



NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC NÂNG CỦA TÀU ĐỆM KHÍ

Lê Văn Dương^{1*}, Nguyễn Viết Tân², Nguyễn Duy Đạt³, Hoàng Văn Huân⁴

Tóm tắt: Tàu đệm khí là phương tiện chuyển động trên gối khí, có thể di chuyển trên cạn và dưới nước để vận chuyển con người, hàng hóa, trang bị kỹ thuật. Bài viết xây dựng lý thuyết nghiên cứu động lực học nâng của tàu đệm khí. Trên mô hình xây dựng đi khảo sát các thông số động lực học nâng của tàu đệm khí trong sự phụ thuộc vào các thông số hình học và thông số làm việc của nó.

Từ khóa: Tàu đệm khí; động lực học nâng; áp suất đệm khí; thông số động lực học.

Study of the heave dynamics of air cushion vehicles

Abstract: Air cushion vehicles are moving vehicles which work based on air cushion. They have ability to operate over ground and sea to transport people, goods and technical equipment. This article presented the theory of the investigation of the heave dynamics of air cushion vehicles. In the modeling the heave dynamics was chosen to research the dynamic parameters of the air cushion vehicles depend on the geometry parameters and working parameters.

Keywords: Air cushion vehicles; heave dynamics; cushion pressure; dynamic parameters.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 13/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 13, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Mở đầu

Giảm sức cản, cải thiện hệ thống động lực để nâng cao tốc độ di chuyển của tàu thuyền là yêu cầu quan trọng của bài toán thiết kế. Lực cản thủy động là nguyên nhân chính hạn chế tốc độ chuyển động của tàu thuyền. Lực cản này có thể được giảm tối thiểu khi giảm thể tích choán nước đến giá trị nhỏ nhất bằng cách sử dụng một lớp đệm khí ở giữa phần thân tàu và mặt nước [1,2]. Vì vậy, tàu đệm khí (Hovercrafts - Air Cushion Vehicles - ACV) đã ra đời. Sau gần 300 năm phát triển, ngày nay ACV đã phát triển mạnh mẽ và được sử dụng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới phục vụ các mục đích thương mại, du lịch, quân sự...

Việt Nam có hệ thống sông ngòi và biển đảo khá lớn, việc sử dụng các loại ACV cỡ vừa và nhỏ là phù hợp và cấp thiết. ACV có thể được sử dụng trong vận chuyển hành khách, tuần tra hay vận tải trong quân sự, cứu hộ cứu nạn. Với các ưu điểm nổi trội về tốc độ, tính cơ động, khả năng làm việc trên nhiều địa hình, không cần bến bãi, việc thiết kế, chế tạo thành công ACV không những đáp ứng được những nhu cầu trong nước mà còn mở ra cơ hội thương mại trên thế giới. Gần đây, tại Việt Nam đã có một số công trình, kết quả nghiên cứu về ACV như của kỹ sư Qua Xa Khánh, kỹ sư Hà Trọng Phát nhưng chưa có thiết kế cụ thể mà chỉ tiến hành đóng theo mẫu. Trường Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh đã nghiên cứu và chế tạo thử nghiệm ACV loại nhỏ có 3 chỗ ngồi, tốc độ trung bình đạt từ 25-30 km/giờ [3]. Đây có thể nói là ACV đầu tiên được chế tạo tại Việt Nam.

Trong bài báo này, tác giả trình bày lý thuyết xây dựng mô hình nghiên cứu động lực học nâng của ACV. Trên cơ sở mô hình xây dựng đi khảo sát các thông số động lực học nâng của ACV "Neoteric Hover-trek" đang được sử dụng tại Lữ Công binh 249 - Bộ Tư lệnh Công binh.



2. Xây dựng mô hình khảo sát động lực học nâng của ACV

Giả thuyết xây dựng mô hình. Trong quá trình làm việc, ACV chịu tác động của rất nhiều các yếu tố bên ngoài như tác động của sóng, gió, khí động học... Tuy nhiên, trong xây dựng mô hình và khảo

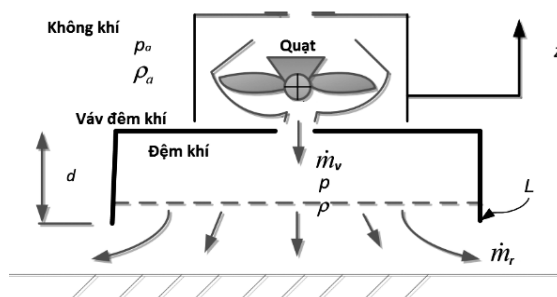
¹TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

³ThS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

⁴ThS, Cục Kỹ thuật Binh chủng, Bộ Tư lệnh Công binh.

