

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN VĂN HÙNG

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THAM SỐ KẾT
CẤU THIẾT BỊ TRÍCH KHÍ ĐẾN HOẠT ĐỘNG CỦA
MÁY TỰ ĐỘNG SÚNG BẮN HAI MÔI TRƯỜNG**

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số: 9.52.01.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2021

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS.TS Đào Văn Đoan**
- 2. PGS.TS Nguyễn Văn Dũng**

Phản biên 1: PGS.TS Nguyễn Ngọc Chương

Phản biện 2: GS.TSKH Nguyễn Duy Quang

Phản biện 3: PGS.TS Bùi Ngọc Hài

Luận án sẽ được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số: 741/QĐ-HV, ngày 15 tháng 03 năm 2021 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi ... giờ ... ngày ... tháng ... năm 2021

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

NHỮNG CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. D. Nguyen Thai, V. Horák, D. Nguyen Van, D. Dao Van, H. Nguyen Van and L. Do Duc (2018), “Ballistics of Supercavitating Projectiles”, *Advances in Military Technology*, Vol. 13, No. 2, pp. 237-248, DOI 10.3849/aimt.01243 (**Scopus Indexed**).
2. H. Nguyen Van, Balla Jiri, D. Dao Van, B. Le Huu, D. Nguyen Van (2019), “Study of friction between breech block carrier and receiver assembly in amphibious rifle”, *International Conference on Military Technologies 2019 (ICMT'19 – 7th)*, May 30 – 31, Brno, Czech Republic, (2019). DOI: 10.1109/MILTECHS.2019.887.0134 (**Scopus Indexed**).
3. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan (2020), “A mathematical model of interior ballistics for the amphibious rifle when firing underwater and validation by measurement”, *Vietnam Journal of Science and Technology*, Vol.58, No.1. DOI:10.15625/2525-2518/57/6/13605, pp.92-106 (**ACI Indexed**).
4. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan, Nguyen Van Dung (2020), “The analysis of the motion of bolt-carrier for the amphibious rifles when shooting underwater in the initial period”, *Journal of Military Science and Technology, Academy of Military Science and Technology*, ISSN-1859-1043, Vol.67, pp.197-204.
5. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan (2020), “Determination of the water resistance force acting on the bolt carrier assembly in the amphibious rifle”, *Journal of Science and Technology/Military Technical Academy/ISSN-1859-0209*, Vol.205, pp.23-33.
6. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan, Nguyen Van Dung, Pham Hoang Viet (2020), “An approach method for the dynamic analysis of the amphibious rifle when shooting under water”, *Journal of Military Science and Technology, Academy of Military Science and Technology*, ISSN-1859-1043, Special Issue, No.66A, pp.103-116.
7. P. Konečný, V.D. Dao, V.H. Nguyen, H.B. Le (2020), “Interior Ballistics of Amphibious Rifle when Firing under Water”, *Advances in Military Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 137-148, DOI 10.3849/aimt.01327 (**Scopus Indexed**).
8. Nguyen Van Hung (2020), “Influence of the gas vent position on the initial movement of the bolt-carrier for the amphibious rifles when shooting under water”, *Journal of Science and Technology/Military Technical Academy/ISSN-1859-0209*, Vol.208, pp.127-136.
9. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan, Nguyen Van Dung, Do Duc Linh (2020), “A thermodynamic approach for the study of interior ballistics of an amphibious rifle”, *Journal of Science and Technology/Military Technical Academy/ISSN-1859-0209*, Vol.209, pp.47-61.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay, các nước trên thế giới đều xác định rằng trong chiến tranh tương lai cần kết hợp chặt chẽ giữa vũ khí trên cạn và vũ khí dưới nước, đặc biệt trong tình hình tranh chấp vùng biển có nhiều biến động. Trong xu thế đó, vũ khí tác chiến dưới nước nói chung và súng bắn hai môi trường nói riêng gần đây được nhiều nước đặc biệt quan tâm. Trước thời điểm xuất hiện súng bắn hai môi trường, các lực lượng tác chiến trong cả hai môi trường (nước/không khí) thường phải mang hai loại súng khác nhau: một loại để dùng tác chiến trên cạn, một loại chuyên dụng để tác chiến dưới nước (như khẩu SPP-1 và APS của Nga). Vì thế yêu cầu đặt ra là phải phát triển được những loại vũ khí dùng được trong cả hai môi trường.

Súng bắn hai môi trường là một loại súng trường tấn công có thể dùng được cả dưới nước và trên cạn. Sau thời điểm khẩu súng bắn hai môi trường đầu tiên ra đời năm 2000 (khẩu 5,45mm ASM-DT do Nga sản xuất), cho đến thời điểm hiện tại thì khẩu 5,45 mm ADS được ghi nhận là khẩu súng bắn hai môi trường hiện đại nhất hiện nay. Tuy nhiên các nghiên cứu về các loại vũ khí này, đặc biệt là tài liệu thiết kế gần như không được phổ biến.

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, các loại vũ khí tác chiến dưới nước bắt đầu được Quân đội ta quan tâm, đầu tư nghiên cứu. Mặc dù vậy, cho đến thời điểm hiện tại, mới chỉ có đề tài cấp Bộ quốc phòng “Nghiên cứu thiết kế, chế thử đồng bộ súng bắn hai môi trường và đạn bắn dưới nước trang bị cho lực lượng đặc công nước, người nhái” (Mã số: 2017.73.034) tập trung nghiên cứu, chế thử súng bắn hai môi trường trong điều kiện cơ sở lý thuyết gần như không có.

Do sự khác biệt giữa dưới nước và trên cạn khi bắn, nên trong quá trình thiết kế súng bắn hai môi trường nhiệm vụ đặt ra là phải xây dựng được mô hình máy tự động súng bắn hai môi trường; đồng thời, thông qua mô hình xây dựng được để đánh giá ảnh hưởng của các tham số (đặc biệt là các tham số kết cấu) đến hoạt động của máy tự động.

