_\alpha} & a_{z_{\omega_z}} \end{pmatrix};\ \mathbf{b}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a_{z_{\delta_B}} \end{pmatrix};\ \mathbf{c} = \begin{pmatrix} k_c & 0 & 0 \end{pmatrix}^{\mathrm{T}}, \quad (7)$$

Theo [1,2], ta có các hệ số khí động:

$$a_{y_\alpha} = \frac{P + c_{y_\alpha} qS}{mV_k};\ a_{z_\alpha} = \frac{Sqb_a m_{z_\alpha}}{J_z};\ a_{z_{\omega_z}} = \frac{M_{z_{\omega_z}}}{J_z};\ a_{z_{\delta_B}} = \frac{M_{z_{\delta_B}}}{J_z};$$

$u = \delta_B + u_л$; k_c là hệ số hàm truyền của góc nghiên quỹ đạo θ. δ_B là góc lệch cánh lái độ cao.

Theo [12], Bộ điều khiển tuyến tính modal sẽ có dạng:

$$u_л = \mathbf{k}^{\mathrm{T}}\mathbf{x} = k_1\theta + k_2\alpha + k_3\omega_z, \quad (8)$$

Trong đó, $\mathbf{k} = \left(k_1 k_2 k_3\right)^{\mathrm{T}}$ - Vecto hệ số phản hồi ngược theo các biến trạng thái.

Đa thức đạc trưng của hệ có dạng:

$$\varphi_{\text{зам}}^{\text{сист}}\left(\lambda\right) = \det\left(\mathbf{A}_0 + \mathbf{b}_0\mathbf{k}^{\mathrm{T}} - \lambda\mathbf{E}\right), \quad (9)$$

$\mathbf{E}$ - Ma trận đơn vị.

Thế $\mathbf{A}_0$, $\mathbf{b}_0$ và biến đổi (9) ta nhận được dạng sau đây:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{зам}}^{\text{сист}}\left(\lambda\right) = -\lambda^3 + \left(-a_{y_\alpha} + a_{z_{\omega_z}} + a_{z_{\delta_B}}k_3\right)\lambda^2 + \\ \left(a_{z_\alpha} + a_{y_\alpha}a_{z_{\omega_z}} + a_{z_{\delta_B}}k_2 + a_{y_\alpha}a_{z_{\delta_B}}k_3\right)\lambda + a_{y_\alpha}a_{z_{\delta_B}}k_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Chọn đa thức đặc trưng mong muốn của của hệ (5):

$$\varphi_{\text{жел}}\left(\lambda\right) = \lambda^3 + 3\omega_0\lambda^2 + 3\omega_0^2\lambda + \omega_0^3. \quad (11)$$

Trong đó: ω_0 là điểm cực mong muốn của hệ thống điều khiển kín, có dạng: $\lambda_{1,2,3} = -\omega_0$,

So sánh (10), (11), nhận được hệ phương trình đại số để xác định các hệ số phản hồi hồi ngược k_1, k_2, k_3.

$$\begin{cases} -a_{y_\alpha} + a_{z_{\omega_z}} + a_{z_{\delta_B}}k_3 = -3\omega_0; \\ a_{z_\alpha} + a_{y_\alpha}a_{z_{\omega_z}} + a_{z_{\delta_B}}k_2 + a_{y_\alpha}a_{z_{\delta_B}}k_3 = -3\omega_0^2; \\ a_{y_\alpha}a_{z_{\delta_B}}k_1 = -\omega_0^3. \end{cases} \quad (12)$$

Giải hệ phương trình (12) trên, ta nhận được vec tơ hệ số khuếch đại $\mathbf{k} = \left(k_1\, k_2\, k_3\right)^{\mathrm{T}}$. Từ đó xác định được tín hiệu điều khiển dạng (8).

2.2. Xây dựng hệ thống thích nghi theo phương pháp hàm Major

Để xây dựng thuật toán thích nghi sử dụng hàm Major. Viết lại (3) dưới dạng:

$$c_y(\alpha) = c_{y0} + f_1(\alpha)\alpha; m_z(\alpha) = m_{z0} + f_2(\alpha)\alpha. \tag{13}$$

Trong đó: $f_1(\alpha) = c_{y1} + c_{y2}\alpha + c_{y3}\alpha^2$; $f_2(\alpha) = m_{z1} + m_{z2}\alpha + m_{z3}\alpha^2$.

