

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CẶP BÁNH RĂNG ĂN KHỚP KIỂU CYCLOID SỬ DỤNG TRONG CƠ CẤU GIỮ CHẠM CỦA NM MVTR-62

DESIGN AND CALCULATION OF CYCLOIDAL GEAR PAIR FOR THE DELAY MECHANISM OF NM MVTR-62

ThS. Nguyễn Văn Thái

Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

*Email: nguyenthaivk@gmail.com

TÓM TẮT

Ngòi là thành phần quyết định đến độ tin cậy hoạt động và hiệu quả tác chiến của mìn chống tăng. Bài báo trình bày một cách hệ thống quá trình nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm NM MVTr-62VN trên cơ sở khảo sát mẫu ngòi MBЧ-62 của Liên bang Nga. Nội dung nghiên cứu tập trung vào cơ cấu mở bảo hiểm kiểu bánh răng đồng hồ, bộ phận quyết định tính năng an toàn và thời gian chuyển trạng thái của ngòi. Trên nền tảng tiêu chuẩn ГОСТ 13678-73, nghiên cứu xây dựng được một hệ mô hình tính toán hoàn chỉnh cho cặp bánh răng ăn khớp Cycloid thông qua việc tổng hợp, chuẩn hóa và bổ sung các quan hệ hình học và động học. Từ đó, một chương trình phần mềm thiết kế đã được phát triển nhằm tự động hóa quá trình tính toán và hỗ trợ xây dựng TLTK. Đồng thời, bài toán tính toán thời gian mở bảo hiểm được giải quyết trên cơ sở mô hình động lực học của cơ cấu đồng hồ, có xét đến ảnh hưởng của mô men lò xo cốt, ma sát và dao động con lắc. Kết quả tính toán phù hợp với kết quả thực nghiệm. Sản phẩm NM MVTr-62 được chế tạo thử nghiệm kết quả tương đương sản phẩm của nước ngoài, đảm bảo độ tin cậy và an toàn cao.

Từ khóa: MVTr-62; Cơ cấu đồng hồ; Bánh răng Cycloid; Mô hình tính toán.

ABSTRACT

The fuze is a critical component that determines both the operational reliability and combat effectiveness of an anti-tank mine. This paper systematically presents the research, design, fabrication, and testing process of the MVTr-62VN anti-tank mine fuze, developed based on a detailed investigation of the MVTr-62 fuze from the Russian Federation. The study primarily focuses on the clockwork-based safety release mechanism, which directly governs the safety characteristics and state transition timing of the fuze. Based on the ГОСТ 13678-73 standard, a comprehensive computational modeling framework for cycloidal gear meshing was established through the synthesis, standardization, and extension of geometric and kinematic relationships. On this basis, a dedicated software tool was developed to automate the design process and support the generation of manufacturing drawings. In addition, the problem of safety release timing was addressed using a dynamic model of the clockwork mechanism, considering the effects of mainspring torque, friction, and pendulum oscillation. The calculated results are consistent with the experimental findings. The prototype MVTr-62VN fuze was successfully fabricated and tested, meeting the required tactical and technical specifications with performance comparable to foreign counterparts. The results confirm its reliability, safety, and feasibility for mass production.

Keywords: MVTr-62; Clockwork mechanism; Cycloidal gear; Precision mechanical design; Computational modeling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

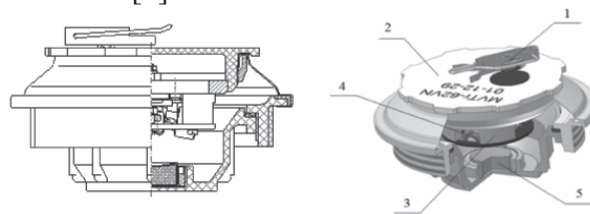
Trong bối cảnh chiến tranh hiện đại, mìn chống tăng vẫn giữ vai trò là một trong những phương tiện tác chiến hiệu quả, có khả năng hạn chế cơ động và tiêu diệt các phương tiện cơ giới hạng nặng như xe tăng, xe bọc thép. Ưu điểm nổi bật của mìn là chi phí chế tạo thấp, dễ triển khai trên diện rộng, phù hợp với điều kiện địa hình phức tạp, có khả năng trực canh. Trong các loại mìn chống tăng đề nổ sử dụng loại ngòi có cơ cấu giữ chậm, việc kiểm soát chính xác thời gian chuyển trạng thái từ an toàn sang sẵn sàng chiến đấu là yếu tố then chốt nhằm đảm bảo an toàn khi triển khai và hiệu quả khi tác chiến. Ngòi MVTr-62 là một điển hình của loại ngòi cơ khí sử dụng cơ cấu đồng hồ, các vấn đề liên quan đến sai số lắp ráp, độ chính xác của các cơ cấu truyền động là các cụm bánh răng kiểu đồng hồ trong cơ cấu giữ chậm, có ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian mở bảo hiểm và độ tin cậy hoạt động của ngòi [4].