Xuất phát từ những phân tích trên, NCS chọn đề tài “*Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu thiết bị trích khí đến hoạt động của máy tự động súng bắn hai môi trường*” làm luận án tiến sĩ với mong muốn đóng góp cơ sở khoa học, tạo tiền đề cho quá trình nghiên cứu, thiết kế chế tạo súng bắn hai môi trường.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Bổ sung cơ sở khoa học về bài toán thuật phóng trong và mô hình động lực học máy tự động của súng bắn trong hai môi trường không khí và nước; làm cơ sở cho tính toán, khảo sát, đánh giá, lựa chọn hợp lý các tham số kết cấu phục vụ cho thiết kế, chế tạo súng bắn hai môi trường của Việt Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

- Đối tượng nghiên cứu: Máy tự động súng bắn hai môi trường theo nguyên lý trích khí nói chung và máy tự động cụ thể dùng cho một mẫu súng bắn hai môi trường được chế tạo theo thiết kế của đề tài cấp Bộ Quốc phòng (Mã số: 2017.73.034);

- Phạm vi nghiên cứu: Luận án chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu của thiết bị trích khí mà không xét đến ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên từ môi trường cũng như tác động của xạ thủ.

4. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng phương pháp nghiên cứu tính toán lý thuyết kết hợp với thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

- Ý nghĩa khoa học của luận án: Góp phần hoàn thiện mô hình tính toán động lực học máy tự động trong súng tiểu liên sử dụng nguyên lý trích khí đối với các môi trường bắn khác nhau.

- Ý nghĩa thực tiễn của luận án: Những kết quả nghiên cứu của luận án được áp dụng để thiết kế và hiệu chỉnh thiết kế súng bắn hai môi trường theo mẫu của đề tài mã số 2017.73.034.

6. Những đóng góp mới của luận án

- Xây dựng được mô hình toán để tính toán, khảo sát các tham số động học máy tự động của súng bắn trong hai môi trường nước và không khí.

- Bước đầu xác định được định tính và định lượng ảnh hưởng của một số tham số kết cấu chính của thiết bị trích khí đến hoạt động của máy tự động súng bắn hai môi trường khi bắn trong không khí và dưới nước.

7. Bố cục của luận án

Luận án được bố cục thành 04 chương, phần mở đầu và kết luận, trình bày trong 156 trang thuyết minh, 40 trang phụ lục (12 phụ lục), 30 bảng, 93 hình vẽ và đồ thị, sử dụng 117 tài liệu tham khảo. Cụ thể nội dung nghiên cứu của từng chương như sau:

Trong chương 1, luận án tiến hành nghiên cứu tổng quan về lịch sử phát triển và hiện trạng của súng bắn hai môi trường trên thế giới và Việt Nam; tổng quan về máy tự động theo nguyên lý trích khí và thiết bị trích khí; các công bố khoa học trong và ngoài nước có liên quan. Đối với mỗi phần, NCS sẽ phân tích, đánh giá để làm rõ tính cấp thiết của vấn đề cần nghiên cứu trong luận án. Trên cơ sở đó, NCS sẽ đề xuất các hướng nghiên cứu chính mà luận án cần thực hiện.

Chương 2 của luận án tập trung thiết lập mô hình tổng quát máy tự động của súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước. Mô hình này được xây dựng dựa trên sự kết hợp của hệ phương trình TPT – hệ phương trình nhiệt động buồng khí – hệ phương trình chuyển động của BKN khi bắn dưới nước bằng cách sử dụng các lý thuyết về nhiệt động lực học, cơ học, thủy khí,... Sau đó, khi bỏ đi các thành phần có kể đến ảnh hưởng do nước gây ra sẽ nhận được hệ phương trình khi bắn trong không khí.

Nội dung của chương 3 chủ yếu trình bày phương pháp giải đồng thời hệ phương trình thuật phóng trong – nhiệt động buồng khí – hệ phương trình chuyển động của máy tự động đã thiết lập sử dụng thuật giải số ODE45 trong phần mềm MATLAB. Trên cơ sở đó, tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một số tham số kết cấu thiết bị trích khí đến hoạt động của MTĐ để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng tham số.

Chương 4 của luận án tập trung vào việc nghiên cứu thực nghiệm với 5 hạng mục và so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả tính toán từ mô hình lý thuyết đã xây dựng ở các nội dung trước. Dựa vào kết quả so sánh này để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình lý thuyết.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Chương 1 của luận án trình bày các vấn đề tổng quan gồm: hiện trạng và lịch sử phát triển của súng bắn hai môi trường, một số vấn đề đặt ra khi thiết kế súng bắn hai môi trường, các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan. Qua nghiên cứu tổng quan, có thể nhận thấy:

- Súng bắn hai môi trường đã và đang là đối tượng nghiên cứu được Quân đội rất nhiều nước quan tâm, chú trọng;

- Động lực học MTĐ súng bắn hai môi trường theo nguyên lý trích khí có rất nhiều điểm khác biệt so với động lực học MTĐ truyền thống khi bắn trong không khí, đặc biệt là bài toán thuật phóng trong, nhiệt động buồng khí, lực cản của nước tác dụng lên các khâu.... Quá trình nghiên cứu SHMT đòi hỏi nhiều kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm, phải giải quyết nhiều vấn đề phức tạp do sự khác biệt của môi trường bắn (nước/không khí) và hai loại đạn sử dụng. Do đó không thể sử dụng mô hình tính toán về súng bắn trong không khí để áp dụng hoàn toàn cho súng bắn hai môi trường;

- Các công trình khoa học đã công bố liên quan đến súng bắn hai môi trường rất hạn chế hoặc công bố không đầy đủ do đây là loại vũ khí bí mật đối với các quốc gia. Đồng thời vẫn chưa có một mô hình phù hợp để nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của MTĐ súng bắn hai môi trường. Trong khi đó ở Việt Nam đây vẫn là vấn đề nghiên cứu mới. Do đó yêu cầu đặt ra cần phải có một mô hình phù hợp, sát với thực tế, chuyên sâu về ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến hoạt động của MTĐ súng bắn hai môi trường để làm cơ sở phục vụ cho việc tính toán thiết kế, tiến tới chế tạo hoàn thiện súng bắn hai môi trường. Đây cũng chính là mục tiêu nghiên cứu của luận án mà tác giả tập trung giải quyết.

