NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH LỰC CĂNG DÂY CÁP TÊN LỬA CÓ ĐIỀU KHIỂN TẦM GẦN

Trần Mạnh Tuân[1*], Nguyễn Văn Chúc[1], Lê Đức Hạnh[2], Phan Thế Sơn[1]

Tóm tắt: *Lực căng dây cáp điều khiển chiếm thành phần cản trở chuyển động đáng kể đối với tên lửa có điều khiển sử dụng dây cáp để truyền tín hiệu. Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình toán xác định lực căng dây cáp điều khiển của tên lửa chống tăng có điều khiển tầm gần nhằm mục đích hoàn thiện mô hình động lực học bay của tên lửa. Kết quả tính toán lực căng dây cáp từ mô hình toán được so sánh với kết quả thử nghiệm. Kết quả nghiên cứu của bài báo có thể được ứng dụng khi thiết kế hệ thống lớp tên lửa có điều khiển sử dụng dây cáp.*

Từ khóa: Lực căng dây cáp; Tên lửa có điều khiển; Mô phỏng động lực học bay.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tính đến nay, các lớp tên lửa chống tăng (TLCT) đã trải qua 3 thế hệ phát triển. Trong đó, các loại tên lửa chống tăng thế hệ thứ nhất (Malyutka) và thế hệ thứ hai (Konkurs, Fagot,...) đều sử dụng dây cáp để truyền tín hiệu điều khiển từ đài điều khiển mặt đất lên quả đạn. Ưu điểm chính của phương pháp điều khiển sử dụng dây cáp là khả năng chống nhiễu tốt, phù hợp sử dụng cho các loại tên lửa có cự ly tấn công gần.

Khi phóng tên lửa, một đầu dây cáp được cố định tại bệ phóng, đầu có lại gắn với cuộn dây nằm trên quả đạn. Trong quá trình chuyển động bay của tên lửa, dây cáp liên tục được tời ra khỏi quả đạn theo từng vòng và từng lớp. Điều này làm cho khối lượng tên lửa giảm dần theo thời gian. Chuyển động của đạn khi đó có thể được coi là chuyển động của vật có khối lượng biến đổi. Phương trình mô tả chuyển động của vật có khối lượng biến đổi như sau [8]:

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \vec{\Phi} \tag{1}$$

Trong đó, $\vec{F}$ là ngoại lực tác dụng vào vật thể; $\vec{\Phi}$ là phản lực hình thành do việc biến đổi khối lượng của vật thể chuyển động, gọi là lực Mechersky.

Các công trình nghiên cứu về mô hình toán mô tả động lực học bay của tên lửa có điều khiển trên thế giới chủ yếu dành cho các loại tên lửa sử dụng đầu tự dẫn hoặc truyền tín hiệu bằng sóng vô tuyến [9-11]. Số lượng tài liệu có đề cập đến lực căng dây cáp của loại tên lửa điều khiển sử dụng dây rất hạn chế. Trong [7] tác giả có trình bày công thức tổng quát nhất dành cho các loại tên lửa này. Tuy nhiên, để áp dụng được nó cho từng đối tượng cụ thể cần có các thử nghiệm và tính toán bổ sung. Trong [1] và [4] các tác giả có nêu công thức thực nghiệm gần đúng giá trị lực căng dây cáp cho TLCT 9M14M theo thời gian. Tuy nhiên, công thức này không thể áp dụng cho tất cả các loại tên lửa có nguyên lý tương tự. Trong [3] tác giả có trình bày nghiên cứu về động lực học vật bay kéo chuỗi nổ mềm. Khi đó, khối lượng phần tử chuỗi trên mặt đất liên tục tham gia vào chuyển động của phần chuỗi đã được kéo lên. Kết quả là làm xuất hiện lực kéo chuỗi tại vị trí tiếp giáp với mặt đất, làm chống lại chuyển động của chuỗi. Phương pháp của tác giả phù hợp cho vật bay kéo chuỗi từ mặt đất, chưa phù hợp để áp dụng cho đối tượng nghiên cứu của bài báo.

Lực căng dây cáp điều khiển liên tục tác động và làm cản trở đáng kể chuyển động của quả đạn. Việc xác định chính xác giá trị của nó là cần thiết để phục vụ bài toán cải tiến, thiết kế tên lửa. Để tính toán xác định giá trị lực căng này cần phải xây dựng và giải bài toán mô phỏng chuyển động tên lửa, trong đó, lực căng đóng vai trò như các ngoại lực khác.

