

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ TỜI CỨU HỘ CÁ NHÂN

Dương Trường Giang^a, Nguyễn Văn Tịnh^{a,*}, Nguyễn Thiệu Trần Đăng^a

^aKhoa Cơ khí xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20/10/2020, Sửa xong 08/12/2020, Chấp nhận đăng 25/01/2021

Tóm tắt

Khi xảy ra sự cố trong các tòa nhà cao tầng, như cháy nổ bên trong toà nhà, cháy có thể chia cắt các tầng, dẫn đến thang máy, thang thoát hiểm bên trong không sử dụng được. Ở các thành phố lớn, đặc biệt là ở Việt Nam một số khu vực điều kiện kỹ thuật không đảm bảo cho lực lượng chữa cháy với phương tiện kỹ thuật chuyên nghiệp như xe thang không thể tiếp cận được. Việc phát triển thiết bị cứu hộ cá nhân để mỗi hộ gia đình sinh sống trong các tòa nhà cao tầng có thể tự trang bị và tự thoát hiểm là cần thiết. Trên cơ sở các nghiên cứu trước đó, bài báo đề xuất cấu tạo và nguyên lý làm việc của một bộ tời cứu hộ cá nhân, tính toán thiết kế và khảo sát các thông số động học chính trong quá trình làm việc. So với các thiết bị cứu hộ cá nhân khác về nguyên lý và cấu tạo, bộ tời đảm bảo kết cấu gọn và nhẹ, có cả hai chức năng nâng và hạ. Mặt khác nếu so sánh về công dụng thì bộ tời có thể được sử dụng như một thiết bị cứu hộ cá nhân đối với một người khỏe mạnh bình thường và nó cũng là một bộ phận của bộ tời đồng bộ khi kết hợp với giỏ thang và thang tháo lắp nhanh. Những kết quả khảo sát động lực học quá trình hạ trong bài báo đã đánh giá về độ an toàn và sự phù hợp của các thông số động học đối với người được cứu hộ khi sử dụng bộ tời thiết kế.

Từ khóa: cứu hộ; bộ tời; giỏ nâng; phanh an toàn; động lực học.

RESEARCH ON DESIGNING THE INDIVIDUAL RESCUE WINCH

Abstract

When an incident occurs in a high-rise building, such as a fire or explosion inside it, a fire can separate floors. The elevator and emergency staircase are unusable. In big cities, especially in Vietnam, the infrastructure of some areas does not ensure technical conditions for professional firefighting forces, and cannot be accessed by ladder trucks. The development of individual rescue equipment to each family living in it can equip and escape themselves is necessary. Based on the previous research, the article proposes the structure and working principle of the individual rescue winch. Design calculations and the consideration of kinematic parameters in its working process are presented. Compared with other individual rescue equipment in principle and structure, the winch ensures compact and light structure, has both lifting and lowering functions. On the other hand, in terms of utility, the winch can be used as one individual rescue equipment for a normal healthy person, and it is also part of the synchronous winch when combined with the basket and quick installation ladder. The dynamics investigation results of the lowering process in the paper show the safety and the suitability of dynamic parameters for the rescued humans when using the winch.

Keywords: rescue; winch; basket; safety brake; dynamics.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(1V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-11) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Xu hướng phát triển ở Việt Nam cũng như trên thế giới sẽ có nhiều nhà cao tầng được đầu tư xây dựng, dẫn tới các nguy cơ về mất an toàn do cháy nổ ngày càng gia tăng, gây thiệt hại nghiêm trọng

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: tinhnv@nuce.edu.vn (Tịnh, N. V.)

nếu không có biện pháp ứng phó kịp thời. Khi xảy ra sự cố trong các tòa nhà cao tầng, như cháy nổ bên trong tòa nhà, cháy có thể chia cắt các tầng, dẫn đến thang máy, thang thoát hiểm bên trong không sử dụng được. Một trong những phương án cứu hộ hiệu quả là sử dụng xe thang chuyên dụng của lực lượng chữa cháy và cứu hộ cứu nạn. Để công tác cứu hộ được hiệu quả, nhiều nghiên cứu nhằm khắc chế rung động trên giỏ thang cứu hộ, điều khiển chính xác vị trí và nâng cao khả năng làm việc của các xe thang đã được thực hiện [1–4]. Tuy nhiên, ở các thành phố lớn, cơ sở hạ tầng một số khu vực không đảm bảo điều kiện kỹ thuật cho các phương tiện cứu hộ chuyên nghiệp trên tiếp cận. Chính vì vậy nghiên cứu các thiết bị cứu hộ tại chỗ phục vụ cứu hộ cá nhân và các gia đình sinh sống trong tòa nhà được nhiều nhà khoa học và các doanh nghiệp quan tâm [5–13].

Ở Việt Nam trong [5, 6] đã chế tạo ống tuốt và đệm hơi, tời cứu hộ cá nhân cho công tác cứu hộ tòa nhà cao tầng khi xảy ra cháy nổ. Ống tuốt có ưu điểm là có thể sử dụng cho người già, phụ nữ có thai, cho phép cứu hộ lượng người lớn và tốn ít diện tích mặt bằng [5]. Tời cứu hộ cá nhân [6] là giải pháp sử dụng tang hoặc pully ma sát, người tụt xuống dạng người nhện (sử dụng bộ hạn chế tốc độ). Bộ tời trong [6] có các bộ phận cấu tạo theo các nguyên lý thiết kế nêu trong [14, 15] và không phụ thuộc nguồn năng lượng ngoài dẫn động. Tuy nhiên các thiết bị [5, 6] này đều tồn tại các nhược điểm như chỉ làm việc một chiều, ống tụt và đệm hơi trong [5] chỉ dành cho lực lượng chuyên nghiệp. Thiết bị cứu hộ [6] đòi hỏi kỹ năng sử dụng và giống như thang dây cá nhân là không phù hợp người già hay trẻ em do không trang bị giỏ nâng.