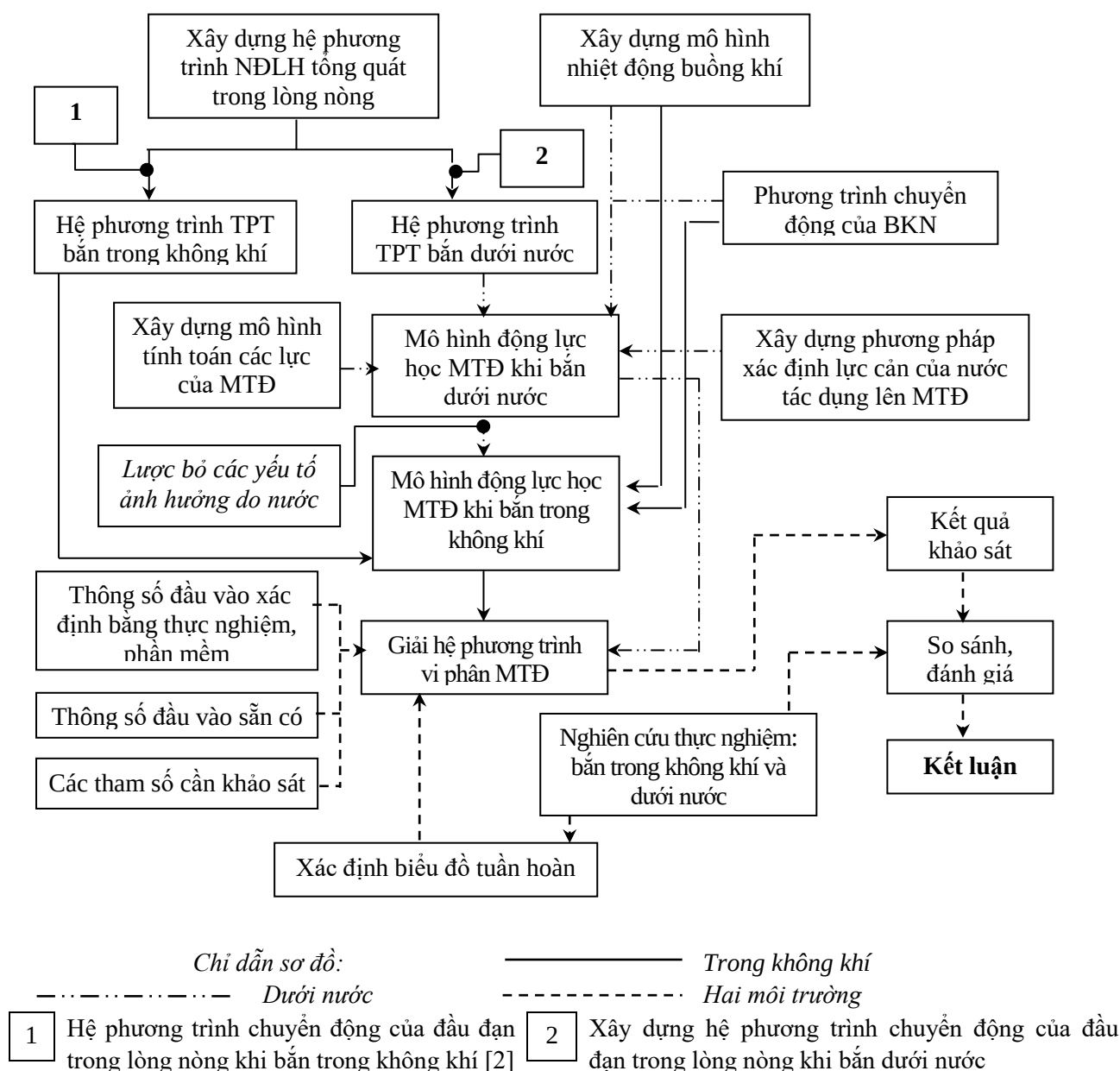
Từ những nhận xét trên, luận án dự định sẽ tập trung giải quyết các vấn đề cụ thể sau:

- Trên cơ sở áp dụng lý thuyết của hệ NDLH mở, tiến hành xây dựng mô hình nhiệt động trong lòng nòng - nhiệt động buồng khí phù hợp với súng bắn hai môi trường, sử dụng được cả trong hai trường hợp bắn trong không khí và dưới nước. Sau đó tiến hành xây dựng hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn dưới nước, để kết hợp với hệ NDLH trong lòng nòng tạo thành hệ phương trình vi phân thuật phóng trong khi bắn dưới nước. Riêng hệ phương trình vi phân TPT khi bắn trong không khí thì kết hợp giữa hệ NDLH trong lòng nòng với hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn trong không khí đang được giảng dạy tại HVKTQS;

- Xây dựng mô hình động lực học MTĐ của súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước; sau đó lược bỏ các yếu tố ảnh hưởng do nước gây ra để thu được mô hình động lực học MTĐ khi bắn trong không khí. Trên cơ sở mô hình xây dựng được, tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu quan trọng, đặc biệt là các tham số kết cấu thiết bị trích khí đến hoạt động của MTĐ súng bắn hai môi trường;

- Tiến hành một số nghiên cứu thực nghiệm để xác định một số thông số đầu vào phục vụ tính toán (hệ số ma sát, độ cứng lò xo,...) và một số thông số thuật phóng, thông số động học của MTĐ. Trên cơ sở đó đánh giá độ chính xác của mô hình lý thuyết. Đồng thời đưa ra các khuyến nghị trong quá trình thiết kế súng bắn hai môi trường.

Để giải quyết từng vấn đề, NCS đưa ra sơ đồ nội dung nghiên cứu cho toàn bộ nội dung luận án như hình 1.14.