Bài báo trình bày phương pháp xác định lực căng dây cáp truyền tín hiệu của lớp tên lửa một

kênh điều khiển tầm gần kiểu 9M14M bằng xây dựng mô hình lý thuyết mô phỏng kết hợp hiệu chỉnh bằng số liệu thực nghiệm. Mô hình toán lực căng dây cáp được xây dựng cùng với mô hình toán mô phỏng động lực học bay của tên lửa. Giải bài toán mô phỏng động lực học bay nhận được kết quả tính toán lý thuyết lực căng dây cáp theo thời gian. Kết quả này được so sánh với số liệu đo đạc thực tế bắn bay tên lửa, làm cơ sở hiệu chỉnh mô hình toán.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH LỰC CĂNG DÂY CÁP

Tên lửa được coi là vật rắn 6 bậc tự do, chuyển động trong không gian dưới tác dụng của các loại lực và mô men: trọng lực, lực và mô men khí động, lực đẩy động cơ, lực điều khiển, lực căng dây cáp. Việc mô tả các hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động bay của tên lửa được trình bày cụ thể trong tài liệu [1]. Ở đây trình bày phương pháp xây dựng mô hình toán xác định lực căng dây cáp trên cơ sở phương trình Mechersky và kết quả khảo sát các tham số cuộn dây.

Các giả thiết khi xây dựng mô hình lực căng dây cáp như sau:

- Coi dây có mật độ đồng nhất trên toàn bộ chiều dài;
- Bỏ qua độ võng của dây, coi dây là căng hoàn toàn;
- Bỏ qua góc nghiêng nhỏ của dây so với mặt đất;
- Bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng của thời tiết;

Biểu thức tổng quát tính toán lực căng dây cáp điều khiển có dạng [7]:

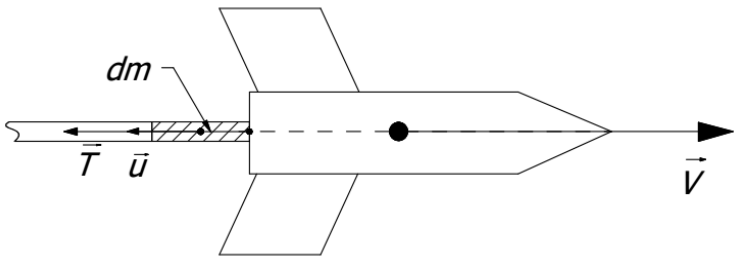
$$T = K_{\phi}(\Phi + F_{ms}) \tag{2}$$

Trong đó: F_{ms} - Lực ma sát sinh ra khi tời dây do ảnh hưởng của các lớp keo cố định dây, được xác định bằng thực nghiệm; Φ là lực Mechersky. K_{ϕ} là hệ số tính đến hình dạng ống dây, được xác định theo bảng 1 phụ thuộc vào độ giãn dài của cuộn dây.

Đối với trường hợp phần tử khối lượng dây *dm* được tách ra khỏi tên lửa, lực Mechersky được tính theo công thức:

$$\vec{\Phi} = -\vec{c}\frac{dm}{dt} \tag{3}$$

Trong đó: $\vec{c} = \vec{u} - \vec{v}$ là vận tốc tương đối của phần tử khối lượng dây *dm* so với tên lửa; $\vec{u}$ là vận tốc tuyệt đối của phần tử khối lượng dây *dm* tại thời điểm tách ra; $\vec{v}$ là vận tốc của tên lửa. Sơ đồ mô tả việc tách phần tử dây *dm* ra khỏi quả đạn như hình 1.



Hình 1. *Sơ đồ mô tả việc tách phần tử khối lượng dây dm ra khỏi tên lửa.*

Sau khi tách ra khỏi tên lửa, giả sử phần tử khối lượng dây *dm* không chuyển động và tên lửa tiếp tục chuyển động với vận tốc $\vec{V}$. Khi đó, ta có $\vec{u} = 0$ và $\vec{c} = -\vec{V}$.