*Tác giả chính. E-mail: leduong145@gmail.com.

sát động lực nâng của ACV, để đơn giản hóa ta giả thiết: ACV hoạt động trên bề mặt phẳng, mịn, chỉ dao động nâng lên và hạ xuống, tàu có trục đối xứng theo chiều dọc, trọng tâm trục nằm trên trục này; Dòng khí di chuyển ổn định từ quạt, qua đệm khí và thoát ra ngoài không khí; Các dao động với tần số kích thích xảy ra khi giả định không khí được tạo ra theo vùng không gian có thể nén được; Dòng khí thoát khỏi đệm được tuân theo nguyên lý dòng khí chảy qua lỗ; Trọng tâm và diện tích mặt cắt ngang của đệm khí không phụ thuộc vào cấu trúc linh hoạt của vảy khí (vảy khí có thể mở rộng để làm tăng lượng khí trong đệm khí); Sự thổi khí vào đệm khí được giả thiết là dưới tốc độ âm thanh và nén theo nguyên lý Entropi. Hơn nữa, sự cân bằng nhiệt động xảy ra ở trong đệm khí; Bỏ qua các lực tác dụng của gió, sóng vào ACV trong mô hình xây dựng.



Hình 1. Mô hình khảo sát động lực học hệ thống nâng ACV

Xây dựng mô hình khảo sát động lực học nâng của ACV. Xây dựng mô hình động lực học nâng của ACV trên cơ sở nguồn động lực nâng ACV lên bằng 1 quạt nâng, quạt quay đẩy vào đệm khí lượng không khí có khối lượng m_v , khi hoạt động ổn định ACV có khối lượng M được nâng nhờ đệm khí có độ cao d phía dưới thân, lượng không khí thoát ra khỏi vảy đệm khí qua các khe hở có khối lượng m_r . Khi đó, với các giả thiết trên, mô hình khảo sát động lực học hệ thống nâng ACV được thể hiện trên Hình 1.

Đối với mô hình trên, trong quá trình làm việc, sử dụng định luật 2 Newton viết phương trình chuyển động của ACV theo phương thẳng đứng, ta có:

$$M\ddot{z} = (\rho - \rho_a)A - Mg \quad (1)$$

trong đó: M là khối lượng ACV (kg); $\ddot{z}$ là gia tốc nâng theo phương thẳng đứng (m/s^2); ρ là áp suất khí bên trong đệm khí (Pa); ρ_a là áp suất không khí (Pa); A là diện tích mặt cắt ngang đệm khí (m^2); g là gia tốc trọng trường (m/s^2).

Khối lượng không khí trong đệm khí được xác định theo công thức:

$$m = \rho V, [\text{kg}] \quad (2)$$

trong đó: ρ là khối lượng riêng của không khí trong đệm khí (kg/m^3); V là thể tích đệm khí và được xác định:

$$V = A(z + d), [\text{m}^3] \quad (3)$$

$$A = l_x b_x, [\text{m}^2] \quad (4)$$

trong đó: l_x và b_x là chiều dài và chiều rộng của vảy đệm khí, thông thường có thể lấy: $l_x = 2b_x$.

