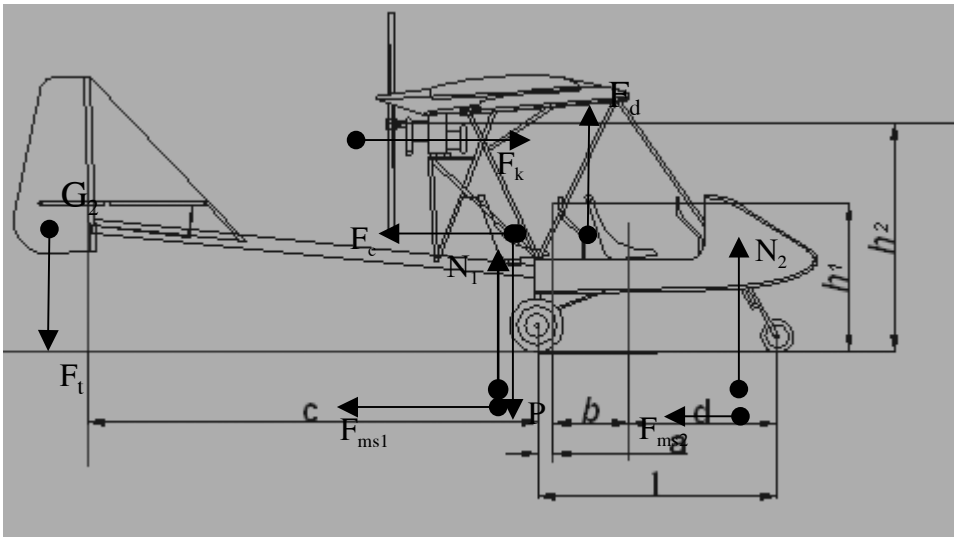
KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG LẤY ĐÀ CỦA MÁY BAY

ĐỖ SANH, ĐINH VĂN PHONG, LÊ QUANG, ĐỖ ĐĂNG KHOA, NGUYỄN TUẤN ANH

I. MỞ ĐẦU

Quá trình cất cánh sẽ được chia làm 4 giai đoạn: chạy đà, chuẩn bị chúc ngóc, chúc ngóc và bay lên. Trong khuôn khổ bài báo nhóm nghiên cứu đã dựa vào các yêu cầu của từng giai đoạn để xây dựng các phương trình động lực học từ đó cho phép tính toán một số thông số cơ bản như: thời gian và quãng đường cất cánh… ở 3 gi ai đoạn đầu. Trong giai đoạn đầu chuyển động máy bay được xây dựng mô hình vật rắn chuyển động tịnh tiến thẳng theo đường băng chưa có tác động của lực khí động do đuôi ngang gây ra. Trong giai đoạn thứ hai, máy bay chuyển động phẳng đồng thời chịu tác dụng của lực khí động do đuôi ngang gây ra. Trong giai đoạn thứ ba máy bay, với bánh trước đã rời đất và hai bánh sau vẫn chạm đất và bài toán được xây dựng theo mô hình chuyển động phẳng hai bậc tự do.

II. CÁC THÔNG SỐ VÀ KÍ HIỆU



Hình 1. Mô hình máy bay chạy trên đường băng

Xét mô hình máy bay chạy trên đường băng (hình 1), ta sử dụng các kí hiệu sau:

- t_1 và S_1 lần lượt là thời gian và quãng đường máy bay chạy trên đường băng đến khi đạt được vận tốc cất cánh. Trong giai đoạn này đuôi lái ngang ở vị trí 0°.

- t_2 và S_2 lần lượt là thời gian và quãng đường máy bay chạy trên đường băng từ lúc phi công điều chỉnh đuôi lái ngang đến khi hai bánh trước rời đường băng.

- t_3 và S_3 lần lượt là thời gian và quãng đường ứng với giai đoạn từ lúc bánh trước rời đường băng đến khi hai bánh sau rời đường băng.

- l là khoảng cách giữa hai trục bánh trước và sau.

- a là khoảng cách từ trọng tâm đến trục bánh sau.

- b là khoảng cách từ tâm lực đẩy đến trọng tâm máy bay.