Điều này có nghĩa là, lực Mechersky có chiều ngược với chiều chuyển động của tên lửa, sinh ra lực kéo làm ngăn cản chuyển động của tên lửa:

$$\vec{\Phi} = \vec{V}\frac{dm}{dt} \tag{4}$$

Phần tử khối lượng dây được tời ra được tính theo phần tử chiều dài dây theo công thức:

$$dm = \mu dS \tag{5}$$

Trong đó, μ là khối lượng riêng của dây cáp trên một đơn vị chiều dài.

Chuyển động của tên lửa được phân thành 2 giai đoạn: giai đoạn phóng và giai đoạn bay hành trình. Ở giai đoạn phóng, dưới tác dụng chủ yếu của lực đẩy động cơ phóng, tên lửa có vận tốc tăng dần. Do đó, gia tốc chuyển động của tên lửa lớn hơn 0. Vận tốc tên lửa được duy trì ít thay đổi ở đoạn quỹ đạo hành trình, tương ứng với gia tốc chuyển động xấp xỉ bằng 0.

Chiều dài dây được tời ra chính là khoảng cách *S* từ đạn tới bệ phóng. Ở giai đoạn phóng, giả thiết tên lửa chuyển động nhanh dần đều với gia tốc *a*, khi đó ta có khoảng cách *S* được tính theo công thức:

$$S = \frac{1}{2}at^2 \tag{6}$$

Từ đây suy ra phần tử khối lượng *dm* được tính theo công thức:

$$dm = \mu.dS = \mu.a.t.dt \tag{7}$$

Từ đó, ta có biểu thức lực Mechersky ở giai đoạn phóng:

$$\vec{\Phi} = -\vec{V}\frac{dm}{dt} = -\vec{V}\frac{\mu.a.t.dt}{dt} = -\mu.\vec{V}.a.t \tag{8}$$

Ở giai đoạn bay hành trình, giả thiết gia tốc chuyển động tên lửa bằng 0, tên lửa chuyển động đều nên ta có:

$$dm = \mu.dS = \mu.V.dt \tag{9}$$

Biểu thức lực Mechersky khi tên lửa bay ở giai đoạn hành trình:

$$\vec{\Phi} = -\vec{V}\frac{dm}{dt} = -\vec{V}\frac{\mu.V.dt}{dt} = -\mu\vec{V}.V \tag{10}$$

Bảng 1. *Hệ số hình dạng theo độ giãn dài ống dây.*

λ_d	0,5	1	2	3
K_ϕ	1,2…1,5	2…2,5	3...4	4…5

Giá trị độ giãn dài ống dây ở lớp thứ *i* là tỉ số của chiều dài so với đường kính ống dây:

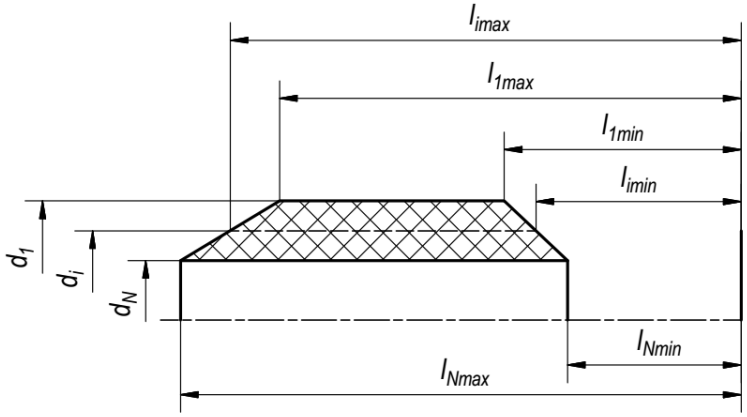
$$\lambda_i = l_i \big/ d_i \tag{11}$$

Kết quả khảo sát nhận thấy, cuộn dây gồm N lớp dây quấn liên tục chồng khít lên nhau. Tại mỗi lớp quấn các vòng dây được quấn liên tiếp nhau. Dây dược tời ra theo thứ tự từ lớp ngoài cùng đến lớp trong cùng. Đồng thời, ở mỗi lớp dây, tại mỗi vòng dây ta có một giá trị tương ứng của chiều dài ống dây l_i. Giá trị l_i của vòng dây thứ *i* biến thiên trong khoảng từ l_{imin} tới l_{imax}. Đường kính ống dây d_i giảm dần sau mỗi lớp dây được tời ra, biến thiên liên tục từ d_1 tới d_N (hình 2).