NM MVTr-62 sử dụng hệ truyền động bánh răng chính xác cao với biên dạng Cycloid, đòi hỏi trình độ thiết kế và công nghệ chế tạo phức tạp. Các tài liệu kỹ thuật hiện có chủ yếu cung cấp thông tin rời rạc, thiếu tính hệ thống, gây khó khăn cho việc làm chủ thiết kế chế tạo. Trong khi đó, năng lực nghiên cứu và chế tạo trong nước đối với các cơ cấu cơ khí chính xác vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong lĩnh vực quốc phòng.

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung vào việc tính toán thiết kế các cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid, ứng dụng vào thiết kế đưa ra bộ tham số hình học của cụm bánh răng NM MVTr-62. Tiến hành thiết kế 3D mô phỏng kiểm tra vướng kẹt của cụm bánh răng NM MVTr-62, sau đó chế thử thử nghiệm kiểm tra thời gian bảo hiểm của ngòi so sánh với mẫu ngòi MBЧ-62 của Nga. Trọng tâm của nghiên cứu là xây dựng cơ sở tính toán thiết kế cặp bánh răng, phân tích ảnh hưởng của

sai số hình học và sai số lắp ráp đến khả năng làm việc của cụm bánh răng, từ đó đề xuất các chỉ tiêu dung sai hợp lý, phù hợp với điều kiện công nghệ trong nước nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu về thời gian bảo hiểm.

Cấu tạo NM MVTr-62 gồm các bộ phận chính sau [2]:



Hình 1.1. Cấu tạo NM MVTr-62:

1 - Nhóm khóa an toàn, 2 - Thân vỏ,
3 - Nhóm cơ khí, 4 - Nhóm ống nổ, 5 - Trạm nổ

Nguyên lý hoạt động NM MVTr-62:

a) Trạng thái bảo quản: Ngòi không thể hoạt động do núm vặn và bộ phận bảo hiểm bị giữ bởi khóa an toàn. Do vậy, ngòi mìn không bị phát nổ khi có ngoại lực tác dụng.

b) Trạng thái sẵn sàng chiến đấu: Để chuyển ngòi mìn từ trạng thái an toàn về trạng thái chiến đấu, rút khoá an toàn, ấn núm vặn ở đầu trục mở bảo hiểm. Khi đó, bộ phận hện giờ cơ khí hoạt động, sau thời gian từ $30 \div 120$ giây bộ phận phát hỏa được đưa về tư thế sẵn sàng chiến đấu, trục của bộ phận phát hỏa trùng với trục của ngòi mìn.

c) Trạng thái chiến đấu: Khi có lực đè lớn hơn 3000N tác dụng lên mặt đáy ngòi mìn, thân ngòi mìn bị biến dạng lún xuống, ống định hướng dịch chuyển xuống từ lên bề mặt trạm nổ, khi đó ống ngoài tiếp tục dịch chuyển xuống cắt đứt 2 chốt đồng. Khi hai lỗ thoát bị trên ống ngoài đối diện với 2 viên bi bảo hiểm, mặt từ của kim hỏa đẩy 2 viên bi bảo hiểm ra ngoài, kim hỏa được giải phóng. Dưới tác dụng của lò xo kim hỏa, đẩy kim hỏa đâm vào ống nổ, gây nổ ống nổ, nổ trạm nổ và kích nổ mìn.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