Thế (13) vào (2). Sau khi biến đổi ta nhận được hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = -\dfrac{g}{V_k}\cos\theta + \dfrac{P + f_1(\alpha)qS}{mV_k}\alpha + \dfrac{c_{y0}qS}{mV_k}; \\ \dot{\alpha} = \dfrac{g}{V_k}\cos\theta - \dfrac{P + f_1(\alpha)qS}{mV_k}\alpha + \omega_z + W(t) - \dfrac{c_{y0}qS}{mV_k}; \\ \dot{\omega}_z = \dfrac{f_2(\alpha)qSb_a}{J_z}\alpha + \dfrac{M_{z_{\omega_z}}}{J_z}\omega_z + \dfrac{M_{z_{\delta_B}}}{J_z}\delta + \dfrac{m_{z0}qSb_a}{J_z}. \end{cases} \tag{14}$$

Sử dụng các ký hiệu sau:

$$f_1'(\alpha) = \frac{P + f_1(\alpha)qS}{mV_k}; f_2'(\alpha) = \frac{f_2(\alpha)qSb_a}{J_z}; a_{z_\alpha} = \frac{M_{z_\alpha}}{J_z}; a_{z_{\omega_z}} = \frac{M_{z_{\omega_z}}}{J_z}; a_{z_{\delta_B}} = \frac{M_{z_{\delta_B}}}{J_z};$$

$$R_1 = \frac{c_{y0}qS}{mV_k}; R_2 = W(t) - \frac{c_{y0}qS}{mV_k}; R_3 = \frac{m_{z0}qSb_a}{J_z}; d = \frac{g}{V_k}.$$

Thay các ký hiệu trên vào (14) nhận được hệ sau:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = -d\cos\theta + f_1'(\alpha)\alpha + R_1; \\ \dot{\alpha} = d\cos\theta - f_1'(\alpha)\alpha + \omega_z + R_2; \\ \dot{\omega}_z = f_2'(\alpha) + a_{z_{\omega_z}}\omega_z + a_{z_{\delta_B}}\delta_B + R_3. \end{cases} \tag{15}$$

Đặt $\theta = x_1; \alpha = x_2; \omega_z = x_3$, $y = \theta = x_1$. Viết lại (15) dưới dạng ma trận:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u + \mathbf{f}_1\varphi(\mathbf{x}) + \mathbf{f}_2,\ y = \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}, \tag{16}$$

Biểu diễn hệ dưới dạng ma trận trạng thái:

$$\mathbf{A}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} 0 & f_1'(\mathbf{x}) & 0 \\ 0 & -f_1'(\mathbf{x}) & 1 \\ 0 & f_2'(\mathbf{x}) & a_{z_{\omega z}} \end{pmatrix}; \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a_{z_{\delta_B}} \end{pmatrix}; \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}; \mathbf{c} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\mathrm{T}}; \mathbf{f}_1 = \begin{pmatrix} -d \\ d \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{f}_2 = \left[R_1\, R_2\, R_3\right]^T; \varphi(\mathbf{x}) = \cos x_1, u = u^0 + u_{\text{л}} + u_{\text{A}}.$$

Trong đó, $u^0 = \delta_B^0$ - Tín hiệu điều khiển theo chương trình; $u_{\text{л}}$, u_A là tín hiệu điều khiển theo phương pháp thích nghi và điều khiển tuyến tính modal. Chọn hàm tăng có dạng [2]:

$$f_1^* = x_1; f_2^* = x_2^2, f_3^* = 1. \tag{17}$$

Do vậy, tín hiệu điều khiển sẽ có dạng sau [2]

$$u_{\text{A}} = \mathbf{k}_{\text{A}}^{\mathrm{T}} diag\left\{f_r^*\right\}_1^3 \hat{\mathbf{x}} + k_b u^0. \tag{18}$$

Trong đó, $\mathbf{k}_{\mathbf{A}}(t) = \left(k_{1\text{A}}, k_{2\text{A}}, k_{3\text{A}}\right)$ - Ma trận vevec tơ hệ số; k_b là hệ số điều chỉnh đầu vào