Thứ tự chuyển tiếp việc tời dây như sau:

- Ở lớp đầu tiên, dây được tời ra theo chiều từ l_{1max} tới l_{1min}.

- Giả sử ở lớp dây thứ *i* dây được tời ra theo chiều từ l_{imin} tới l_{imax} thì ở lớp dây thứ *i+1* dây được tời theo chiều từ l_{i+1max} tới l_{i+1min} và ngược lại.



Hình 2. *Mô hình hình học cuộn dây điều khiển.*

Coi các vòng dây ở mỗi lớp dây quấn sát nhau. Khi đó, số vòng dây của mỗi lớp dây được tính gần đúng theo công thức sau:

$$n_i \approx \frac{l_{i\max} - l_{i\min}}{\phi_{day}} \tag{12}$$

trong đó, ϕ_{day} là đường kính sợi dây.

Giá trị cận trên và cận dưới của chiều dài lớp dây thứ *i* được tính:

$$\begin{cases} l_{i\min} = l_{1\min} - \dfrac{l_{1\min} - l_{N\min}}{N-1} * (i-1) \\ l_{i\max} = l_{1\max} + \dfrac{l_{N\max} - l_{1\max}}{N-1} * (i-1) \end{cases} \tag{13}$$

Đường kính lớp dây thứ *i* được tính theo công thức:

$$d_i = d_1 - \frac{d_1 - d_N}{N-1} * (i-1) \tag{14}$$

Chiều dài dây được quấn trong lớp dây thứ *i* là:

$$L_i \approx n_i * \pi * d_i = \frac{l_{i\max} - l_{i\min}}{\phi_{day}} * \pi * d_i \tag{15}$$

Giả sử dây đang được tời ra tại vòng dây thứ *j* của lớp dây thứ *i*, khi đó tổng chiều dài dây đã được tời ra S cũng được tính theo công thức:

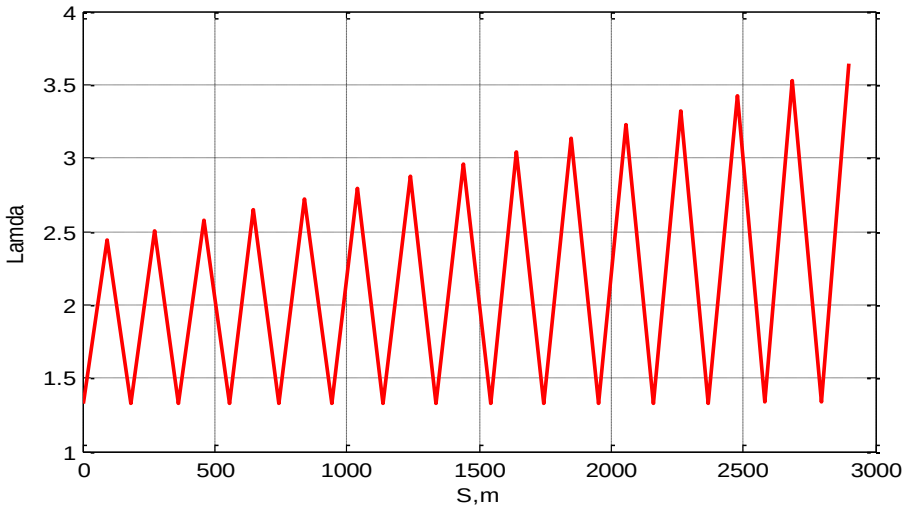
$$S = \sum_{m=1}^{i-1} L_m + j * \pi * d_i = \sum_{m=1}^{i} \sum_{k=1}^{n_{i-1}} \pi * d_{i-1} + \sum_{k=1}^{j} \pi * d_i \tag{16}$$

Đồng thời, *S* cũng chính là khoảng cách từ đạn tới bệ phóng ở thời điểm khảo sát.

Hệ số giãn dài của ống dây lại vòng dây thứ j của lớp thứ i khi đó là:

$$\begin{cases} \lambda = \dfrac{l_{i\min} + j * \phi_{day}}{d_i} & khi \quad i = 2k, k = 0,1,2... \\ \lambda = \dfrac{l_{i\max} - j * \phi_{day}}{d_i} & khi \quad i = 2k+1, k = 0,1,2... \end{cases} \tag{17}$$

Đồ thị phụ thuộc của độ giãn dài ống dây theo chiều dài dây đã được tời ra có dạng như hình 3.