Mặt khác, giả sử vảy đệm khí có hình dạng xung quanh là hình chữ nhật, khi đó chu vi của đệm khí L được tính theo công thức:

$$L = 2(l_x + b_x) = 3l_x, [\text{m}] \quad (5)$$

Từ (4) và (5) suy ra: $l_x = \frac{L}{3}$, $b_x = \frac{L}{6}$. Khi đó, thế vào (4) ta được:

$$A = \frac{L^2}{18}, [\text{m}^2] \quad (6)$$

Thế (6) vào (3) ta được:

$$V = \frac{L^2}{18} (z + d), [\text{m}^3] \quad (7)$$

Khi đó, phương trình (1) có thể viết dưới dạng:

$$\ddot{z} = \frac{L^2}{18M} (\rho - \rho_a) - g \quad (8)$$

Phương trình cân bằng khối lượng không khí trong đệm khí:

$$m = m_v - m_r, [\text{kg}] \quad (9)$$

Do không khí trong đệm khí có sự thay đổi liên tục cả về thể tích và khối lượng riêng của nó theo thời gian, lấy đạo hàm theo thời gian hai vế của phương trình (2) ta được:



$$\dot{m} = \dot{\rho}V + \rho\dot{V} \quad (10)$$

Mối quan hệ của áp suất và khối lượng riêng của không khí bên trong đệm khí theo nguyên lý Entropi:

$$p\rho^{-\gamma} = \text{const} \quad (11)$$

$$p = \rho RT \text{ hay } \rho = p/RT \quad (12)$$

trong đó: $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ là số mũ đoạn nhiệt; R là hằng số khí, $R = 287 \left(\frac{m^2}{s^2 K} \right)$; T là nhiệt độ bên trong đệm khí (°K).

Đạo hàm hai vế của phương trình vi phân (11) theo thời gian ta được:

$$\dot{p}\rho^{-\gamma} - p\gamma\dot{\rho}\rho^{-\gamma-1} = 0 \text{ hay } \dot{\rho} = \frac{\rho\dot{p}}{\gamma p} \quad (13)$$

Lấy đạo hàm hai vế của phương trình (9) theo thời gian, sau đó thế các phương trình (10) và (13) vào ta được:

$$\frac{\rho\dot{V}\dot{p}}{\gamma p} + p\dot{V} = \quad (14)$$

trong đó: $\dot{m}_v$ và $\dot{m}_r$ là lưu lượng khí vào và ra đệm khí (kg/s).

Mặt khác, trong đệm khí ta có:

$$\dot{V} = A\dot{z} \quad (15)$$

Thế vào phương trình (12) và (15) vào phương trình (14) ta được:

$$\frac{V\dot{p}}{\gamma RT} + \frac{pA\dot{z}}{RT} = \dot{m}_v - \dot{m}_r \quad (16)$$

$$\Rightarrow \dot{p} = \frac{\gamma RT}{V} (\dot{m}_v - \dot{m}_r - \frac{pA\dot{z}}{RT}) \quad (17)$$

Phương trình Becnuly đối với hai bề mặt khí:

$$\frac{v^2}{2} + \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} = \text{const} \quad (18)$$

Từ phương trình trên, áp dụng đối với mặt cắt bên trong đệm khí ($v_1=0$, $p_1=p$) và mặt cắt bên ngoài đệm khí ($v_2=v_r$, $p_2=p_a$), ta có:

$$v_r = \left[\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(\frac{p}{\rho} - \frac{p_a}{\rho_a} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Mối quan hệ của ρ_a và p được xác định theo nguyên lý Entropi:

$$\frac{\rho_a}{\rho} = \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (20)$$

Thế phương trình (20) vào phương trình (19) ta được:

$$v_r = \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} \left[1 - \left(\frac{p_a}{\rho_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

Lưu lượng khí thoát khỏi đệm khí được xác định theo công thức:

$$\dot{m}_r = \rho_a A_e v_r \quad (22)$$

trong đó: A_e là diện tích khí thoát ra, $A_e = Lz$;

Thay (21) và $\rho_a = \frac{p_a}{RT}$ vào (22) ta được:

$$\dot{m}_r = \rho_a Lz \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} \left[1 - \left(\frac{p_a}{\rho_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Thế (20) vào (23) ta được:

$$\dot{m}_r = \rho \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} Lz \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} RT \left[1 - \left(\frac{p_a}{\rho_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_r = \rho Lz \sqrt{RT} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left[1 - \left(\frac{p_a}{\rho_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_r = \frac{\rho RT}{\sqrt{RT}} Lz \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Cuối cùng, lưu lượng khí thoát ra khỏi đệm khí xác định theo phương trình:

$$\dot{m}_r = \frac{pLz}{\sqrt{RT}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Phương trình này có thể chính xác hơn bằng cách thêm vào một hệ số c_0 để tính đến sự sai lệch do lý tưởng hóa mô hình, hệ số c_0 có thể xác định bằng thực nghiệm [4,5]. Vì vậy, lưu lượng khí thoát ra khỏi đệm khí theo phương trình (27) có thể viết thành:

$$\dot{m}_r = \frac{c_0 pLz}{\sqrt{RT}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