(18), $\mathbf{x} = (\theta, \alpha, \omega_z)^{\mathrm{T}}$. Thuật toán thích nghi có dạng:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{k}}_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T}} = -\gamma_{\mathrm{A}} \mathbf{b}_{\mathrm{M}}^{\mathrm{T}} \mathbf{P} \hat{\mathbf{e}} \hat{\mathbf{x}}^{\mathrm{T}} diag\{f_r\}_1^3 - \lambda_{\mathrm{A}} \mathbf{k}_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T}}; \\ \dot{\mathrm{k}}_b = -\gamma_b \mathbf{b}_{\mathrm{M}}^{\mathrm{T}} \mathbf{P} \hat{\mathbf{e}} u^0 - \lambda_b k_b, \end{cases} \quad (19)$$

Trong đó: $\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_{\mathrm{M}}$ - Vec to sai số . $\gamma_{\mathrm{A}}, \lambda_{\mathrm{A}}, \gamma_{\mathrm{b}}, \lambda_{\mathrm{b}}$ - Các hệ số khuếch đại dương.

III. MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Chọn các tham số mô phỏng của TBB có chiều dài: *2707 mm*; Khối lượng: *56.5 Kg*; Diện tích cánh: *1.05 m*^{2}; Sải cánh: *3000 mm*; Dây cung khí động trung bình: *350 mm*; Các hệ số khếch đại $\lambda_{\mathrm{A}} = 500, \lambda_{\mathrm{b}} = 500, \gamma_{\mathrm{A}} = 0.01, \gamma_{\mathrm{b}} = 0.01$

Kết quả khảo sát khi sử dụng gió JAR-VLA với biên độ W_0=7.62 m/s, quy mô nhiễu động L=50m, 30m. thời gian có nhiễu động gió từ t = 6.3s đến t = 25s.

Cho các tham số: $c_{y0} = 0.0704; c_{y1} = 5.9134; c_{y2} = 0.0057; c_{y3} = -0.0115.$

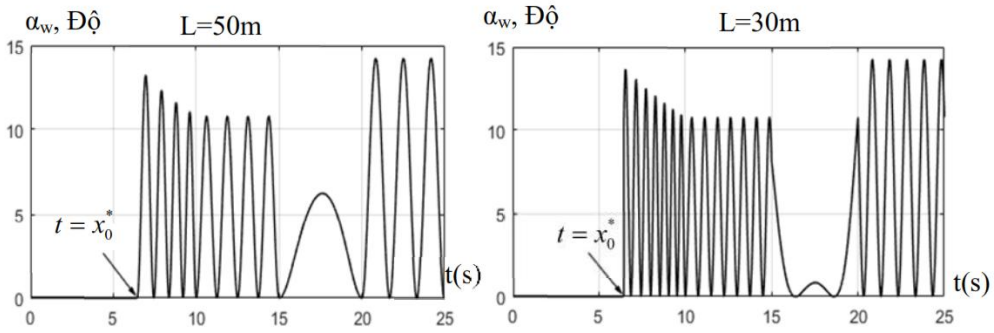
$$m_{z0} = 0.017; m_{z1} = -0.4515; m_{z2} = -0.001; m_{z3} = 0.003.$$

Mô hình gió JAR-VLA áp dụng cho mô phỏng có dạng như sau [5]:

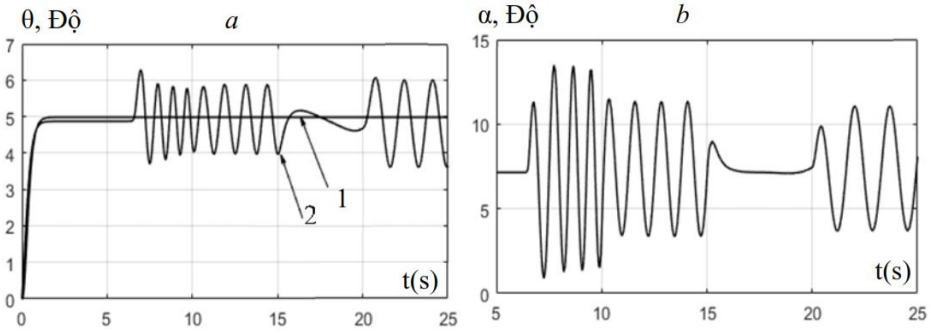
$$\mathrm{W}_y = \frac{\mathrm{W}_0}{2}\left(1 - \cos\frac{2\pi\left(x_o - x_o^*\right)}{L}\right) \quad (20)$$

Trong đó, $\left(x_o - x_o^*\right)$ – Quãng đường bay được của TBB từ khi có gió, m; *L* - Quy mô gió, m; W_0 – Biên độ gió, m/s.