- c là khoảng cách từ tâm khí động đuôi ngang đến trục bánh sau.

- d là khoảng cách từ tâm lực đẩy của máy bay đến trục bánh trước.

- h_1 là khoảng cách từ tâm lực kéo đến mặt đường băng

- h_2 là khoảng cách từ trọng tâm máy bay đến mặt đường băng

- m là khối lượng cất cánh của máy bay.

- J_C là momen quán tính của máy bay đối với trục quay khối tâm và vuông góc với mặt phẳng chứa phương trọng trường và trục dọc thân máy bay.

- T là lực đẩy của động cơ.

- L là lực nâng của máy bay.

- D là lực cản khí động.

- N_1, N_2 lần lượt là các phản lực pháp tuyến ở bánh sau và bánh trước máy bay đối với mặt đường.

III. KHẢO SÁT TỪNG GIAI ĐOẠN

1. Giai đoạn chạy đà

Ở giai đoạn này, máy bay khởi động với công suất động cơ tối đa trên đường băng. Góc $\delta_e = 0°$ và góc tấn của cánh là $\alpha = 5°$.

Phương trình chuyển động của máy bay là

$$m\frac{dv}{dt} = T - D - F_{ms} \tag{3.1}$$

trong đó: Lực ma sát: $$F_{ms} = \frac{k}{r}(P - L)\,. \tag{3.2}$$

Với r là bán kính của bánh xe, k là hệ số ma sát lăn, P là trọng lượng máy bay, $L = 0.5\rho_z S C_L v_p^2$.

Lực đẩy động cơ: $T = 2303 - 11,267v$;

Lực cản khí động: $D = 0,5\rho_z S C_z v_p^2$

trong đó: $\rho_z = \frac{20 - z}{20 + z}.1,225$, z là độ cao khối tâm máy bay, $\rho_0 = 1,225$.

Tích phân phương trình (3.1) với điều kiện đầu v(0) = 0 ta sẽ có:

$$v = F_1(t). \tag{3.3}$$

Thời gian t_1 để máy bay đạt vận tốc cất cánh (v_{cc}) được tính:

$$v_{CC} = F_1(t_1). \tag{3.4}$$

Để xác định quãng đường đi được của máy bay ứng với thời gian t_1: ta tích phân phương trình:

$$\frac{dx}{dt} = F_l(t)\,. \tag{3.5}$$

Từ đây nhận được:

$$x = x_1(t_1)\,. \tag{3.6}$$

Quãng đường lấy đà của máy bay ứng với thời gian t_1 là

$$S_1 = x_1(t_1). \tag{3.7}$$

2. Giai đoạn 2

Khi máy bay đạt vận tốc cất cánh v_{CC}, phi công điều khiển thay đổi góc tấn của cánh lái độ cao (elevator). Lúc đó phương trình chuyển động của máy bay có dạng (3.1) nhưng trong đó lực ma sát cần được tính theo biểu thức:

$$F_{ms} = \frac{k}{r}(P + F_l - L) \tag{3.8}$$

trong đó: F_l là lực khí động do đuôi ngang tạo ra, $F_l = 0.5\rho_z S_t \frac{\pi}{180} 3{,}62.\alpha_t v_p{}^2$; S_t: diện tich tham chiếu đuôi ngang, α được tính bằng độ.

Để nhận được điều kiện bánh trước rời đường băng, ta tính biểu thức của phản lực pháp tuyến của bánh trước do tác dụng của đường băng. Muốn thế đặt lực quán tính và sử dụng phương pháp tĩnh hình học - động lực. Lực quán tính có biểu thức $\vec{F}^{qt} = -m\frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{T} + \vec{D} + \vec{F}_{ms}$.