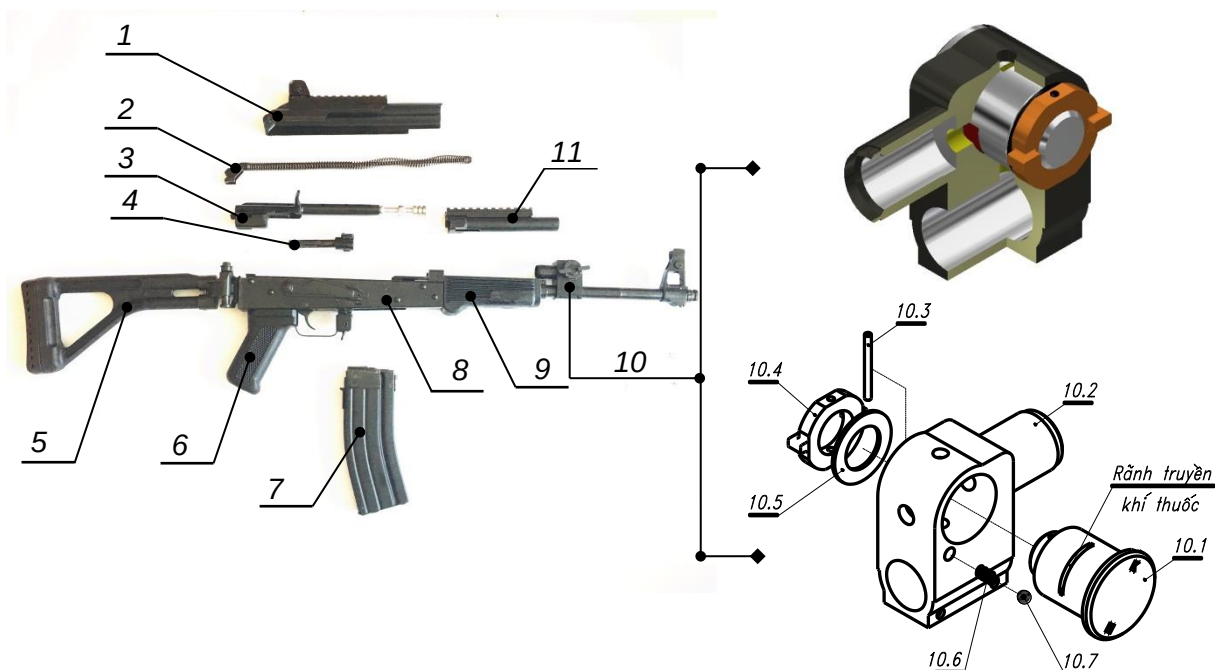
Hình 1.14. Sơ đồ nghiên cứu của luận án

CHƯƠNG 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC MÁY TỰ ĐỘNG SÚNG BẮN HAI MÔI TRƯỜNG

2.1. Nguyên lý kết cấu súng bắn hai môi trường

Do súng bắn hai môi trường là loại súng mới xuất hiện và chưa có ở Việt Nam, nên luận án lấy mẫu súng bắn hai môi trường theo thiết kế của đề tài cấp Bộ quốc phòng mã số: 2017.73.034 làm đối tượng áp dụng tính toán và thử nghiệm sau này.

Mẫu SHMT.V1 có cỡ nòng 5,56 mm, sử dụng nguyên lý trích khí, bắn hai loại đạn khác nhau nhưng sử dụng chung một hộp tiếp đạn. Khi bắn trong không khí, súng sử dụng đạn 5,56x45 mm NATO tiêu chuẩn; còn khi bắn dưới nước, súng sử dụng đạn bắn dưới nước chuyên dụng. Kết cấu của súng như hình 2.2.



Hình 2.2. Cấu tạo súng bắn hai môi trường theo thiết kế của đề tài mã số 2017.74.034

1. Cụm nắp hộp khóa nòng; 2. Cụm lò xo đẩy về; 3. Cụm bộ khóa nòng; 4. Cụm khóa nòng; 5. Cụm báng súng; 6. Tay cầm; 7. Hộp tiếp đạn; 8. Hộp khóa nòng (hộp súng); 9. Ốp lót tay; 10. Cơ cấu chuyển đổi môi trường bắn 10.1. Trụ điều chỉnh khí thuốc; 10.2. Khâu truyền khí; 10.3. Chốt; 10.4. Tay vặn; 10.5. Đệm; 10.6. Lò xo; 10.7. Bi.

Về máy tự động: sử dụng nguyên lý trích khí qua thành nòng, khóa nòng dọc, đóng khóa bằng cách quay khóa nòng như tiểu liên AK, nhưng có buồng khí kiểu động lực và có thêm cơ cấu chuyển đổi môi trường bắn. Cơ cấu chuyển đổi môi trường bắn hoạt động theo phương pháp thay đổi diện tích lỗ trích khí bằng hai rãnh có kích thước khác nhau trên trụ điều chỉnh khí thuốc. Khi bắn trong không khí sử dụng rãnh trích khí có diện tích tiết diện nhỏ (rãnh K), còn khi bắn dưới nước sử dụng lỗ trích khí có diện tích tiết diện lớn hơn (rãnh N).

2.2. Xây dựng hệ phương trình thuật phóng trong và nhiệt động buồng khí súng bắn hai môi trường

2.2.1. Các giả thiết

Để xây dựng hệ phương trình TPT và nhiệt động buồng khí SHMT, ta sử dụng một số giả thiết sau:

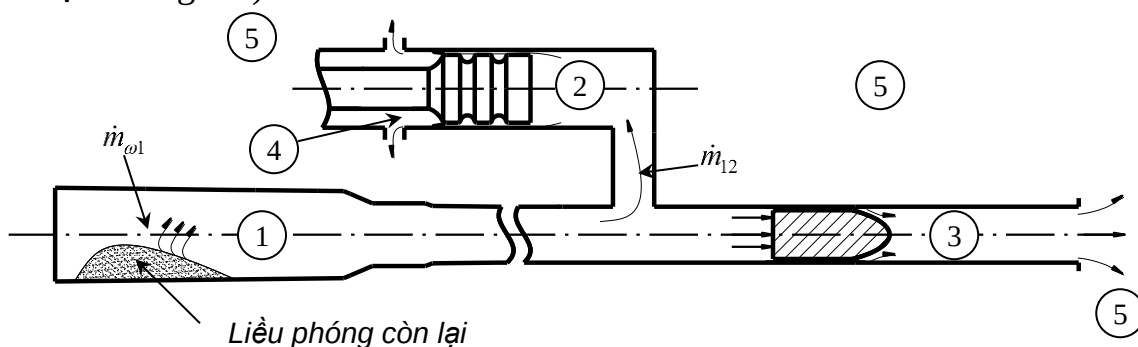
- Môi cháy liêu phóng xảy ra tức thì và thuốc phóng cháy theo quy luật hình học. Hỗn hợp khí thuốc phân bố đều trong thể tích sau đáy đạn;
- Bỏ qua thời kỳ tổng đạn;
- Coi dòng chảy khí thuốc qua các khoang là dòng một pha, tức là bỏ qua các hạt thuốc phóng chưa cháy hết và tạp chất. Đồng thời, coi khí thuốc là dòng khí thực;
- Không có sự chuyển pha của nước trong buồng khí (khi bắn dưới nước) và xem hệ phương trình nhiệt động buồng khí khi bắn trong hai trường hợp dưới nước/không khí cơ bản là như nhau.
- Cột nước phía trước đầu đạn chuyển động bằng với vận tốc của đầu đạn khi đầu đạn chuyển động trong nòng.

- Trong phát bắn dưới nước, khối lượng đầu đạn tổng chuyển động được tính bằng tổng khối lượng thực của đầu đạn và khối lượng cột nước phía trước đầu đạn trong lòng nòng;

- Nước là chất lỏng không nén được;
- Bỏ qua chuyển động quay của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn dưới nước.
- Điều kiện xảy ra phát bắn: nòng súng nằm ngang và nước ở trạng thái tĩnh.