Thế phương trình (7) và phương trình (28) vào phương trình (17) ta nhận được:

$$\dot{p} = \frac{\gamma RT}{\frac{L^2}{18}(z+d)} \left\{ \dot{m}_v - \frac{c_0 pLz}{\sqrt{RT}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} - \frac{pL^2 \dot{z}}{18RT} \right\} \quad (29)$$

Như vậy, ta thu được hệ phương trình mô tả các thông số động lực học nâng của ACV bao gồm hai phương trình phi tuyến (8) và (29) và được thể hiện như sau:

$$\begin{cases} \ddot{z} = \frac{L^2}{18M}(p - p_a) - g \\ \dot{p} = \frac{\gamma RT}{\frac{L^2}{18}(z+d)} \left\{ \dot{m}_v - \frac{c_0 pLz}{\sqrt{RT}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} - \frac{pL^2 \dot{z}}{18RT} \right\} \end{cases} \quad (30)$$

Để giải hệ phương trình (30) ta sử dụng phương pháp Ranger-Kutta.

Nếu đặt: $x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [z \ \dot{z} \ p]^T$

Khi đó, hệ phương trình vi phân (30) trở thành:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{L^2}{18M}(x_3 - p_a) - g \\ \dot{x}_3 = \frac{\gamma RT}{\frac{L^2}{18}(x_1+d)} \left\{ \dot{m}_v - \frac{c_0 Lx_1x_3}{\sqrt{RT}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p_a}{x_3} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{x_3} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} - \frac{L^2x_2x_3}{18RT} \right\} \end{cases} \quad (31)$$



3. Kết quả khảo sát và nhận xét

Trong phần này, tác giả đi khảo sát các thông số động lực học nâng của ACV “Neoteric Hovertrek” đang được sử dụng tại Lữ công binh 249 - Bộ Tư lệnh Công binh, với các thông số đầu vào như sau: Tổng khối lượng của ACV (bao gồm cả tải trọng bản thân và tải trọng của người và hàng hóa chuyên chở), $M = 885 \text{ kg}$; $L = 9,4 \text{ m}$; $m_v = 90 \text{ kg/s}$; $R = 287 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; $\gamma = 1,4$; $T = 293 \text{ K}$; $d = 0,22 \text{ m}$; $p_a = 1,013.105 \text{ N/m}^2$; $\rho_a = 1,205 \text{ kg/m}^3$; $c_0 = 0,95$; $v_0 = 20 \text{ m/s}$.

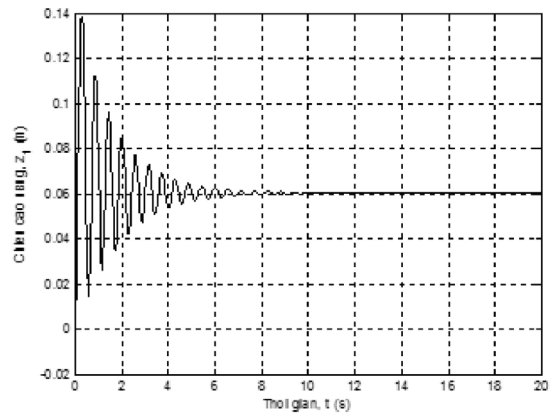
Thay các giá trị trên vào và giải hệ phương trình vi phân (31) để khảo sát các thông số động lực học nâng của ACV “Neoteric Hovertrek”, kết quả thu được là sự thay đổi của chiều cao nâng, vận tốc nâng và áp suất đệm khí trong khoảng thời gian $t = 20 \text{ s}$ được thể hiện lần lượt trên Hình 2, 3 và 4 tương ứng.