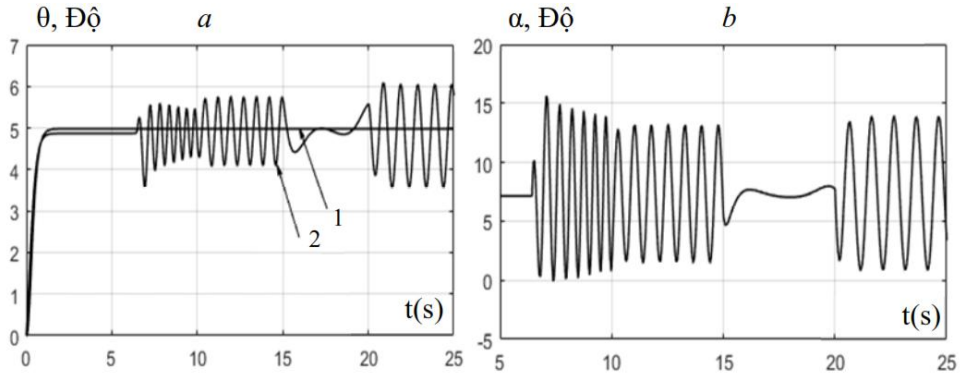
Kết quả mô phỏng khi cho các tham số đầu vào L=50m, 30m. Và vận tốc TBB thay đổi. Nhiễu gió được thể hiện trên hình 2 dưới dạng góc tác động lên góc tấn của TBB.



Hình 2. *Mô hình của nhiễu gió khi L=50m, 30m.*



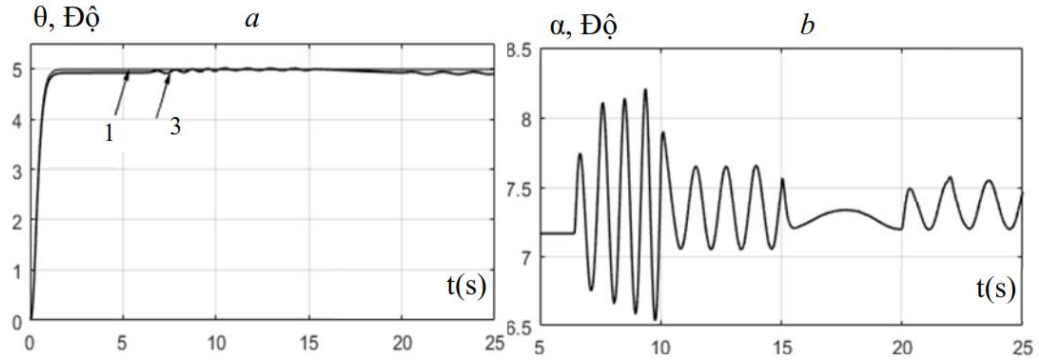
Hình 3. *Phản ứng của góc θ, α khi L = 50м.*



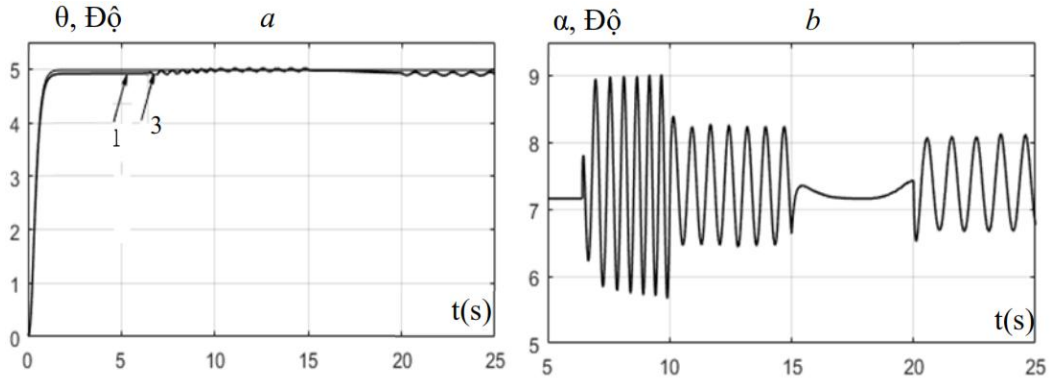
Hình 4. *Phản ứng của góc θ, α khi L = 30м.*

Hình 3, 4 biểu diễn phản ứng của các góc θ, α khi cho nhiễu gió tác động có quy mô L = 50m, 30m, khi sử dụng bộ điều khiển tuyến tính modal. Trong hình ký hiệu 1 - Tín hiệu của mô hình mẫu, 2 - Phản ứng của góc thực θ của TBB.