2.2.2. Mô hình

Mô hình để tính toán được đưa ra như hình 2.4. Trong đó, các khoang làm việc được ký hiệu như sau: khoang 1 là vùng không gian phía sau đáy đạn; khoang 2 là buồng khí; khoang 3 là vùng không gian phía trước đầu đạn (nước hoặc không khí); khoang 4 là vùng không gian phía sau piston; khoang 5 là môi trường xung quanh (nước hoặc không khí).



Hình 2.4. Mô hình tính toán thuật phóng trong và nhiệt động buồng khí

2.2.3. Hệ phương trình nhiệt động tổng quát trong lòng nòng cho súng bắn hai môi trường

Áp dụng lý thuyết hệ nhiệt động lực học mở cho khoang 1 và lý thuyết cháy của thuốc phóng ta xây dựng được, hệ phương trình nhiệt động lực học tổng quát trong lòng nòng như hệ phương trình (2.28).

2.2.4. Xây dựng hệ phương trình nhiệt động buồng khí tổng quát cho súng bắn hai môi trường

Bằng phương pháp tương tự, ta được hệ phương trình nhiệt động buồng khí tổng quát như (2.33).

2.2.5. Hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng

a. Khi bắn dưới nước

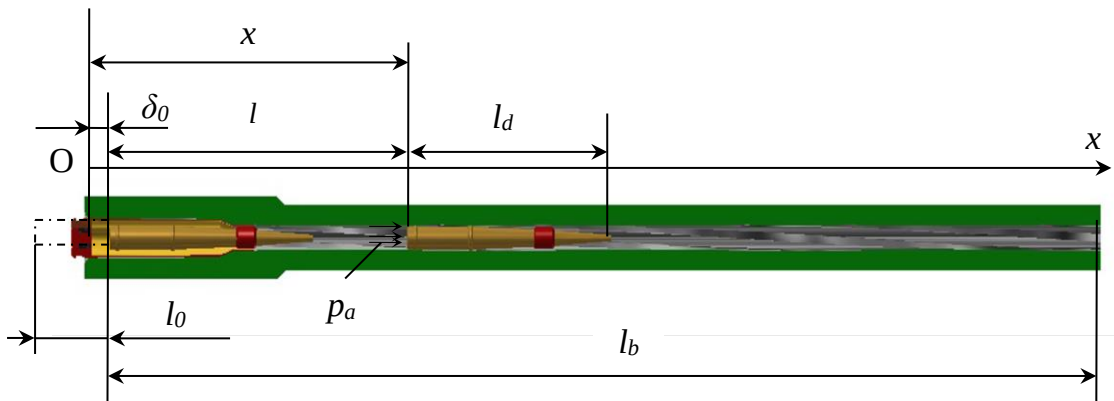
Sơ đồ nghiên cứu chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng như hình 2.7. Sau khi áp dụng định luật II Newton và lý thuyết thủy động lực học ta xây dựng được hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn dưới nước như (2.46). Kết hợp giữa hệ phương trình NĐLH tổng quát trong lòng nòng (hệ phương trình 2.28) với phương trình chuyển động của đạn trong lòng nòng (hệ phương trình 2.46) cùng với một số chú ý khi bắn dưới nước ta sẽ được hệ phương trình thuật phóng trong cho súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước.

b. Khi bắn trong không khí

Hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn trong không khí là bài toán cơ bản, được nghiên cứu trong các tài liệu [23] [31] [45] [46] [55] [58].

Kết hợp giữa hệ phương trình 2.28 với phương trình chuyển động của đạn trong lòng nòng, ta được hệ phương trình thuật phóng trong cho súng bắn hai môi trường khí bắn trong không khí.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} &= \frac{1}{m_1} \left[\frac{dQ_1}{dt} \cdot \frac{1}{C_v} + \dot{m}_{o1} (\gamma T_v - T_1) - (\gamma - 1) (\dot{m}_{12} + \dot{m}_{15} + \dot{m}_{13}) T_1 - \frac{p_1 \cdot v_d \cdot S_d}{C_v} \right] \\ \frac{dQ_1}{dt} &= A \cdot \sigma_T \cdot F \cdot \frac{1}{R} \left(1 - \frac{T_{tn}}{T_1} \right) \cdot p_1 \\ \frac{dm_1}{dt} &= \dot{m}_{o1} - (\dot{m}_{12} + \dot{m}_{15} + \dot{m}_{13}) \\ \frac{dV_1}{dt} &= v_d \cdot S_d \\ v_1 &= \frac{V_1}{m_1} \\ p_1 &= \frac{RT_1}{v_1 - \alpha} \\ \dot{m}_{o1} &= \omega_0 \cdot \phi(z) \cdot \frac{f(p)}{I_k} \\ \dot{m}_{12} &= \mu_{12} \cdot \frac{A_{12} \cdot \vartheta_{12}}{v_1} \\ \dot{m}_{15} &= \mu_{15} \cdot \frac{A_{15} \cdot \vartheta_{15}}{v_1} \\ \dot{m}_{13} &= \mu_{13} \cdot \frac{A_{13} \cdot \vartheta_{13}}{v_1} \\ \vartheta_{12} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_1 - T_2)}; \frac{v_1}{v_1 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_1^*} \right\} \\ \vartheta_{15} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_1 - T_5)}; \frac{v_1}{v_1 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_5^*} \right\} \\ \vartheta_{13} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_1 - T_3)}; \frac{v_1}{v_1 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_3^*} \right\} \end{aligned} \right. \quad (2.28)$$



Hình 2.7. Sơ đồ nghiên cứu chuyển động của đạn và cột nước trong lòng nòng.