Trên Hình 2 thể hiện sự phụ thuộc của chiều cao nâng vào thời gian tính từ thời điểm khởi động máy. Từ đồ thị Hình 2 nhận thấy rằng, khi bắt đầu khởi động, chiều cao nâng của ACV nhanh chóng được đẩy lên vị trí cao nhất, nguyên nhân là do khi đó toàn bộ vảy đệm khí vẫn nằm sát bề mặt di chuyển dẫn đến khoang đệm khí là khoang kín, chính vì vậy toàn bộ lượng khí được bơm xuống khoang đệm khí từ cánh quạt gần như chỉ có tác dụng nâng ACV lên.

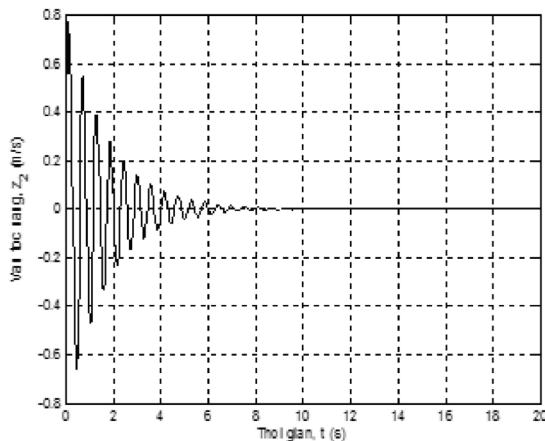
Chiều cao nâng đạt giá trị lớn nhất là xấp xỉ $0,14 \text{ m}$. Khi ACV được nâng lên cao, vảy đệm khí sẽ thoát khỏi bề mặt di chuyển, khi đó lượng khí trong khoang đệm khí sẽ thoát ra bên ngoài xung quanh ACV thông qua các khe hở của vảy đệm khí. Kết quả là áp suất không khí trong đệm giảm xuống nhanh chóng và dẫn đến chiều cao nâng của ACV giảm. Chu trình tiếp tục lặp lại, tuy nhiên biên độ dao động của chiều cao nâng giảm dần theo thời gian và đạt ổn định sau khoảng 10 s . Giá trị chiều cao nâng ổn định của ACV là $0,06 \text{ m}$.

Trên Hình 3 thể hiện sự phụ thuộc của vận tốc nâng vào thời gian. Tương tự như sự thay đổi chiều cao nâng, từ đồ thị Hình 3 nhận thấy rằng, vận tốc nâng khi bắt đầu khởi động tăng lên nhanh chóng và đạt giá trị lớn nhất. Vận tốc nâng đạt giá trị lớn nhất là xấp xỉ $0,8 \text{ m/s}$. Tương ứng với quá trình ACV hạ xuống nhanh chóng khi đạt chiều cao nâng lớn nhất thì vận tốc nâng-hạ của ACV cũng giảm nhanh chóng và đạt giá trị âm. Chu trình tiếp tục lặp lại, tuy nhiên biên độ dao động của vận tốc nâng giảm dần theo thời gian và đạt ổn định (vận tốc bằng 0) sau khoảng 10 s .

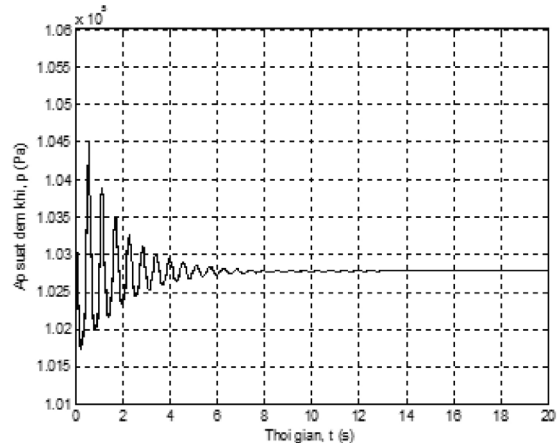
Trên Hình 4 thể hiện sự phụ thuộc của áp suất đệm khí vào thời gian. Tại thời điểm ban đầu, áp suất đệm khí chính bằng áp suất của không khí. Khi khởi động, không khí từ quạt nâng được bơm vào khoang đệm khí, áp suất trong khoang đệm khí tăng lên. Tuy nhiên, khi áp suất trong khoang đệm khí vừa bắt đầu tăng lên thì ACV cũng bắt đầu được nâng lên, khí trong đệm khí bắt đầu thoát ra bên ngoài xung quanh ACV qua các khe hở của vảy đệm khí, áp suất đệm khí giảm một cách nhanh chóng và đạt giá trị áp suất nhỏ