Từ phương trình momen lực đối với điểm I_1, ta tính được:

$$N_2 = \frac{1}{l}(P.a + T.h_2 - L.b - F_l.c - D.h_1 - F^{qt}.h_1). \tag{3.9}$$

Trong đó các lực khí động được tính toán với góc tấn của cánh elevator $\delta_e = \delta_e^* = 10°$. Cho triệt tiêu phản lực N_2, từ phương trình:

$$P.a + T.h_2 - L.b - F_l.c - D.h_1 - F^{qt}.h_1 = 0 \tag{3.10}$$

ta tính được vận tốc $v_2 = v_2^*$ của máy bay lúc bánh trước rời đường băng.

$$v_2^* = v_2(t_2). \tag{3.11}$$

Để tính khoảng thời gian t_2 từ khi phi công thay đổi góc tấn của cánh elevator đến khi bánh trước của máy bay rời đường băng ta tìm nghiệm phương trình (3.10). Khó khăn khi tích phân phương trình này là thông số điều khiển góc δ_e là đại lượng thay đổi tuỳ thuộc vào sự điều khiển của người phi công. Cho đến nay theo chúng tôi được biết chưa có một tài liệu nào ít nhất là ở Việt nam, đưa ra qui luật thay đổi này. ở đây các tác giả đề nghị luật điều khiển có dạng:

$$\delta_e = \frac{v - v_{cc}}{v_2^* - v_{cc}}.\delta_e^* \tag{3.12}$$

trong đó δ_e^* là giá trị thông số điều khiển ứng với thời điểm t_2, tức là thời điểm bánh trước rời đường băng. Lấy $\delta_e = 10°$. Tích phân phương trình (3.9) với δ_e tính như biểu thức (3.12) với điều kiện đầu $v_{(0)} = v_{cc}$ ta nhận được:

$$v_2 = f_2(t). \tag{3.13}$$

Từ phương trình trên ta tính được thời gian t_2 từ lúc góc tấn của elevator bắt đầu thay đổi đến khi bánh trước rời đường băng:

$$v_2^* = f_2(t_2) \tag{3.14}$$

trong đó v_2^* là nghiệm của (3.10).

Để tính đoạn đường máy bay chạy trên đường băng trong khoảng thời gian t_2 ta tích phân phương trình:

$$\frac{dx}{dt} = f_2(t) \tag{3.15}$$

với điều kiện đầu x(o) = 0.

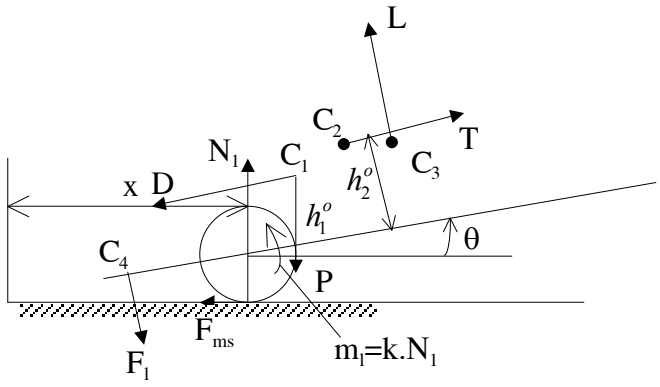
Gọi nghiệm của phương trình là: $x = x_2(t)$.

Quãng đường của máy bay chuyển động trong giai đoạn này là

$$S_2 = x_2(t_2). \tag{3.16}$$

3. Giai đoạn 3

Giai đoạn này máy bay chúc ngóc, bánh trước rời mặt đất, và máy bay chạy trên đường băng với hai bánh sau. Như vậy phản lực đường băng lên máy bay chỉ còn phản lực N_1. Trong giai đoạn này, máy bay chuyển động với hai bậc tự do. Chọn các tọa độ suy rộng là x và θ. Trong đó x là thông số xác định vị trí tâm của bánh xe sau dọc đường băng, θ: góc chúc ngóc (giữa đường thân máy bay và phương ngang)



Hình 2

Biểu thức động năng của máy bay sẽ được viết như sau:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2}mv_c^2 + \frac{1}{2}J_c\dot{\theta}^2 \\ &= \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}\left[J_c + m.(a^2 + h_1^{o2})\right]\dot{\theta}^2 - m.(a\sin\theta + h_1^o\cos\theta)\dot{x}\dot{\theta} \end{aligned} \tag{3.17}$$

trong đó J_c: là momen quán tính của máy bay đối với trục thẳng góc mặt phẳng chứa phương trọng trường và trục dọc máy bay.