$$\left\{ \begin{aligned}
\frac{dT_2}{dt} &= \frac{1}{m_2} \left[\frac{dQ_2}{dt} \cdot \frac{1}{C_v} + \dot{m}_{12} (\gamma T_1 - T_2) - (\gamma - 1) (\dot{m}_{24} + \dot{m}_{25}) T_2 - \frac{p_2 \cdot v_p \cdot S_p}{C_v} \right] \\
\frac{dQ_2}{dt} &= A \cdot \sigma_T \cdot F_p \cdot \frac{1}{R} \left(1 - \frac{T_p}{T_2} \right) \cdot p_2 \\
\frac{dm_2}{dt} &= \dot{m}_{12} - (\dot{m}_{24} + \dot{m}_{25}) \\
\frac{dV_2}{dt} &= v_p \cdot S_p \\
v_2 &= \frac{V_2}{m_2} \\
p_2 &= \frac{RT_2}{v_2 - \alpha} \\
\dot{m}_{12} &= \mu_{12} \cdot \frac{A_{12} \cdot \vec{v}_{12}}{v_1} \\
\dot{m}_{24} &= \mu_{24} \cdot \frac{A_{24} \cdot \vec{v}_{24}}{v_2} \\
\dot{m}_{25} &= \mu_{25} \cdot \frac{A_{25} \cdot \vec{v}_{25}}{v_2} \\
\mathcal{G}_{12} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_1 - T_2)}; \frac{v_1}{v_1 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_1^*} \right\} \\
\mathcal{G}_{24} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_2 - T_4)}; \frac{v_2}{v_2 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_2^*} \right\} \\
\mathcal{G}_{25} &= \min \left\{ \sqrt{2C_p (T_2 - T_5)}; \frac{v_2}{v_2 - \alpha} \cdot \sqrt{\gamma RT_2^*} \right\}
\end{aligned} \right. \quad (2.33)$$

$$\left\{ \begin{aligned}
&S \left(\frac{p_1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega \cdot D}{m_t \cdot S}}{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{m_t}} \right) - D \\
\frac{dv_d}{dt} &= \frac{\left(\frac{p_1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega \cdot D}{m_t \cdot S}}{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{m_t}} \right) - D}{m_t} \\
\frac{dl}{dt} &= v_d \\
D &= \left[(p_{atm} + \rho_n gh) S + \frac{1}{2} \rho_n v_d^2 S + \frac{1}{2} C_f \rho_n v_d^2 \pi d (l_b - l_d - l) \right] \\
m_t &= m_d + \rho_n S (l_b - l_d - l)
\end{aligned} \right. \quad (2.46)$$

2.3. Mô hình động lực học máy tự động súng bắn hai môi trường

2.3.1. Mô hình động lực học máy tự động súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước

a. Giả thiết và mô hình

Cùng với các giả thiết khi nghiên cứu thuật phóng trong và nhiệt động buồng khí, việc xây dựng mô hình động lực học MTĐ súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước sẽ sử dụng thêm các giả thiết sau:

- Coi hộp súng là cố định, đồng thời bỏ qua chuyển động quay, lắc và chuyển động theo phương thẳng đứng của khâu cơ sở. Tức là chỉ nghiên cứu chuyển động của BKN theo phương của trục nòng súng;

- Không quan tâm đến bài toán ổn định của súng khi bắn;

- Bỏ qua sự va đập giữa đường trượt trên hộp súng với rãnh trượt trên BKN trong quá trình chuyển động;

- Bỏ qua tổn thất nội năng của lò xo, chỉ quan tâm đến lực tác dụng của lò xo lên khâu cơ sở;

- Thừa nhận rằng không có sự chuyển pha trong buồng khí khi khí thuốc đi vào buồng khí;

- Bỏ qua ảnh hưởng của sóng xung kích đến hoạt động của máy tự động.

Mô hình động lực học của súng bắn hai môi trường khi bắn dưới nước như hình 2.10. Trong mô hình này, để tính toán ta chia quá trình hoạt động của máy tự động thành 4 giai đoạn, sau đó phân tích lực tác dụng vào BKN ứng với từng giai đoạn:

- Giai đoạn 1: Từ thời điểm phát hỏa đến khi đầu đạn bắt đầu chuyển động;

- Giai đoạn 2: Từ sau giai đoạn 1 đến khi đáy đầu đạn tới vị trí lỗ trích khí (chưa có khí thuốc vào buồng khí);

- Giai đoạn 3: Từ sau giai đoạn 2 (bắt đầu có khí thuốc vào buồng khí) đến hết hành trình lùi của BKN;

- Giai đoạn 4: Từ cuối giai đoạn 3 đến hết hành trình đẩy lên của BKN.

Phương trình chuyển động của BKN theo trục Ox bằng phương trình sau:

$$M \cdot \ddot{x}_p = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.51)$$

trong đó: M - khối lượng chuyển động [kg]; $\ddot{x}_p$ - gia tốc của piston và bộ khóa [m/s²];

$\sum_{i=1}^n F_i$ - các lực tác dụng lên BKN theo phương Ox trong quá trình chuyển động [N].

b. Phân tích các lực tác dụng lên Piston và bộ khóa khi bắn dưới nước

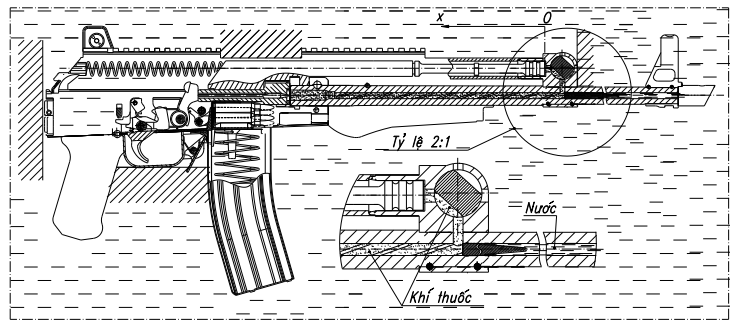
* Giai đoạn 1: không có ngoại lực tác dụng lên BKN.

* Giai đoạn 2: chưa có khí thuốc đi vào trong buồng khí nhưng đã có dòng nước chuyển động trong buồng khí tác dụng vào bề mặt piston. Tùy thuộc vào độ lớn vận tốc của dòng nước mà piston có thể dịch chuyển hoặc không.