Trên thế giới các bộ tời cứu hộ có thể lắp đặt cố định trên công trình [6–8] hoặc cố định trên giỏ cứu hộ hoặc là túi cứu hộ cá nhân [9–13]. Hệ thống có tời nâng hạ [7, 8] được lắp đặt trên tòa nhà hay bên dưới hoặc loại di động, được đưa đến tòa nhà bằng lực lượng chuyên nghiệp khi cần. Các sáng chế trong [7, 8] dùng tời cáp thông thường với tang cuốn cáp sử dụng nguồn điện hoặc dẫn động bằng tay. Ưu điểm của phương án kể trên cho phép cứu hộ lượng người rất lớn (đặc biệt trong nghiên cứu [8]) cho phép cả người già và trẻ em, có thể di chuyển hai chiều. Tuy nhiên đây là tời cứu hộ và thiết bị dành cho lực lượng chuyên nghiệp, đắt tiền, cần nguồn năng lượng riêng cung cấp.

Sáng chế trong [9] sử dụng bộ truyền động bánh răng thanh răng và tời cuốn cáp. Tời cuốn cáp trong [9] được đặt trong giỏ nâng, khi hạ xuống bởi trọng lượng bản thân và người, hệ bánh răng ăn khớp với thanh răng liên động với cơ cấu phanh hãm an toàn. Sáng chế trong [10] sử dụng động cơ đốt trong dẫn động qua hệ truyền động bánh răng con ăn khớp thanh răng. Cả hai giải pháp này đều có ưu điểm là chuyển động được hai chiều, phù hợp nhiều đối tượng do có giỏ nâng, tuy nhiên cần nguồn năng lượng ngoài và yêu cầu có đường ray di chuyển tương đối phức tạp phải lắp đặt trước vào công trình. Sáng chế trong [11] là một thiết bị tời cứu hộ cá nhân, có các đai an toàn quàng vào phía trước người khi tụt xuống. Thiết bị trong [11] này sử dụng pully ma sát, một trong hai pully ma sát được gắn với bộ hạn chế tốc độ. Nguyên lý làm việc bộ tời của [11] tương tự [6] nhưng điều khiển tụt xuống thuận tiện hơn do được thiết kế là trang bị cá nhân, quá trình tụt xuống do trọng lượng bản thân của người. Các sáng chế trong [12] là sự kế thừa kết hợp các giải pháp đi trước [11], nhưng thiết bị cứu hộ này kết cấu dạng túi cứu hộ cá nhân bố trí sau lưng. Sáng chế về kết cấu trong [12] cho cả hai dạng nguyên lý làm việc của tời cứu hộ cá nhân là sử dụng pully ma sát và tang cuốn cáp, kết hợp với phanh tự động. Việc sử dụng pully ma sát có thể cho chiều cao nâng lớn, tuy nhiên kết cấu có nhiều chi tiết phức tạp [12], phải đảm bảo khả năng kéo của pully ma sát. Sáng chế trong [13] sử dụng một đường ray cố định lắp trên tường tòa nhà, ray cố định có gắn thanh răng, chuyển động trượt theo đường ray, bánh răng của thiết bị ăn khớp với ray và liên động với bộ phanh hãm. So với [11, 12] thì thiết bị trong [13] gọn nhỏ hơn do không sử dụng cáp với tang hay pully ma sát. Song, yêu cầu cần đường ray cố định vào công trình phức tạp. Đặc điểm chung các thiết bị cứu hộ cá nhân [11–13] này có ưu điểm gọn nhỏ, không cần nguồn năng lượng ngoài cung cấp, tuy nhiên chỉ chuyển động một

chiều và không phù hợp với người già, trẻ em.

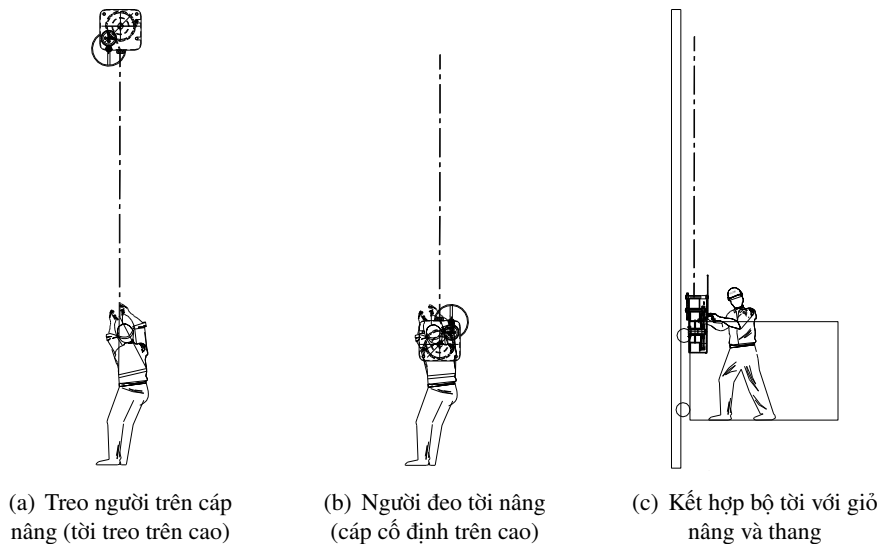
Như vậy việc nghiên cứu phát triển thiết bị cứu hộ cá nhân để có thể tự trang bị và tự thoát hiểm ở các tòa nhà cao tầng là rất cần thiết, đây cũng là sự quan tâm chung của rất nhiều nhà khoa học. Trên cơ sở các nghiên cứu trước đó, trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất một bộ tời cứu hộ cá nhân khắc phục các nhược điểm nêu trên. Bài báo sẽ trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc, tính toán thiết kế các thông số chính của bộ tời và khảo sát các thông số động học trong quá trình làm việc để đánh giá về độ an toàn và mức độ phù hợp đối với người được cứu hộ. Gia tốc hạ thỏa mãn các tiêu chí theo [16, 17] về khả năng chịu được của con người khi chịu dao động và sốc cơ học.