Lực suy rộng ứng với các toạ độ suy rộng x và θ sẽ là:

$$\begin{aligned} Q_x &= (T - D)\cos\theta + (F_l - L)\sin\theta - \frac{k}{r}N_1 \\ N_1 &= P + (F_l - L)co\,s\theta + (D - T)\sin\theta - ma(\sin\theta.\ddot{\theta} + \cos\theta.\dot{\theta}^2) \\ Q_\theta &= D.c + L.b + D.h_1^o - T.h_2^o - P.(a\cos\theta - h_1^o\sin\theta) \end{aligned} \tag{3.18}$$

Phương trình chuyển động của máy bay có dạng

$$m\ddot{x} - m(a\sin\theta + h_1^o\cos\theta)\ddot{\theta} - m(a\cos\theta - h_1^o\sin\theta)\dot{\theta}^2 = (T-D)\cos\theta + (F_l - L)\sin\theta - \frac{k}{r}N_1 \quad (3.19)$$

$$-m(a\sin\theta + h_1^o\cos\theta)\ddot{x} + \left[J_c + m(a^2 + h_1^{o2})\right]\ddot{\theta} = F_l.c + L.b + D.h_1^o - T.h_2 - P(a\cos\theta - h_1^o\sin\theta)$$

Tích phân hệ phương trình trên với điều kiện đầu:

$$x(0) = 0;\ \dot{x}(0) = v_2^*;\ \theta(0) = 0;\ \dot{\theta}(0) = 0$$

ta có: $x_3 = x_3(t)$; $\theta = \theta(t)$.

Để tìm điều kiện bánh sau rời đường băng (tức là bắt đầu chuyển sang giai đoạn bay lên) ta tính phản lực N_1 giữa bánh sau và đường băng và cho triệt tiêu phản lực này.

Theo đó, ta viết phương trình chuyển động khối tâm theo phương đứng:

$$m.\ddot{y}_c = N_1 + L\cos\theta - P - F_l\cos\theta + T\sin\theta - D\sin\theta \quad (3.20)$$

trong đó:
$$\ddot{y}_c = a\cos\theta.\ddot{\theta} - h_1^o\sin\theta.\ddot{\theta} - (a\sin\theta + h_1^o\cos\theta)\dot{\theta}^2 . \quad (3.21)$$

Từ đây ta nhận được:

$$N_1 = m\left[(a\cos\theta - h_1^o s\sin\theta)\ddot{\theta} - (a\sin\theta + h_1^o\cos\theta)\dot{\theta}^2\right] + (F_l - L)\cos\theta + (D-T)\sin\theta . \quad (3.22)$$

Điều kiện bánh sau rời đường băng là $N_1 = 0$.

Thay nghiệm của (3.19) và các đạo hàm vào phương trình (3.22), ta có được

$$N_1(t) = G(t) = 0. \quad (3.23)$$

Từ (3.23) ta tính được khoảng thời gian t_3 kể từ khi bánh trước rời đường băng đến thời điểm bánh sau rời đường băng. Gọi T là khoảng thời gian từ khi máy bay bắt đầu chuyển động trên đường băng đến khi máy bay rời hoàn toàn đường băng:

$$T = t_1 + t_2 + t_3. \quad (3.24)$$

Còn S là tổng quãng đường của 3 giai đoạn:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (3.25)$$

với $S_3 = x_3(t_3)$.

IV. MỘT SỐ KẾT QUẢ

Áp dụng tính toán cho ba giai đoạn trên với các số liệu cụ thể sau [4]: L = 1,827 m, a = 0,037 m, b = 0,37 m, c = 2,893 m, d = 1,457 m, $h1$ = 0,73 m, $h2$ = 1,69 m, m = 470 kg, J = 623 kgm^2, g = 9,81 m/s^2, v_2 = 22,711 m/s, $\alpha_0 = 10.0^0$. Ta thu được kết quả như sau:

Trong giai đoạn 1, giai đoạn chạy đà:

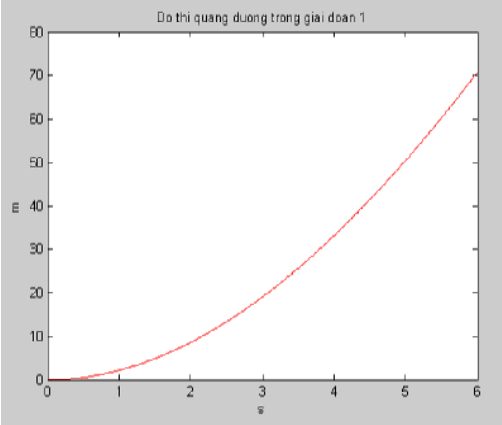
- Thời gian chạy đà: 5,3994 s;
- Vận tốc cất cánh: 20 m/s;
- Quãng đường đi được của máy bay: 58,234 m.