- Điều kiện chuyển động của Piston:

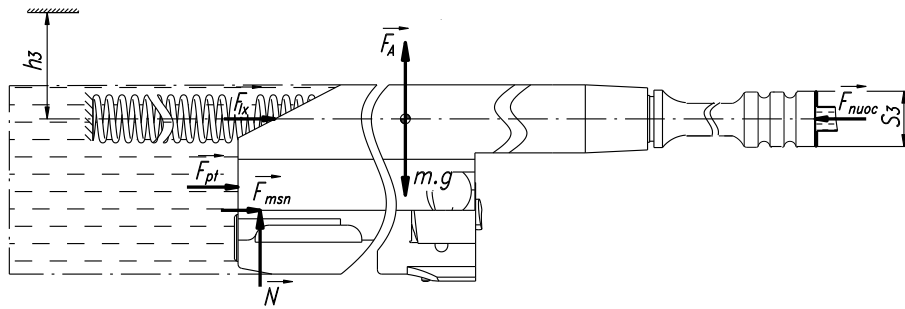
Sau khi phân tích các lực tác dụng vào BKN (hình 2.12), ta sẽ tìm được điều kiện để BKN chuyển động trong giai đoạn này như (2.53).

$$v_3 \geq \sqrt{\frac{2[F_{lx0} - \rho_n g h_3 \cdot S_3 + \rho_n g h_3 \cdot S_{bk} + f_b(mg - V_{bk} \rho_n g)]}{\rho_n \cdot S_3}} \quad (2.53)$$



Hình 2.10. Mô hình động lực học máy tự động SHMT khi bắn dưới nước

Áp dụng đối với súng bắn hai môi trường được nghiên cứu trong luận án, ta tính được: $v_3 \geq 12,95 \text{ (m/s)}$

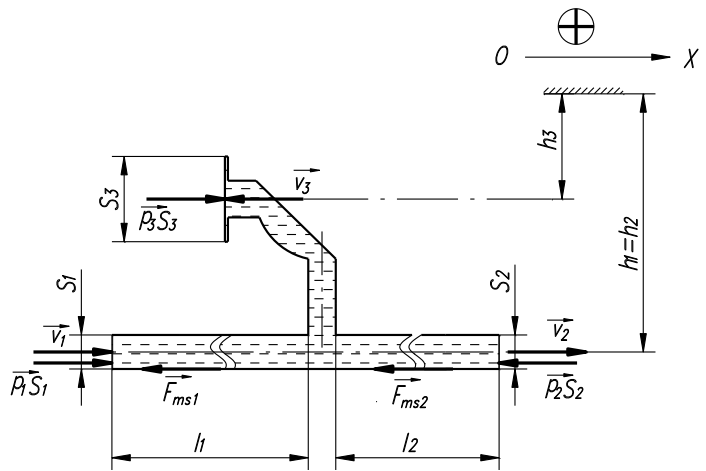


Hình 2.12. Sơ đồ chịu lực của piston và bộ khóa trong giai đoạn
- **Tính toán vận tốc dòng nước tác dụng vào bề mặt piston:**

Mô hình tính toán được xây dựng như hình 2.13. Cuối cùng ta xây dựng được mối liên hệ giữa các vận tốc như (2.59).

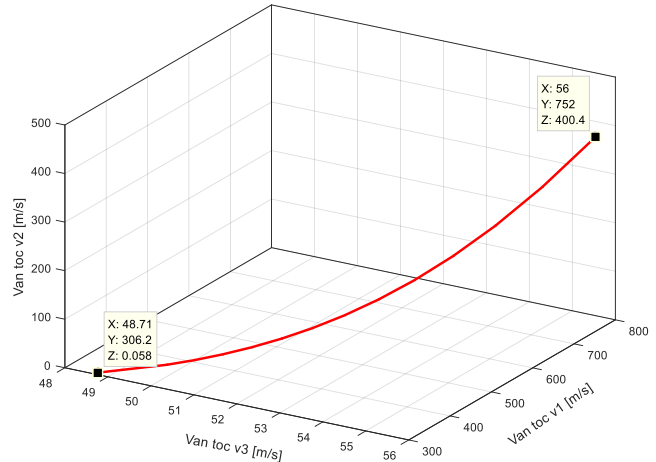
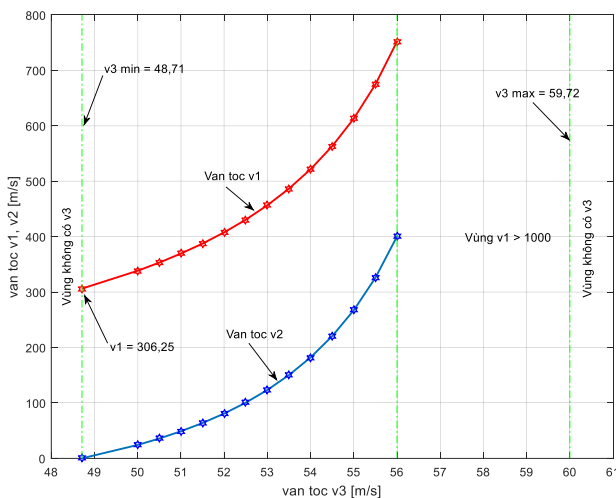
Tiến hành khảo sát hệ phương trình (2.59) ứng với các giá trị đầu vào v_1 khác nhau ta nhận được các kết quả dạng như đồ thị trên hình 2.14.

Qua việc khảo sát trên, có thể kết luận rằng: Đối với mẫu súng bắn hai môi trường mà luận án nghiên cứu, trong giai đoạn đầu đạn chưa đi qua lỗ trích khí (khí thuốc chưa vào buồng khí) thì BKN sẽ không chuyển động.



Hình 2.13. Mô hình tính toán kiểm tra vận tốc các dòng nước

$$\begin{cases} v_1 S_1 = v_2 S_2 + v_3 S_3 \\ \left(-\beta_1 S_1 - \frac{1}{2} S_1 + \frac{1}{2} C_{f1} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \right) \cdot v_1^2 + \left(\beta_2 S_2 + \frac{1}{2} S_2 + \frac{1}{2} C_{f2} \cdot \pi \cdot d \cdot l_2 \right) \cdot v_2^2 + \left(-\beta_3 S_3 - \frac{1}{2} S_3 \right) \cdot v_3^2 = gh_1 S_1 - gh_2 S_2 + gh_3 S_3 \end{cases} \quad (2.59)$$

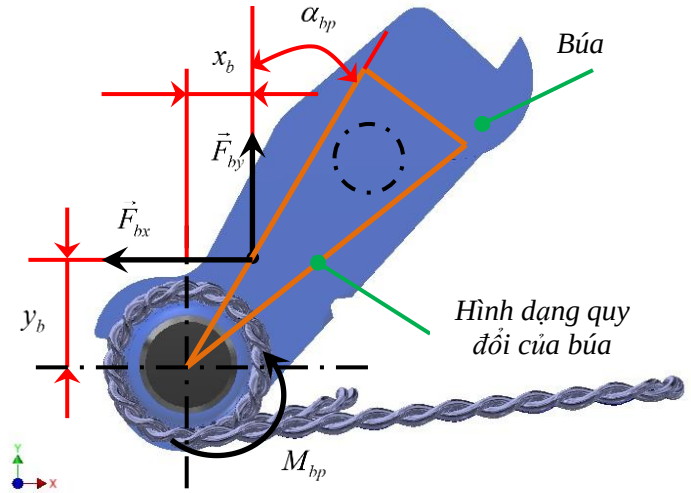


Hình 2.14. Mối quan hệ giữa các vận tốc v_1, v_2, v_3 .