2. Đề xuất giải pháp cấu tạo bộ tời cứu hộ cá nhân

2.1. Yêu cầu chung

Sau khi phân tích đặc điểm làm việc các thiết bị cứu hộ của Việt Nam và trên thế giới trong Mục 1. Chúng tôi nhận thấy, để bộ tời cứu hộ có thể được sử dụng như một thiết bị cứu hộ cá nhân đối với một người khỏe mạnh bình thường (Hình 1(a) và Hình 1(b)) và nó cũng là một bộ phận của bộ cứu hộ đồng bộ khi kết hợp với giỏ nâng trượt trên thang dẫn hướng (thang có khả năng tháo lắp nhanh) khi sử dụng cứu hộ người già và trẻ em (Hình 1(c)), cần đáp ứng các yêu cầu sau:

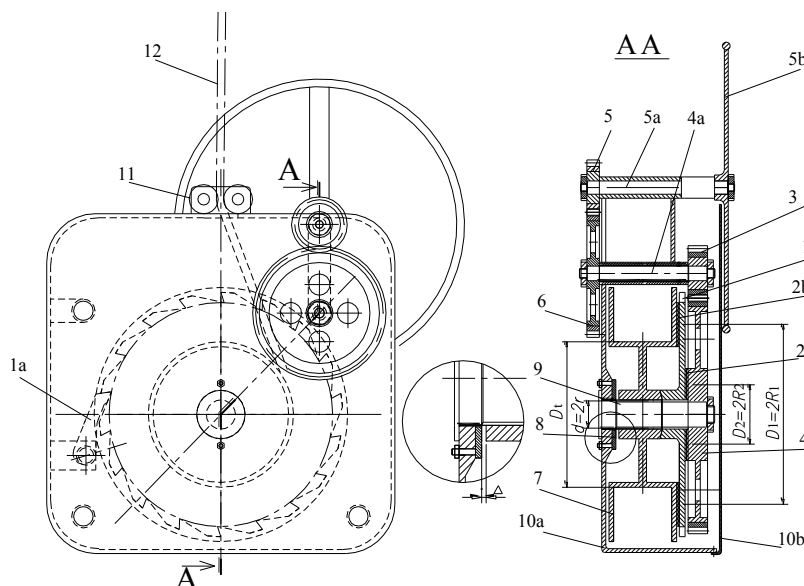
- Kết cấu tời nhỏ gọn, không chiếm không gian, thuận tiện lắp đặt vào giỏ nâng hoặc trang bị cá nhân.
- Bộ tời có trang bị phanh hãm, vận tốc nâng hay hạ theo điều khiển con người để phù hợp cho nhiều đối tượng cần cứu hộ như người già và trẻ em.
- Nguồn dẫn động cho bộ tời phải được duy trì đảm bảo trong điều kiện đặc biệt, không cần phải cấp năng lượng từ bên ngoài vào và phù hợp với sức người nếu dẫn động bằng tay.
- Bộ tời cho phép chuyển động hai chiều là hạ cứu hộ và nâng lên để thực hiện chu kỳ cứu hộ tiếp theo.
- Ray di chuyển tháo lắp nhanh là bộ phận độc lập với nguyên lý phanh hãm trong quá trình làm việc.



Hình 1. Các phương án sử dụng bộ tời cứu hộ cá nhân

2.2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Trên cơ sở tham khảo các nghiên cứu đi trước [6–14], bài báo đề xuất giải pháp cấu tạo bộ tời cứu hộ có kết cấu sử dụng tang và truyền động bánh răng, phanh tự động và tay quay (vô lăng) như Hình 2, giải pháp cấu tạo đảm bảo đáp ứng các yêu cầu Mục 2.1.



1- Bánh cóc; 1a- Con cóc; 2a, 2b- Mặt ma sát; 3, 4, 5, 6- Các bánh răng truyền động; 4a- Trục trung gian; 5a- Trục tay quay; 5b- Tay quay (Vô lăng); 7- Tang cuốn cáp; 8- Cũ điều chỉnh; 9- Trục ren vít; 10a, 10b- Vỏ tời; 11- Dẫn hướng; 12- Cáp nâng

Hình 2. Cấu tạo bộ tời cứu hộ

Phanh tự động trong bộ tời được cấu tạo bởi các chi tiết 1, 1a, 2a, 2b, 7, 8 và 9. Các mặt ma sát 2a và 2b được gắn tương ứng vào mặt ngoài gờ tang và bánh răng 4. Bánh cóc 1 ăn khớp với con cóc 1a và con cóc 1a gắn với vỏ cố định 10. Bánh cóc chỉ quay khi nâng và cho 7 quay khi nâng tải, còn khi hạ bị giữ bởi con cóc 1a. Hệ các bánh răng truyền động 3, 4, 5, và 6 có tỉ số truyền i , truyền chuyển động từ tay quay 5b tới tang 7. Nhờ có hệ bánh răng mà quay tay quay được nhẹ nhàng phù hợp với sức người. Tay quay 5b dùng để quay khi nâng và hạ. Khi không tác dụng lực vào tay quay thì tải nâng được giữ ở trạng thái treo. Tang 7 có moay-ơ với ren ăn khớp với ren của trục ren vít 9, tang cuốn cáp 7 là loại tang cuốn nhiều lớp. Trục 9 lắp bạc trượt với vỏ 10a theo dạng ngâm công xôn. Các lỗ trên vỏ dùng để lắp nhanh vào giỏ nâng hoặc cố định vào các đai cứu hộ trong trường hợp bộ tời là thiết bị cứu hộ cá nhân. Để làm giảm trọng lượng bộ tời thì tang 7, vỏ tời 10a, 10b và phần thân bánh răng truyền động làm bằng hợp kim nhôm. Tùy theo yêu cầu sử dụng mà ta cố định bộ tời vào giỏ nâng hay sử dụng như là bộ cứu hộ cá nhân và đầu cáp nâng cố định vào công trình.