Đồ thị quãng đường và vận tốc của máy bay trong giai đoạn 1 được thể hiện trên đồ thị hình 4, 5.

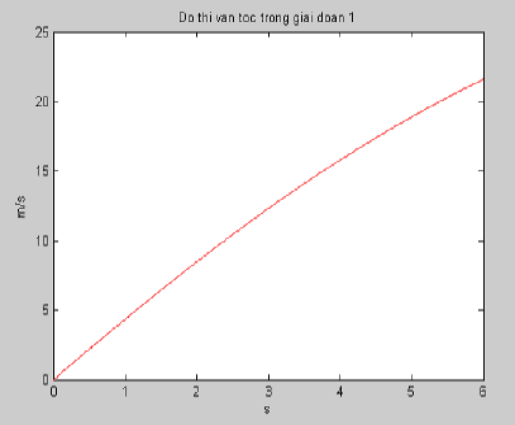
Trong giai đoạn 2, giai đoạn chuẩn bị chúc ngóc, ta có:

- Thời gian chạy: 1.041 s;
- Vận tốc cuối giai đoạn: 22.711 m/s;
- Quãng đường chạy được: 22.267 m;

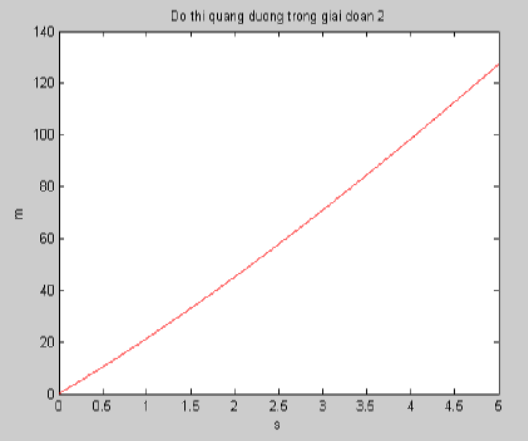
Các đồ thị quãng đường và vận tốc của máy bay trong giai đoạn 2 được thể hiện trên hình 6, 7.