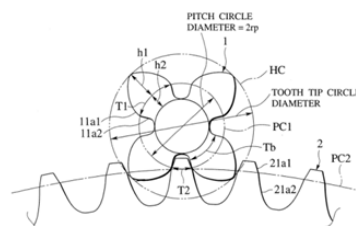
Trong khuôn khổ bài báo này, nhóm tác giả tập trung vào bài toán thiết kế và tính toán cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid ứng dụng trong cơ cấu giữ chậm của ngòi mìn MVTr-62. Khác với bánh răng thân khai thông dụng, bánh răng Cycloid có đặc điểm biên dạng răng được tạo bởi các đường Cycloid (epicycloid và hypocycloid), cho phép giảm trượt tương đối, làm việc êm, phù hợp với các cơ cấu truyền động kích thước nhỏ, mômen thấp nhưng yêu cầu độ ổn định và độ chính xác cao như trong cơ cấu đồng hồ. Tuy nhiên, chính đặc điểm hình học phức tạp này đòi hỏi quá trình tính toán thiết kế phải được xây dựng một cách hệ thống, đảm bảo đồng thời các điều kiện ăn khớp, bền hình học và khả năng công nghệ.

2.1. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết cặp bánh răng ăn khớp Cycloid [5]

Trong các cơ cấu truyền động yêu cầu độ chính xác cao và làm việc êm, đặc biệt là cơ cấu giữ chậm kiểu đồng hồ trong ngòi mìn, dạng ăn khớp Cycloid được ưu tiên lựa chọn do những ưu điểm vượt trội về động học và ma sát. Khác với ăn khớp thân khai, biên dạng răng Cycloid được hình thành từ các quỹ tích hình học đặc biệt, trong đó profin đỉnh răng là đường epicycloid và profin chân răng là đường hypocycloid.

Phân tích động học cho thấy, trong quá trình ăn khớp Cycloid, hệ số trượt gần như không đổi và nhỏ hơn đáng kể so với ăn khớp thân khai, dẫn đến giảm ma sát và mài mòn. Đồng thời, áp lực tiếp xúc phân bố đều hơn trên bề mặt răng, cho phép bộ truyền làm việc êm, ít rung động và có tuổi thọ cao. Đây là yếu tố đặc biệt quan trọng đối với các cơ cấu ngòi mìn, nơi yêu cầu độ tin cậy cao và khả năng duy trì đặc tính làm việc ổn định trong thời gian dài.

Tuy nhiên, dạng ăn khớp này cũng tồn tại các hạn chế đáng kể như không có khả năng dịch chỉnh tâm, tính lắp lẫn thấp và đặc biệt là yêu cầu cao về độ chính xác chế tạo do biên dạng răng phức tạp. Do đó, việc tính toán thiết kế cần được thực hiện trên cơ sở tiêu chuẩn hóa chặt chẽ nhằm đảm bảo khả năng gia công và lắp ráp.

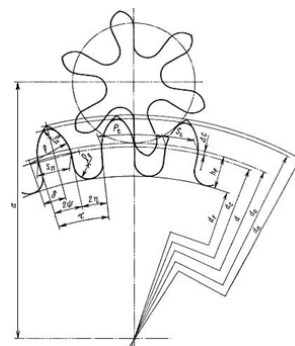


Hình 2.1. Bánh răng ăn khớp Cycloid

2.2. Phương pháp tính toán các thông số hình học theo tiêu chuẩn ISO 13678-73 [1]

Để đơn giản hóa bài toán thiết kế trong khi vẫn đảm bảo đặc tính ăn khớp Cycloid, tiêu chuẩn ISO 13678-73 cho phép thay thế các đường cong Cycloid lý tưởng bằng các cung tròn tương đương cho profin đỉnh và chân răng. Cách tiếp cận này giúp giảm đáng kể độ phức tạp công nghệ nhưng vẫn duy trì được các ưu điểm cơ bản của bộ truyền.

Trên cơ sở đó, các thông số hình học chủ yếu của cặp bánh răng – trục răng được xác định thông qua hệ phương trình sau:



Hình 2.2. Các tham số hệ truyền động bánh răng Cycloid

Theo tiêu chuẩn ГОСТ 13678-73, để cho đơn giản về mặt hình học, thuận tiện trong thiết kế, chế tạo mà vẫn đảm bảo các yêu cầu của ăn khớp dạng Cycloid thì profin đầu răng và chân răng của bánh răng dạng này là các cung tròn. Các thông số hệ truyền động được tính toán thông qua các công thức sau:

- Khoảng cách trục: $a = m \frac{z^{br} + z^{tr}}{2}$
- Đường kính vòng tròn lăn: 2
- + Bánh răng: $d^{br} = m.z^{br}$;
- + Trục răng: $d^{tr} = m.z^{tr}$.