Giữ tải ở trạng thái treo, dưới tác dụng của trọng lượng bản thân giỏ nâng và người tạo mô men trên tang 7 theo chiều hạ (trục 9 không quay). Do tang 7 ăn khớp với ren vít của trục 9 nên sẽ có xu hướng dịch sang phải và ép chặn vào bánh cóc 1. Bánh cóc không quay được do con cóc 1a giữ cố định nên tang không quay và tải được giữ lại ở trạng thái treo. Theo nguyên lý của phanh tự động, mô men phanh giữ ở các mặt ma sát 2a và 2b phụ thuộc vào tải trọng treo [14].

Hạ tải bằng cách quay nhẹ vô lăng 5b, qua hệ bánh răng 3, 4, 5, 6 làm quay trục 9. Khi trục 9 quay sẽ làm tang 7 dịch chuyển sang trái, tách các mặt ma sát 2a và 2b. Khi đó tang sẽ quay để hạ tải trọng

do trọng lượng bản thân giỏ nâng và người. Tốc độ quay của tang nhanh dần, đến khi lớn hơn tốc độ quay của trục 9 (do vô lăng 5b dẫn động) dẫn đến tang 7 tiến sang phải và các mặt ma sát 2a và 2b bị ép, tốc độ bị hãm lại và dừng (nếu không quay 5b tiếp). Tay quay 5b tiếp tục quay, quá trình hạ lại tiếp tục lặp lại chu kỳ chuyển động như trên.

Nâng tải bằng cách quay vô lăng 5b theo chiều nâng, qua bộ truyền bánh răng làm trục tang 9 quay, tang 7 dịch chuyển sang phải và ép vào bánh cóc 1 cùng với mặt ma sát 2a và 2b. Lúc này tang 7, bánh cóc 1, bánh răng 3 tạo thành một khối. Do con cóc 1a cho phép bánh cóc quay theo chiều nâng, nên tang cuốn cáp 7 quay sẽ nâng tải. Trường hợp dừng không quay thì toàn bộ tải trọng được giữ ở trạng thái treo.

Như vậy theo nguyên lý làm việc của bộ tời, tốc độ nâng hạ phụ thuộc vào tốc độ tay quay do người điều khiển. Khoảng dịch chuyển lớn nhất của tang so với bánh cóc được giới hạn bởi khe hở Δ và độ rộng của khe hở này có thể được điều chỉnh bởi chi tiết 8.

3. Tính toán thiết kế các thông số chính

Việc triển khai tính toán một số thông số chính làm cơ sở để thiết kế, khảo sát, đánh giá về độ an toàn và sự phù hợp của các thông số động học đối với người được cứu hộ. Các thông số thiết kế chính đề cập trong nghiên cứu này là thông số hình học tang cuốn cáp 7, lực quay tay quay 5b và các thông số của phanh tự động. Cơ sở để tính toán thiết kế các chi tiết và cụm chi tiết của bộ tời đề xuất được nêu trong [14, 15].

Tính toán các kích thước cơ bản của tang cuốn cáp 7, gồm chiều dài tang L_t , đường kính vòng trung bình tới tâm cáp D , chiều dày tang δ .

$$D = D_t + n \cdot d_c \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$D_t \geq (e - 1) \cdot d_c \quad (\text{m}) \quad (2)$$

$$L_t = z \cdot d_c \cdot \varphi \quad (\text{m}) \quad (3)$$

$$z = \frac{aH + 1,5 \cdot \pi D_t}{\pi(n \cdot D_t + d_c n^2)} \quad (\text{vòng}) \quad (4)$$

$$\delta \geq 0,01 \cdot D_t + 0,003 \quad (\text{m}) \quad (5)$$

trong đó d_c là đường kính cáp, (m); e là hệ số được tra theo tiêu chuẩn tùy thuộc loại máy và chế độ làm việc; D là đường kính vòng trung bình tang đến tâm cáp, (m); φ là hệ số xếp cáp không đều $\varphi = 1,1$; a là bội suất pa lăng cáp; H là chiều cao nâng hạ của bộ tời, (m); z là số vòng cáp trên 1 lớp cáp; n là số lớp cáp; δ là chiều dày tang, (mm). Với vật liệu là hợp kim nhôm, trong nghiên cứu này chiều dày tang được xác định sơ bộ tương tự chiều dày tang chế tạo bằng thép, sau đó kiểm tra bền lại.

- Quá trình nâng tải:

Mô men dẫn động cho tay quay được tính theo công thức:

$$M_1 = \frac{M_2^n}{i \cdot \eta} \quad (\text{Nm}) \quad (6)$$

$$i = \frac{z_4 z_6}{z_3 z_5} \quad (7)$$

$$M_2^n = \frac{S_{\max} D}{2} = \frac{(Q + G + \sum F_{ms}) D}{2a\eta_c} \quad (\text{Nm}) \quad (8)$$

trong đó M_1 là mô men quay tay quay 5b của người, (Nm); M_2^n là mô men xoắn cần thiết trên tang cuốn cáp 7 để nâng tải, (Nm); η là hiệu suất của bộ truyền; i là tỉ số truyền của bộ truyền bánh răng; z_3, z_4, z_5, z_6 là số răng các bánh răng; $(Q + G)$ là trọng lượng người và giỏ nâng, (N); η_c là hiệu suất tang cuốn cáp và pa lăng cáp (nếu có); $\sum F_{ms}$ là tổng lực cản di chuyển của giỏ nâng, (N); S_{\max} là lực căng cáp lớn nhất, (N).