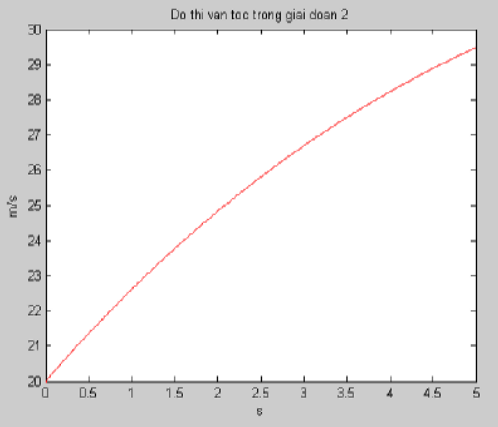
Hình 4



Hình 5



Hình 6

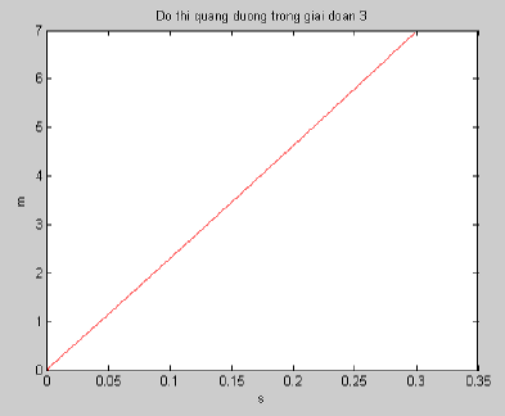


Hình 7

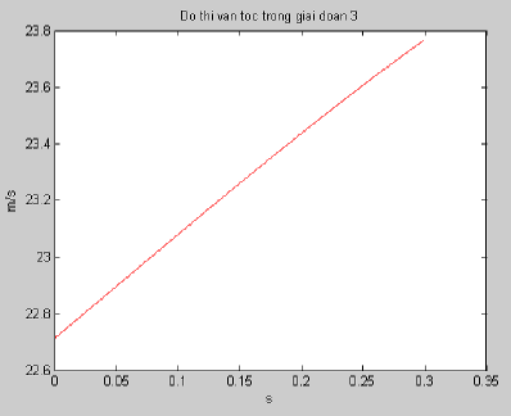
Trong giai đoạn 3, giai đoạn chúc ngóc, ta có:

- Thời gian chạy: 0.19597 s;
- Vận tốc cuối giai đoạn: 23.42 m/s;
- Quãng đường chạy được: 4.5206 m;
- Góc xoay θ: 0.027339 rad;
- Vận tốc góc $\dot{\theta}$: 0.28945 rad/s.

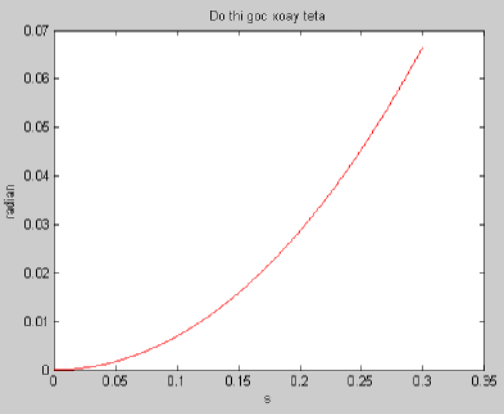
Các đồ thị quãng đường, vận tốc, góc xoay và phản lực pháp tuyến bánh trước được thể hiện trên hình 8, 9, 10, 11.



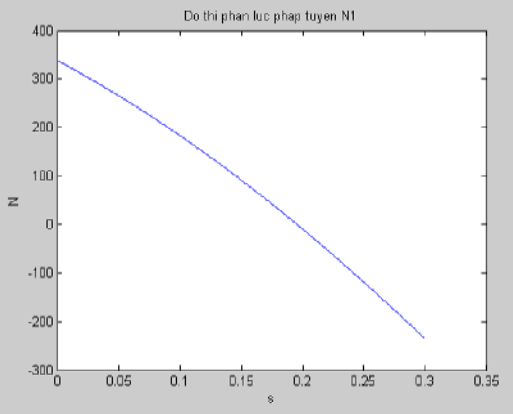
Hình 8



Hình 9



Hình 10



Hình 11

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu quá trình xây dựng một phương pháp khảo sát chuyển động của máy bay trong giai đoạn chạy lấy đà trên đường băng. Phương pháp được áp dụng khảo sát chuyển động của máy bay VAM 1 và các kết quả nhận được khá sát với các thông số của VAM 1 đã được công bố. Thêm vào đó một kết quả đáng chú ý là qui luật điều khiển (3.12) được đề xuất trong công trình này đã được khẳng định qua bài toán được khảo sát.

Công trình được hoàn thành với sự tài trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản trong Khoa học tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A.C. KERMODE C - Mechanics of flight, 1995.
2. ENSMA - Quanlité du vol, Poitier, 1996.
3. D. Robert and C. Nelson - Flight Stability and automatic control (Edition, United State), 2000.
4. Viện nghiên cứu và phát triển công nghệ mớI - Tính toán kiểm nghiệm máy bay VAM 1, Hội Cơ học Việt Nam, 2004 .

SUMMARY

INVESTIGATION OF AIRCRAYFT TAKE-OFF PERIOD

For the first study of the designing process of superlight planes, the paper presents a method to study the take-off period. This period is divided into 4 regimes: Run-up, Pre-lift up, lift- up, and take-off. In the paper, we build dynamical equations for the first 3 regimes based on each regime's conditions. By that we can calculate some parameters such as: speed, time of take-off ... . The result is compared with data of VAM1.

Địa chỉ:

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Nhận bài ngày 12 tháng 4 năm 2004