- Chiều rộng răng:
- + Bánh răng: $S^{br} = 0,5.p^{br}$;
- + Trục răng: $S^{tr} = m.p^{tr}$.

Với, p^{br} , p^{tr} bước răng của bánh răng, trục răng.

- Bán kính đầu răng:
 - + Bánh răng: $\rho^{br} = \rho^*.m$;
 - + Trục răng: $\rho^{tr} = 0,7.m$.
- ρ^* hệ số tra trong bảng 6, 7 ГОСТ 13678-73.

- Đường kính nội tâm của các bán kính đầu răng của bánh răng:

- $d_c^{br} = d^{br} - 2\Delta c$, $\Delta c = \Delta_c^*.m$
- Chiều cao chân răng của bánh răng:
- $h_f^{tr} = 1,57.m$;
- Đường kính chân răng của bánh răng:
- $d_f^{br} = d^{br} - 2h_f^{tr}$;
- Chiều cao đỉnh răng của trục răng:
- $h_a^{tr} = 0,67.m$;
- Đường kính đỉnh răng của trục răng:
- $d_a^{tr} = d^{tr} + 2h_a^{tr}$;
- Đường kính đỉnh răng của bánh răng:
- $d_a^{br} = d_c^{br} \cos \delta + \sqrt{4\rho^2 - a_c^2} \sin^2 \delta$;

$$\delta = \arccos \frac{d^2 + d_c^2 - 4\rho^2}{2d.d_c} - S_t^* \frac{\tau}{2}, \quad \tau = \frac{360^0}{z}$$

S_t^* tra tại bảng 3 ГОСТ 13678-73.

- Chiều cao đỉnh răng bánh răng:

$$h_a^{br} = d_a^{br} - d^{br};$$

- Chiều cao răng bánh răng:

$$h^{br} = h_a^{br} + h_f^{tr};$$

- Đường kính chân răng trục răng:

$$d_f^{tr} = d^{tr} - 2h_a^{br} - 2c; \quad c = 0,4.m;$$

- Khe hở hướng tâm: $C = h_f^{br} - h_a^{tr}$;

- Đường kính đỉnh răng bánh răng chưa vẽ tròn đầu răng: $d_a^{br} = d^{br} + k.m$, k hệ số tra bảng.

Bảng 2.1. Hệ số tính đường kính đỉnh răng

Số răng của trục răng	Hệ số k	
	i = 3 ÷ 6	i = 7 ÷ 12
6	2,48 ÷ 2,56	2,58 ÷ 2,60
7	2,62 ÷ 2,72	2,74 ÷ 2,78
8	2,76 ÷ 2,88	2,90 ÷ 2,94
9	2,88 ÷ 3,00	3,02 ÷ 3,08
10	3,00 ÷ 3,12	3,14 ÷ 3,20
12	3,20 ÷ 3,36	3,38 ÷ 3,44
14	3,40 ÷ 3,56	3,58 ÷ 3,64
15	3,48 ÷ 2,66	3,68 ÷ 3,76
16	3,56 ÷ 3,74	3,76 ÷ 3,84

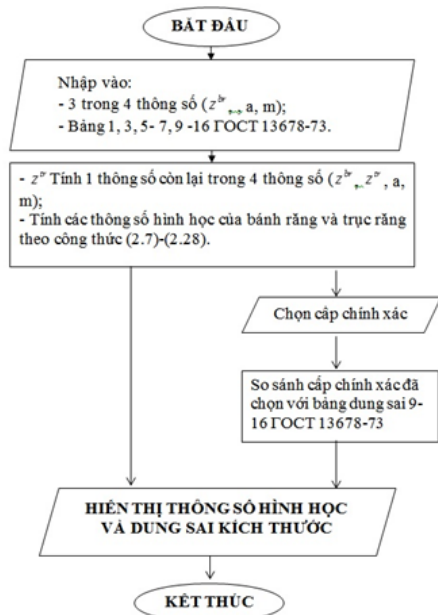
- Dung sai của các thông số bánh răng ăn khớp Cycloid được cho trong mục 2, từ bảng 9 đến bảng 16 tiêu chuẩn ГОСТ 13678-73.