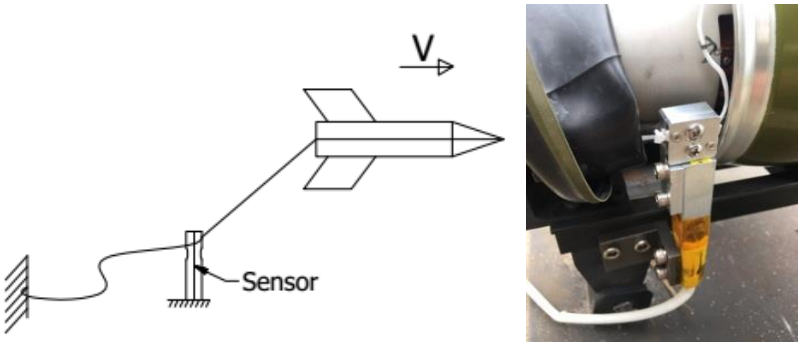


Hình 3. *Đồ thị phụ thuộc hệ số giãn dài theo chiều dài dây.*

Như vậy, lực căng dây cáp là hàm phụ thuộc vào chiều dài dây được tời ra, khối lượng riêng của dây theo chiều dài, vận tốc chuyển động của đạn và lực ma sát giữa các vòng dây.

3. THỬ NGHIỆM XÁC ĐỊNH LỰC CĂNG DÂY CÁP

Tiến hành bắn thử nghiệm một loại tên lửa kiểu 9M14M ở cự ly 1.800 m. Trong quá trình thử nghiệm đã tiến hành đo ghi lực căng dây cáp điều khiển sử dụng cảm biến lực tại bệ phóng. Sơ đồ gá đặt cảm biến đo lực căng dây cáp như hình 4. Một đầu cảm biến được gắn cố định vào bệ phóng. Đầu tự do còn lại được dùng để cố định dây cáp điều khiển.

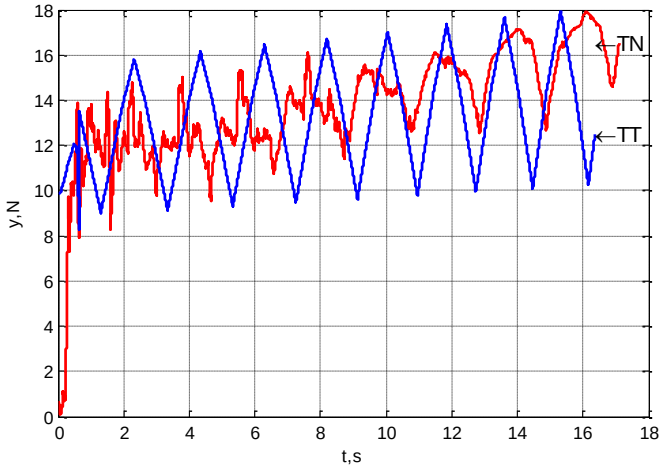


Hình 4. *Sơ đồ gá cảm biến đo lực căng dây cáp.*

Tiến hành giải bài toán mô phỏng chuyển động của tên lửa khi bắn mục tiêu ở cự ly 1.800 m theo điều kiện thử nghiệm để xác định giá trị lực căng dây cáp.

Hình 5 là đồ thị so sánh giữa lực căng dây cáp đo được từ thực nghiệm và kết quả tính toán lý thuyết từ việc giải bài toán mô phỏng động lực học bay. Nhận thấy quy luật thay đổi lực căng

dây cáp nhận được từ 2 phương pháp theo thời gian tương đồng nhau. Sai lệch lớn nhất của giá trị lực căng nhận được theo tính toán và thử nghiệm khoảng 3 N. Lực căng dây cáp có xu hướng tăng dần về cuối quỹ đạo chuyển động của tên lửa. Tuy nhiên, lực căng không tăng đều mà có xuất hiện quy luật biến thiên có dạng răng cưa. Điều này được lý giải do quá trình tời dây, giá trị hệ số giãn dài của ống dây cũng thay đổi theo hình răng cưa (hình 3). Biên độ dao động của lực căng dây cáp tại mỗi lớp cuốn khoảng 5 N và tăng dần về cuối hành trình.