Hình 2. Chiều cao nâng ACV



Hình 3. Vận tốc nâng ACV



Hình 4. Áp suất đệm khí

nhất và xấp xỉ bằng $1,017 \times 10^5$ Pa. Khi ACV bắt đầu hạ xuống, khe hở thoát khí giảm dần, áp suất của đệm khí bắt đầu tăng và đạt giá trị lớn nhất xấp xỉ $1,045 \times 10^5$ Pa. ACV lại tiếp tục nâng lên, chu trình lặp lại, tùy nhiên biên độ dao động của áp suất đệm khí giảm dần theo thời gian và đạt giá trị ổn định xấp xỉ $1,028 \times 10^5$ Pa sau khoảng 10 s.

Từ kết quả khảo sát sự thay đổi chiều cao nâng, vận tốc nâng và áp suất đệm khí của ACV có thể nhận thấy rằng, khi bắt đầu khởi động, động cơ dẫn động làm quay quạt nâng, một lượng không khí lớn được bơm xuống khoang đệm khí tạo ra áp suất lớn để nâng ACV. Tuy nhiên, trong giai đoạn này áp suất không khí trong đệm khí là rất lớn và không ổn định, có sự dao động lớn. Chính vì vậy dẫn đến chiều cao nâng và vận tốc nâng ACV cũng thay đổi và có sự dao động lớn, không ổn định. Nguyên nhân có thể do không khí chưa phân bố đều khắp khoang đệm khí và váy đệm khí được chế tạo từ các vật liệu mỏng, dẻo và chúng đang dính vào nhau dẫn đến các lỗ thoát khí từ đệm khí ra ngoài chưa được mở hết và áp suất trong khoang đệm khí vẫn còn trong giai đoạn thay đổi, điều chỉnh để đạt được giá trị hợp lý đảm bảo ACV nâng ở một độ cao ổn định. Kết quả khảo sát là hoàn toàn phù hợp với thực tế vận hành và khởi động ACV “Neoteric Hovertrak” tại Lữ đoàn Công binh 249 - Bộ Tư lệnh Công binh.



4. Kết luận

Trên cơ sở cấu tạo và nguyên lý làm việc của ACV, bài báo đã xây dựng được mô hình và đưa ra hệ phương trình vi phân khảo sát các thông số động lực học nâng của ACV với một số giả thuyết ban đầu được đưa ra. Ngoài ra, bài báo đã khảo sát các thông số động lực học như chiều cao nâng, vận tốc nâng và áp suất đệm khí trong giai đoạn khởi động của ACV “Neoteric Hovertrak” đang được sử dụng tại Lữ Công binh 249 - Bộ Tư lệnh Công binh. Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng tham khảo trong việc nghiên cứu, tính toán, thiết kế hệ thống động lực ACV, từ đó phục vụ bài toán tính toán thiết kế ACV loại vừa và nhỏ ở Việt Nam. Ngoài ra, kết quả khảo sát còn có thể sử dụng là cơ sở khoa học cho việc khai thác, sử dụng một ACV đảm bảo hiệu quả và an toàn trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

1. Liang Y., Alan B. (2000), *Theory and Design of Air Cushion Craft*, Arnold Publications.
2. Roy M. (1997), *Hovercraft and Hydrofoils*, Arco Publishing Company.
3. Lê Đình Tuấn, Trần Nguyễn Nguyên Khôi, Nguyễn Trí Dũng, Nguyễn Hữu Toàn (2009), “Các vấn đề chung về thiết kế tàu đệm khí và khả năng ứng dụng”, *Tạp chí Phát triển KH&CN*, 12(14):12-20.
4. Amyot J.R. (1989), “Hovercraft Technology Economics and Applications”, *Elsevier Studies in Mechanical Engineering*, 11, Elsevier Inc.
5. Nikseresht A.H., Alishahi M.M., Emdad H. (2008), “Complete flow field computation around an ACV (air-cushion vehicle) using 3D VOF with lagrangian propagation in computational domain”, *Computer and Structures*, (86):627-641.