Lực tay quay do một người dẫn động:

$$F_q^n = \frac{M_1}{l_q} \text{ (N)} \quad (9)$$

trong đó l_q là chiều dài tay quay, (m); F_q^n là lực quay của một người, giá trị thường nhỏ hơn 200 N khi cánh tay đòn nhỏ hơn 400 mm.

Thông qua các công thức từ (6) đến (9), lực quay tay hoặc tải trọng nâng được xác định khi biết các thông số còn lại.

Điều kiện để bánh răng 4 quay cùng tang khi nâng tải:

$$P \cdot R_2 \cdot f + P \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho) > \frac{(Q + G + \sum F_{ms}) D}{2a\eta_c} \quad (10)$$

trong đó P là lực dọc trục vít, (N); R_2 là bán kính làm việc trung bình của đĩa ma sát 2a, (m); f là hệ số ma sát trên các bề mặt ma sát; r là bán kính trung bình ren vít, (m); α là góc nâng ren vít, (độ); ρ là góc ma sát, (độ).

Từ (10) có thể thấy rằng, để tang, bánh cóc và bánh răng 4 tạo thành một khối và cùng quay khi nâng tải, lực dọc trục vít thỏa mãn

$$P > \frac{(Q + G + \sum F_{ms}) D}{2a[R_2 \cdot f + r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho)]\eta_c} \quad (11)$$

- Giữ vật ở trạng thái treo:

Mô men để tạo ra lực ép mặt ma sát của tang 7 vào bánh cóc 1 khi phanh dừng:

$$M_2^{\text{tr}} = \frac{(Q + G - \sum F_{ms}) D \eta_c}{2a} \text{ (Nm)} \quad (12)$$

Mô men này cân bằng với mô men do lực ma sát sinh ra trên các mặt ma sát tại ren vít và đĩa ma sát 2b.

$$M_2^{\text{tr}} = P \cdot f \cdot R_1 + P \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho) \text{ (Nm)} \quad (13)$$

trong đó R_1 là bán kính làm việc trung bình của các bề mặt ma sát 2b, (m). Từ công thức (12) và (13) có thể suy ra được bán kính R_1 :

$$R_1 = \frac{(Q + G - \sum F_{ms}) D \eta_c}{2a \cdot P \cdot f} - \frac{r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}{f} \text{ (m)} \quad (14)$$

Ngoài ra, để có thể giữ vật ở trạng thái treo mà không phải tác dụng lực vào vô lăng, tức là trục vít không quay thì bán kính làm việc trung bình của đĩa ma sát 2a phải thỏa mãn

$$R_2 > \frac{r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}{f} \text{ (m)} \quad (15)$$

- Quá trình hạ tải:

Lực quay vô lăng tạo ra mô men trên trục vít:

$$M_2^h = F_q \cdot l_q \cdot i \cdot \eta \quad (16)$$

Tại thời điểm bắt đầu tác dụng lực, mô men này phải đủ để đĩa ma sát 2a và trục vít quay, ta có:

$$M_2^h = P \cdot R_2 \cdot f + P \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \rho) \quad (17)$$

Từ công thức (16) và (17), lực quay vô lăng khi hạ tải được xác định:

$$F_q = \frac{P \cdot R_2 \cdot f + P \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \rho)}{l_q \cdot i \cdot \eta} \text{ (N)} \quad (18)$$

Theo nguyên lý của phanh tự động, tang 7 sẽ bị giới hạn chặn hành trình di chuyển bởi chi tiết 8, hành trình giới hạn là Δ (m). Khi không xét biến dạng kết cấu phanh tự động (tang, mặt ma sát, bánh cóc...) thì số vòng quay của tang di chuyển theo dọc trục tang cho tới khi tiếp xúc với 8 là

$$n_1 = \frac{\Delta}{s} \text{ (vòng)} \quad (19)$$

trong đó s là bước ren vít, (m).

Khi bỏ qua biến dạng kết cấu, quãng đường hạ lớn nhất s_h có thể của giỏ nâng và người khi tang chưa tiếp xúc với bánh cóc:

$$s_h = \pi D \frac{\Delta}{s} \text{ (vòng)} \quad (20)$$

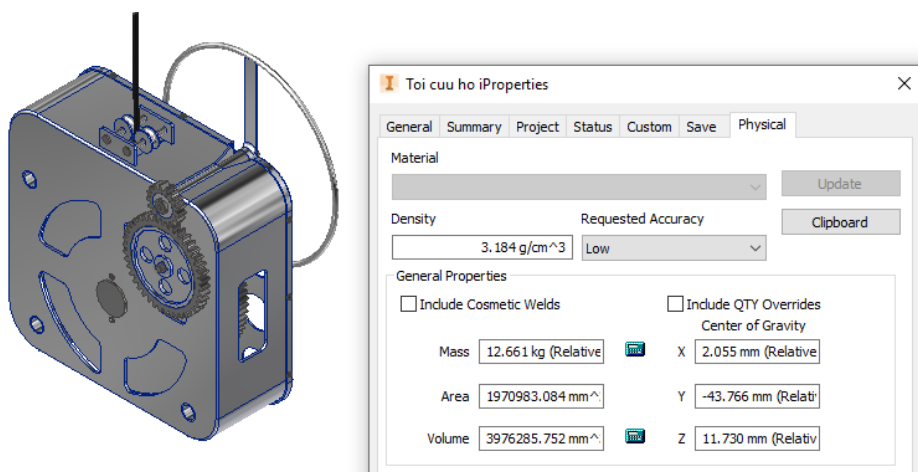
Bảng 1. Các số liệu cho trước

H (m)	$Q + G$ (N)	$\sum F_{ms}$ (N)	a	d_c (m)	e	η	η_c	l_q (m)	r (m)
28	1680	60	1	0,008	18	0,92	0,96	0,15	0,014
α (độ)	ρ (độ)	β	n	z_3	z_4	z_5	z_6	Δ (m)	s (m)
13	11,3	1,75	6	20	77	18	46	0,002	0,01