Trên hình vẽ 3,4 nhận thấy rằng, khi cho tác động của nhiễu gió đứng, trong trường hợp quy mô nhiễu gió L = 50m, 30m, tín hiệu thực θ bám theo tín hiệu mẫu (hình 3a, 4a), tuy nhiên, biên độ nhiễu lớn và góc tấn α tăng lên đáng kể ($\alpha=15^0$) (hình 3b, 4b) có thể dẫn tới mất an toàn bay cho TBB.



Hình 5. *Phản ứng của góc θ, α khi L = 50м.*



Hình 6. *Phản ứng của góc θ, α khi L = 30м.*

Hình 5, 6 biểu diễn phản ứng của các góc θ, α khi cho L = 50m, 30m sử dụng bộ điều khiển thích nghi với hàm Major. Trong hình ký hiệu 1- Tín hiệu của mô hình mẫu, 3- Phản ứng của góc thực θ.

Trên hình vẽ 5,6 nhận thấy rằng, khi cho tác động của nhiễu gió đứng, trong trường hợp quy mô nhiễu gió L = 50m, 30m, tín hiệu thực θ bám theo tín hiệu mẫu (hình 5a, 6a) so với bộ điều khiển tuyến tính modal biên độ nhiễu giảm đáng kể và góc tấn α nằm trong giới hạn cho phép ($\alpha=9^0$) (5b, 6b) với kết quả này sẽ đảm bảo nâng cao được độ an toàn của TBB khi có nhiễu động gió.

IV. KẾT LUẬN

Khi sử dụng thuật toán thích nghi sẽ giảm được đáng kể ảnh hưởng của nhiễu động gió đến góc tấn của TBB, nâng cao độ an toàn bay của TBB trong điều kiện có nhiễu động gió và tăng tuổi thọ cho TBB. Đồng thời, với bộ điều khiển trên cho phép mở rộng được khả năng sử dụng TBB trong điều kiện có nhiễu động gió mạnh với quy mô nhiễu động L < 50m.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Đức Cương (2002), *Mô hình hóa và mô phỏng chuyển động của các khí cụ bay tự động,* NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội.

[2]. Путов В.В., Шелудько В.Н. *"Адаптивные и модальные системы управления многомассовыми нелинейными упругими механическими объектами"//* СПб.: Элмор, 2007 **- 243 с.**

[3]. Vũ Hỏa Tiễn (2010), *Cơ sở thiết kế hệ tự động ổn định trên lửa*, Học viện KTQS, Hà Nội.

[4]. Ю.П. Доброленский, *Динамика полета в неспокойной атмосфере*, М. 1969, Изд. Машиностроение.

[5]. JAR-VLA: Joint Airworthiness Requirements for very light aeroplanes, 1990.

[6]. Nguyễn Công Định, Đàm Hữu Nghị, Nguyễn Văn Quảng, *Tổng hợp điều khiển chuyển động của tên lửa dựa trên phương pháp phi tuyến backstepping/*Tạp chí KHKT& CNQS (Viện KHKT&CNQS), số 16, tháng 9/2006.

ABSTRACT

DESIGNING AND SYNTHESIZING ADAPTIVE CONTROLLER FOR A INDEFINITE NONLINEAR OBJECTS UAV IN TURBULENCE CONDITIONS

In this paper, an algorithm that synthesizes an adaptive controller of Major function for an indefinite nonlinear object "UAV" to control the UAV flying in turbulence conditions is introduced. Investigation results on the computer with a hypothetical UAV model show that the application of an adaptive control algorithm according to effective turbulence was much reduced to enhance flight safety for UAV. In addition, it can widen the application ability of UAV in turbulence conditions.

Keywords: Wind turbulence; UAV; Adaptive control; Speep-gradient algorithm.

Nhận bài ngày 10 tháng 4 năm 2020
Hoàn thiện ngày 06 tháng 8 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 12 năm 2020

Địa chỉ: Viện Tên lửa, Viện KH-CN quân sự.
*Email: thanhnd37565533@gmail.com.