2.3. Xây dựng chương trình tính toán các thông số cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid

- Cơ sở lý thuyết tính toán các thông số cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid theo mục 2.2.

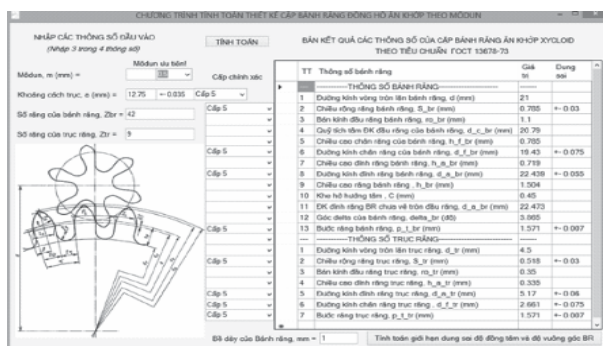
- Sơ đồ khối chương trình tính toán các thông số cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid theo hình 2.3:





Hình 2.3. Sơ đồ khối chương trình tính toán các thông số hình học cặp bánh răng ăn khớp Cycloid theo tiêu chuẩn GOCT 13678-73

- Tiến hành lập trình tính toán thiết kế cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid theo tiêu chuẩn GOCT 13678-73 bằng ngôn ngữ C#, bằng phần mềm Visual studio C# 2010.



Hình 2.4. Giao diện chương trình tính toán các thông số

Giao diện chương trình như hình 2.4. Từ bộ 3 thông số đầu vào trong số 4 thông số cơ bản của cặp bánh răng ăn khớp (z_{br} , z_{tr} , a , m), chương trình cho ra thông số còn lại và các thông số kích thước hình học của bánh răng và trục răng tính toán theo mục 2.2.

Khi chọn cặp chính xác, chương trình cho ra kết quả dung sai của các thông số hình học của bánh răng và trục răng, phục vụ thành lập bản vẽ chế tạo bánh răng.

Đề tài tiến hành xây dựng chương trình tính toán thiết kế cặp bánh răng, phục vụ quá trình tính toán thiết kế cặp bánh răng trong cơ cấu đồng hồ của ngòi hẹn giờ cơ khí, ứng dụng vào tính toán các thông số bánh răng của cơ cấu đồng hồ NM MVTr-62. Chương trình tính toán có dạng phần mềm tiện ích, có thể ứng dụng vào phục vụ cho quá trình thiết kế cặp bánh răng của cơ cấu đồng hồ cơ khí áp dụng trong các loại ngòi hẹn giờ cơ khí khác nhau. Kết quả tính toán đưa ra bộ thông số các cặp bánh răng ăn khớp của NM MVTr-62, dựa trên bộ thông số hình học, nhóm đề tài triển khai mô phỏng 3D kiểm tra vướng kẹt sau đó chế thử kiểm tra thời gian giữ chậm. Dưới đây là kết quả xây dựng 3D cụm bánh răng cơ khí dựa trên thông số hình học đã tính toán.

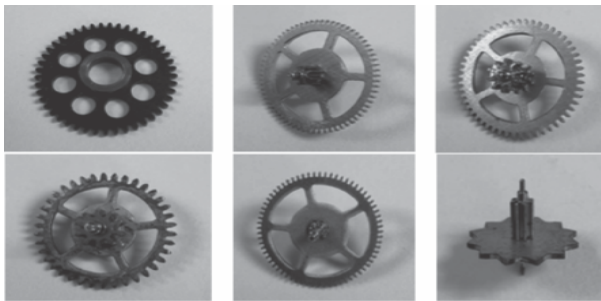


Hình 2.5. Cụm bánh răng NM MVTr-62 khi xây dựng 3D để kiểm tra vướng kẹt

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên cơ sở phương pháp tính toán và thiết kế cặp bánh răng Cycloid theo tiêu chuẩn GOCT 13678-73 đã xây dựng, nhóm đề tài ứng dụng tính toán thiết kế các cặp bánh răng – trục răng ăn khớp sử dụng trên NM MVTr-62. Các thông số hình học của bộ truyền bánh răng được xác định có hệ thống, làm cơ sở trực tiếp cho thiết kế, chế tạo NM MVTr-62.