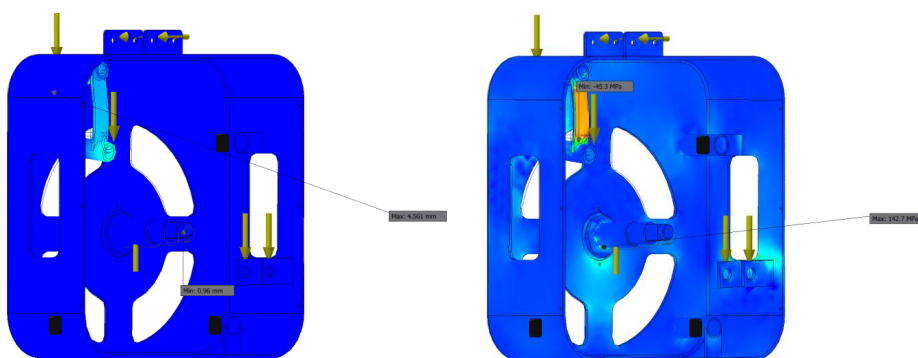
Bảng 1 là các số liệu cho trước trong ví dụ tính toán thiết kế, kết quả tính toán một số thông số cơ bản trong Bảng 2 là cơ sở cho các bài toán khác nhau. Trong đó có bài toán khảo sát quá trình hạ tải của bộ tời có xét ảnh hưởng của độ cứng một số chi tiết phanh tự động trong Mục 4. Với cơ sở tính toán [15] cùng sự hỗ trợ của phần mềm INVENTOR và ứng suất các chi tiết tính theo phương pháp phần tử hữu hạn, bước đầu đã thiết kế được bộ tời cứu hộ cá nhân như Hình 3 và 4, có khối lượng 12,66 kg. Mặc dù khối lượng bộ tời cũng đã đảm bảo việc trang bị cá nhân, tuy nhiên qua tính toán thiết kế nhận thấy cần phải tiếp tục nghiên cứu để gọn nhỏ hơn nữa, đặc biệt là tối ưu trọng lượng các bộ truyền bánh răng. Để giải quyết được vấn đề này, phải xây dựng mô hình toán học và phương pháp tính toán như đối với các bài toán tối ưu kết cấu [18]. Do đó, vấn đề này sẽ được trình bày trong một công trình nghiên cứu khác của chúng tôi.

Bảng 2. Kết quả tính toán các thông số cơ bản

S_{\max} (N)	D_t (m)	D (m)	δ (mm)	l_t (m)	i	F_q (N)	R_1 (m)	R_2 (m)	s_h (m)	M_{ph}^{\min} (Nm)
1687	0,15	0,198	5	0,068	9,84	123	0,092	0,03	0,124	114,768



Hình 3. Mô hình 3D bộ tời



Hình 4. Mô hình tính toán một số chi tiết của bộ tời

4. Khảo sát động lực học quá trình hạ

Quá trình nâng tải của bộ tời tương tự như các bộ tời thông thường được dẫn động bằng tay. Nếu bỏ qua độ cứng của cáp nâng, thì tốc độ và độ rung giật của giỏ nâng chỉ phụ thuộc vào tốc độ quay vô lăng. Đây là bài toán đã được nghiên cứu và kết quả cho thấy độ rung giật hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép đối với người sử dụng. Trong quá trình hạ, với việc trang bị bộ phanh ma sát có bề mặt tách rời, tốc độ và độ rung giật phụ thuộc cả vào các điều kiện ban đầu, lực ma sát và độ cứng của hệ trục vít - tang - bánh cóc theo phương dọc trục vít. Để có thể đánh giá các thông số động lực học có phù hợp với việc chở người trong quá trình cứu hộ cần khảo sát động lực học quá trình hạ này.

- Quá trình hạ 1: Do trọng lượng tải, tang quay và ép chặt vào bánh cóc

Phương trình chuyển động của vật nâng

$$\begin{cases} \frac{(Q + G) \eta_c}{a} - \frac{2P(fR_1 + r \cdot tg(\alpha + \rho))}{D} = \frac{(Q + G)}{ga} \ddot{x}, & \text{Nếu } P < P_{\max} \\ \dot{x} = 0, & \text{Nếu } P = P_{\max} \end{cases} \quad (21)$$

trong đó P là lực kéo trên thân vít được xác định theo công thức (22), P_{\max} là lực kéo trên thân vít lớn

nhất. P_{\max} được xác định tương tự như P và chỉ thay thế x bởi x_{\max} trong công thức (22).

$$P = c \frac{s \cdot x}{\pi \cdot D} \text{ (N)} \quad (22)$$

trong đó t là thời gian, (s); x là dịch của cáp thép tại bề mặt tang, (m); c là độ cứng của hệ trục vít - tang - bánh cóc theo phương dọc trục vít, (N/m).