Hình 5. *Đồ thị lực căng dây cáp ở cự ly 1.800 m.*

Từ đồ thị lực căng dây cáp nhận thấy lực căng dây cáp đo được từ thử nghiệm phù hợp với kết quả tính toán mô phỏng. Như vậy, mô hình toán chuyển động tên lửa và mô hình lực căng dây cáp được xây dựng là hợp lý. Có thể sử dụng mô hình toán này để khảo sát, đánh giá các phương án thiết kế hệ thống trong bài toán tính toán cải tiến tên lửa.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả tính toán xác định lực căng dây cáp điều khiển tên lửa tầm gần một kênh sử dụng dây điều khiển trên cơ sở giải bài toán mô phỏng động lực học bay. Kết quả tính toán được so sánh với kết quả đo thử nghiệm lực căng dây cáp tại trường bắn cho thấy sự phù hợp của mô hình toán đã được xây dựng.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, lực căng dây cáp điều khiển là hàm phụ thuộc chủ yếu vào gia tốc chuyển động của tên lửa ở giai đoạn phóng và bình phương giá trị vận tốc bay của đạn tên lửa ở giai đoạn hành trình. Việc tăng gia tốc phóng hoặc vận tốc hành trình có thể ảnh hưởng đến khả năng làm việc của dây cáp khi vượt quá giới hạn chịu kéo của nó. Kết quả nghiên cứu của bài báo có thể được áp dụng để tính toán thiết kế, cải tiến các loại tên lửa có điều khiển sử dụng dây cáp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Văn Chúc, Nguyễn Phú Thắng, Phạm Khắc Lâm, "*Mô phỏng bán tự nhiên thời gian thực tên lửa điều khiển tầm gần kiểu B-72"*, Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự, số Đặc san Tên lửa, 09/2016.

[2]. "*Tổ hợp tên lửa chống tăng 9K11"*. Cục kỹ thuật/Bộ tư lệnh Pháo binh. Hà Nội 2006.

[3]. Phan Văn Chương, "*Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu đến đặc trưng động lực học của hệ thống tên lửa kéo chuỗi nổ mềm liên tục"*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, 2011.

[4]. "*Tổ hợp tên lửa chống tăng 9K11"*, Cục kỹ thuật/Bộ tư lệnh Pháo binh, Hà Nội, 2006.

[5]. "*Переносной противотанковый комплекс 9К11"*. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Министерство обороны СССР.

[6]. Ростислав Д.А. *"Отечественные противотанковые комплексы". ООО* «Издательство Астрель». – 1999. С- 39-50.
[7]. Ветров В.В., Грязев М.В., "*Основы устройства и функционирования противотанковых управляемых ракет"*, изд. ТулГУ, Тула 2006.
[8]. Мещерский И.В., "*Работы по механике тел переменной массы"*, изд. Технико-тоеретической литературы, Москва, 1952г.
[9]. Коростелев О.П., "*Теоретические основы проектирования ствольных управляемых ракет"*. Изд. Defense Express Library. Киев. 2007г.
[10]. Лебедев А.А. Чернобровкин Л.С. "*Динамика полета беспилотных летательных аппаратов"*. Москва. Издательство Машиностроение 1973.
[11]. Кашин В.М., Лифиц А.Л., Ефремов М.И. "*Основы проектирования переносных зенитных ракетных комплексов"*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана – 2014.

ABSTRACT

RESEARCH ON DETERMINATING THE TENSION IN THE CONTROL CABLE OF GUIDED MISSILE

The tension in the control cable accounts for the significant motion impediment for guided missiles that use cables for signal transmission. In this paper, a method to build a mathematical model to determine the tension of the control cable of a short-range anti-tanks guided missile for the purpose of completing the flight dynamics model of the missile is presented. The cable tension calculation results from the mathematical model are compared with the test results. The research results of the article can be applied when designing a guided missile system using cables.

Keywords: Control cable tension; Guided missile; Flight dynamics simulation.

Nhận bài ngày 22 tháng 9 năm 2021
Hoàn thiện ngày 19 tháng 10 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 10 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Tên lửa - Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Phòng Quản lý KHCN/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
[*]Email: tuanmanh1308@gmail.com.