Dựa trên bộ thông số hình học các cặp bánh răng, tiến hành chế thử và thử nghiệm. Quá trình chế thử được thực hiện theo nhiều giai đoạn, kết hợp giữa kiểm tra và hiệu chỉnh thiết kế, từng bước khắc phục các khó khăn về công nghệ chế tạo bánh răng, trục răng có kích thước nhỏ, yêu cầu độ chính xác cao trong điều kiện chưa có thiết bị chuyên dùng. Kết quả đã chế tạo thành công NM MVTr-62 qua thử nghiệm và nghiệm thu tương đương mẫu của nước ngoài. Dưới đây là một số hình ảnh về các cặp bánh răng đồng hồ đã chế tạo thành công.



Hình 3.1. Kết quả chế thử thực nghiệm NM MVTr-62

Như vậy, kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng phương pháp tính toán thiết kế cặp bánh răng Cycloid trên cơ sở tiêu chuẩn ГОСТ 13678-73 là hoàn toàn tin cậy. Kết quả tính toán được ứng dụng vào nghiên cứu tính toán NM MVTr-62 đáp ứng đầy đủ tính năng đề ra, sản xuất trên dây chuyền công nghệ trong nước, từng bước làm chủ công nghệ chế tạo.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một cách có hệ thống phương pháp nghiên cứu, tính toán và thiết kế cặp bánh răng ăn khớp kiểu Cycloid ứng dụng trong cơ cấu giữ chậm của NM MVTr-62. Trên cơ sở tiêu chuẩn ГОСТ 13678-73, các thông số hình học chủ yếu của bộ truyền đã được xác định đầy đủ, đảm bảo các điều kiện ăn khớp, độ bền và khả năng công nghệ. Đồng thời, việc xây dựng chương trình tính toán hỗ

trợ đã góp phần nâng cao độ chính xác, rút ngắn thời gian thiết kế và tăng tính linh hoạt trong quá trình lựa chọn tham số.

Kết quả nghiên cứu đã được kiểm chứng thông qua chế thử và thử nghiệm thực tế sản phẩm. Ngòi mìn MVTr-62 chế tạo đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đặt ra, các tính năng tương đương với mẫu ngòi MBЧ-62 của Nga, đặc biệt về thời gian mở bảo hiểm, lực phát hỏa và độ tin cậy hoạt động. Điều này một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của phương pháp tính toán thiết kế cũng như tính khả thi trong điều kiện công nghệ hiện có.

Có thể thấy, việc làm chủ phương pháp thiết kế cặp bánh răng Cycloid và áp dụng hiệu quả vào sản phẩm cụ thể đã góp phần quan trọng trong quá trình nội địa hóa, tiến tới chủ động nghiên cứu, thiết kế và chế tạo các loại ngòi mìn cơ khí có yêu cầu cao về độ chính xác và độ tin cậy. Kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa ứng dụng trực tiếp đối với sản phẩm MVTr-62 mà còn là cơ sở cho việc phát triển các cơ cấu giữ chậm kiểu bánh răng đồng hồ trong các hệ thống cơ khí chính xác khác để nâng cao độ tin cậy. ❖

Ngày nhận bài: 28/4/2026

Ngày phản biện: 12/5/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. ГОСТ 13678-73, “Bánh răng Cycloid”.
- [2]. “Инженерные боеприпасы”, книга третья, Военное издательство Министерства Обороны СССР.
- [3]. Trần Trung Dũng, Đề tài “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo ngòi mìn theo mẫu ngòi MVTr-62 của Liên Xô cũ”, 2014.
- [4]. “Sổ tay kỹ thuật vũ khí công binh”, NXB. Quân đội nhân dân, 2008.
- [5]. Nguyễn Văn Thành, “Cơ sở tính toán và thiết kế cơ cấu đồng hồ của ngòi hẹn giờ cơ khí”. Học viện Kỹ thuật quân sự, 2008.