Như vậy, trong quá trình hạ ban đầu này (chưa quay vô lăng), phương trình chuyển động của vật sẽ là

$$\begin{cases} \frac{(Q+G)}{ga} \ddot{x} + \frac{2csx}{\pi \cdot D^2} (f \cdot R_1 + r \cdot tg(\alpha + \rho)) - \frac{(Q+G)\eta_c}{a} = 0, & \text{Nếu } x < x_{\max} \\ \dot{x} = 0, & \text{Nếu } x = x_{\max} \end{cases} \quad (23)$$

Kết thúc quá trình này, trục vít bị kéo giãn dài lớn nhất

$$\Delta_0 = \frac{s \cdot x_{\max}}{\pi \cdot D} \text{ (m)} \quad (24)$$

Trên cơ sở các số liệu trong Mục 3 và phần mềm Matlab, phương trình (23) được giải với các điều kiện đầu là $x = 0$ và $\dot{x} = 0$. Thời gian dịch chuyển của cáp đến khi vật nâng dừng lại là 29 ms, gia tốc cực đại tại thời điểm bắt đầu hạ là $9,4 \text{ m/s}^2$, vận tốc lớn nhất là 87 mm/s và khoảng dịch chuyển của cáp là $1,6 \text{ mm}$. Để giảm gia tốc cực đại, trước khi hạ, cáp phải được kéo căng trước và gia tốc có thể tiến đến không nếu lực căng tiến đến bằng trọng lượng vật nâng.

- Giai đoạn 2: Quay vô lăng để hạ vật

Khi quay vô lăng theo chiều hạ, tang có xu hướng tách khỏi bánh cóc, lực ma sát giảm cho đến khi giá trị của nó cân bằng với tải kéo do vật nâng gây ra, vật hạ xuống. Chính trong quá trình hạ, tang lại quay ngược chiều với chiều quay của vít và có xu hướng ép chặt lại với bánh cóc và cản lại chuyển động.

Lực ép chặt tang vào bánh cóc trong giai đoạn này sẽ là

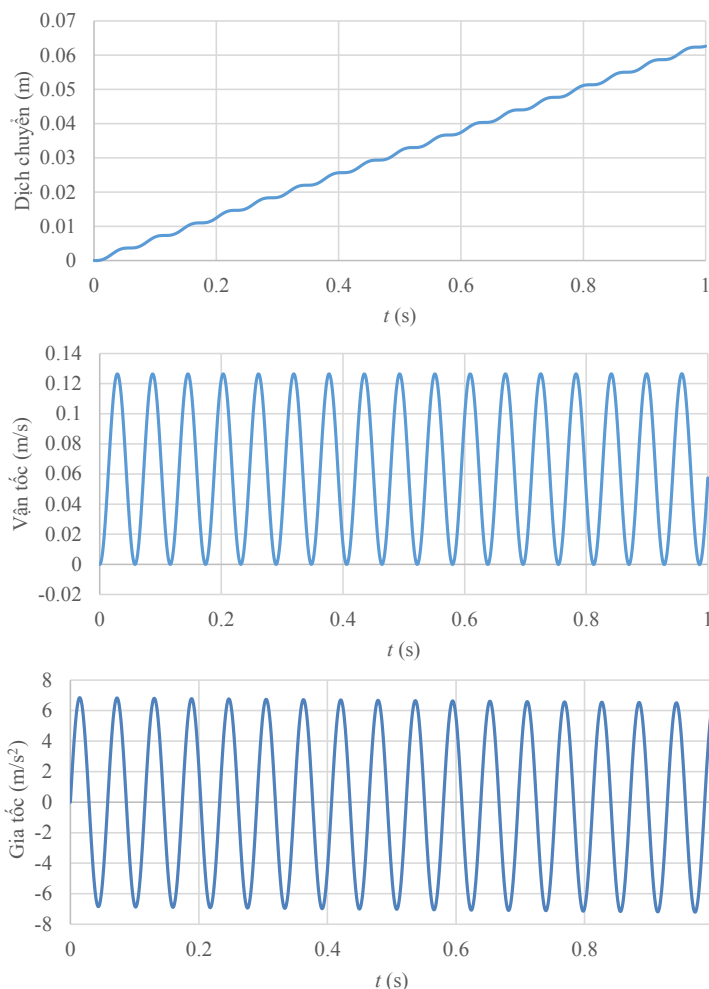
$$P = c \left(\Delta_0 - n_v \cdot s \cdot t + \frac{x \cdot s}{\pi \cdot D} \right) \text{ (N)} \quad (25)$$

trong đó n_v là tốc độ quay của vít được dẫn động từ vô lăng, (v/s).

Bỏ qua biến dạng đàn hồi của cáp thép và trọng lượng của tang, phương trình chuyển động của vật được viết như sau:

$$\begin{cases} \dot{x} = 0, & \text{Nếu } P \geq P_0 \\ \frac{(Q+G)}{ga} \ddot{x} + \frac{2P(fR_1 + r \cdot tg(\alpha + \rho))}{D} - (Q+G) \frac{\eta_c}{a} = 0, & \text{Nếu } 0 \leq P < P_0 \\ \ddot{x} = g\eta_c, & \text{Nếu } P < 0 \end{cases} \quad (26)$$

trong đó P_0 là giá trị lực ép gây ra mô men ma sát cân bằng với mô men do trọng lượng vật nâng và quán tính gây ra. Khảo sát giai đoạn hạ này với tốc độ quay vô lăng là 60 v/ph và thời điểm $t = 0 \text{ s}$ là lúc vật bắt đầu chuyển động. Các thông số động học được thể hiện trong Hình 5. Theo đó, vận tốc vật thay đổi liên tục trong quá trình hạ và giá trị vận tốc lớn nhất là nhỏ ($0,13 \text{ m/s}$). Quy luật chuyển vị của cáp theo phương thẳng đứng ở dạng bậc thang. Tần số dao động là 17 Hz . Giá trị gia tốc trong quá trình hạ cực đại nhỏ hơn gia tốc trọng trường và giá trị gia tốc trung bình bình phương xấp xỉ $4,8 \text{ m/s}^2$ cũng nhỏ hơn giá trị giới hạn (6 m/s^2) [16]. So với các tiêu chí trong [16, 17], các thông số động học đảm bảo về khả năng chịu được của con người khi chịu dao động và sốc cơ học.



Hình 5. Giá trị quãng đường dịch chuyển, vận tốc và gia tốc của cáp thép

5. Kết luận

Bộ tời cứu hộ cá nhân đề xuất có kích thước nhỏ gọn và các tính năng phù hợp cho các hộ gia đình sinh sống trong các tòa nhà cao tầng. Ngoài việc được sử dụng như một bộ tời cứu hộ cá nhân đối với một người khỏe mạnh bình thường, nó còn có thể kết hợp với giỏ thang và thang để trở thành một bộ cứu hộ phục vụ cứu hộ cứu nạn đối với phụ nữ, người già và trẻ em.

Khác với các thiết bị thoát hiểm thông thường, bộ tời cho phép hoạt động theo cả chiều nâng và hạ, không phụ thuộc vào nguồn năng lượng bên ngoài để dẫn động nên nó đặc biệt hiệu quả trong công tác cứu hộ cứu nạn ở các tòa nhà cao tầng, nơi mà các phương tiện cứu hộ chuyên nghiệp không thể tiếp cận được. Như vậy, nghiên cứu này đóng góp thêm một giải pháp nhằm đảm bảo an toàn cho các cư dân hiện đang sinh sống trong các khu cao tầng với mật độ dân cư đông đúc ở các thành phố lớn.

Phương pháp tính toán và thiết kế đã được trình bày là cơ sở khoa học cho việc tính toán thiết kế bộ tời cứu hộ cá nhân hoặc các bộ tời có tính năng tương tự. Giá trị các thông số động học trong quá trình làm việc của bộ tời nằm trong ngưỡng cho phép theo các tiêu chuẩn về đảm bảo sức khỏe của con người. Với cấu tạo không quá phức tạp, không yêu cầu công nghệ chế tạo đặc biệt, bộ tời có thể

được chế tạo với giá thành hạ để mỗi hộ gia đình có thể tự trang bị được và có thể trở thành sản phẩm thương mại.

Để nâng cao tính năng kỹ thuật và xem xét một cách toàn diện, các hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ được triển khai đó là tiếp tục tối ưu để giảm khối lượng bộ tời và các nghiên cứu động lực học khi kết hợp với giỏ nâng chuyển động trên thang.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2019-XDA-02.

Tài liệu tham khảo

- [1] Lambeck, S., Sawodny, O., Arnold, E. (2006). [Trajectory tracking control for a new generation of fire rescue turntable ladders](#). *2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, IEEE, 1–6.
- [2] Kharitonov, A., Zimmert, N., Sawodny, O. (2007). [Active oscillation damping of the fire-rescue turntable ladder](#). *2007 IEEE International Conference on Control Applications*, IEEE, 391–396.
- [3] Pertsch, A., Sawodny, O. (2016). [Modelling and control of coupled bending and torsional vibrations of an articulated aerial ladder](#). *Mechatronics*, 33:34–48.
- [4] Nguyen, V. T., Schmidt, T., Leonhardt, T. (2019). [Effect of pre-tensioned loads to vibration at the ladder tip in raising and lowering processes on a turntable ladder](#). *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(5):2003–2010.
- [5] Phung, C. S., Hoang, K. H., Nguyen, T. N. (2018). [Nghiên cứu chế tạo ống tuột, đệm hơi để cứu hộ, cứu nạn các nạn nhân trong sự cố hỏa hoạn nhà cao tầng tại các đô thị Việt Nam](#). *Tạp chí Môi trường*, (IV).
- [6] Công ty cổ phần thiết bị Cứu hộ và An toàn Việt Nam (RSV). [Thiết bị tự thoát hiểm cho nhà cao tầng](#). Truy cập ngày 3/9/2020.
- [7] Reed, W. B. (1983). *Emergency rescue system*. United States Patent.
- [8] Shimshoni, J. (2005). Tall building emergency evacuation: time to think differently. *Escapace Rescue Systems Ltd-CTBUH New York 2005 Conference*.
- [9] Ginter, F.-J. (1984). *Rescue system on high-rise buildings*. United States Patent.
- [10] Tremblay, J. (2013). *Tower rescue emergency module*. United States US 2013 0303765A1.
- [11] Huntley, J. B. (1975). *Emergency fire escape machanism*. United States Patent: 3880255.
- [12] Renton, J. E., Nott, P. T. M. (2009). *Personal height rescue apparatus*. Patent Application Publication, Pub. No. : US 2009/ 0319049 A1.
- [13] Milne, W. G., Saruwatari, M. (1985). *Emergency escape system*. United States Patent: 4499966.
- [14] Chinh, V. L., Dung, P. Q., Thanh, T. Q. (2002). *Cơ sở thiết kế máy xây dựng*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [15] Budynas, R. G., Nisbett, J. K. (2011). *Mechanical engineering design*. 9th edition, MC Graw Hill.
- [16] ISO 2631-1:1997. *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements*.
- [17] Kumar, K. V., Norfleer, W. T. (1992). *Issues on human acceleration tolerance after long – duration space flights*. National Aeronautics and Space Administration Houston, Texas.
- [18] Giang, D. T., Dũng, P. Q., Dũng, T. N. (2010). [Xác định tiết diện hợp lý cho kết cấu thép cần trục tháp](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 4(2).