* **Giai đoạn 3:** khí thuốc bắt đầu đi vào buồng khí, piston mới bắt đầu chuyển động. Tùy theo quãng đường chuyển động, mà BKN sẽ chịu tác dụng của các lực sau:

$$\begin{cases} F_{bx} = F_b \cdot \cos \alpha_{bp} \\ F_{by} = F_b \cdot \sin \alpha_{bp} \end{cases} \quad (2.70)$$

$$\text{Với: } \begin{cases} F_b = \frac{M_{bp0} + C_{bp} \cdot \alpha_{bp}}{r_s} \\ r_s = \sqrt{x_b^2 + y_b^2} \\ \alpha_{bp} = \arctan\left(\frac{x_b}{y_b}\right) \end{cases} \quad (2.71)$$



Hình 2.18. Mô hình tính lực búa tác dụng lên BKN

- Lực tì của viên đạn trên cùng trong hộp tiếp đạn:

Sơ đồ tính toán như hình 2.20. Công thức tính lực tì của viên đạn trên cùng trong hộp tiếp đạn như sau:

$$F_{ON} = F_{hd} - g \cdot (n_{hd} \cdot m_{vd} + m_{bn})$$

trong đó: F_{hd} - lực lò xo hộp tiếp đạn; n_{hd} - tổng số viên đạn có trong hộp tiếp đạn; m_{vd} - khối lượng của 01 viên đạn; m_{bn} - khối lượng bàn nâng đạn;

* Giai đoạn 4:

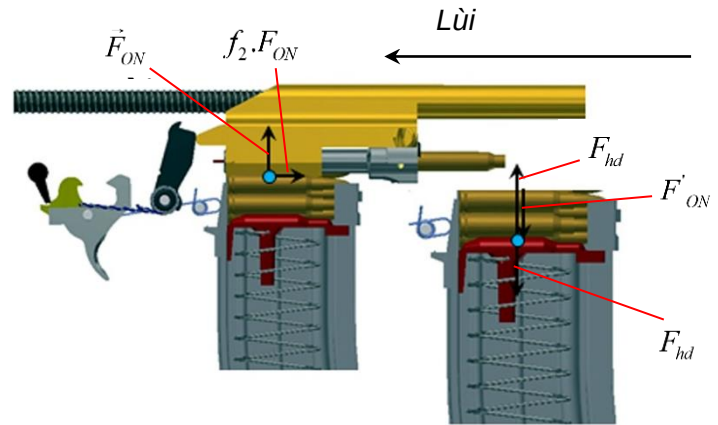
Trong giai đoạn này, lò xo đẩy về bắt đầu giải phóng năng lượng đẩy BKN về vị trí trên cùng. Một đặc điểm nổi bật trong giai đoạn 4 chính là sự tác dụng của lượng nước đã điền đầy trong buồng khí lên mặt đầu piston khi đẩy lên và của lượng nước ban đầu trong buồng đạn lên viên đạn khi tổng đạn, gây cản trở chuyển động của BKN. Lực cản của nước được chia thành 03 thời kỳ để tính:

- *Thời kỳ 1:* Từ lúc bắt đầu đẩy lên đến khi BKN cách vị trí trên cùng một đoạn bằng chiều dài vỏ đạn (đối với mẫu súng khảo sát: 45 mm): Theo công thức (2.64).

- *Thời kỳ 2:* Tiếp theo thời kỳ 1 đến khi BKN cách vị trí trên cùng một khoảng bằng chiều dài tác dụng của buồng khí (đối với mẫu súng khảo sát: 22 mm):

$$F_{cn2} = \rho_n g \left[hS + \left(h_2 - h + \frac{d}{2} \right) S_1 \right] + \frac{1}{2} \rho_n \left[C_D \cdot A + S - S_1 + C_f \cdot S_{xp} + S_1 \left(\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_2^2} \right) \right] v_1^2 \quad (2.79)$$

- *Thời kỳ 3:* Tiếp theo thời kỳ 2 đến hết giai đoạn đẩy lên:



Hình 2.20. Sơ đồ tính lực tì của viên đạn trên cùng trong hộp tiếp đạn

$$F_{cn3} = \rho_n g \left[h(S - S_1 - S_3) + \left(h_2 + \frac{d}{2} \right) S_1 + h_1 S_3 \right] + \frac{1}{2} \rho_n \left[(C_D \cdot A + S - S_1 - S_3 + C_f \cdot S_{xp}) + S_1 \left(\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_2^2} \right) + S_3 \left(\frac{S_3^2 - S_4^2}{S_4^2} \right) \right] v_1^2 \quad (2.82)$$

Chu kỳ tính toán kết thúc khi x bằng 0.

2.3.2. Mô hình động lực học máy tự động súng bắn hai môi trường khi bắn trong không khí

Mô hình động lực học máy tự động khi bắn trong không khí được xây dựng từ mô hình khi bắn dưới nước sau khi bỏ đi các thành phần có kể đến ảnh hưởng của nước.

2.4. Giải hệ phương trình vi phân máy tự động

Luận án này sử dụng phương pháp số với thuật giải ODE45 trong môi trường của phần mềm MATLAB để giải đồng thời các hệ phương trình. Việc giải hệ phương trình được kết hợp chặt chẽ với biểu đồ tuần hoàn của súng. Biểu đồ này được xây dựng bằng cách đo đạc, phân tích trực tiếp trên súng.

CHƯƠNG 3. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THAM SỐ KẾT CẤU THIẾT BỊ TRÍCH KHÍ ĐẾN HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY TỰ ĐỘNG SÚNG BẮN HAI MÔI TRƯỜNG

3.1. Áp dụng tính toán đối với mẫu súng bắn hai môi trường theo thiết kế của đề tài mã số 2017.73.034

Tiến hành giải đối với 02 phương án bắn khác nhau: bắn trong không khí bằng đạn tiêu chuẩn 5,56x45 mm trên rãnh K, bắn dưới nước bằng đạn bắn dưới nước chuyên dụng trên rãnh N. Các kết quả nhận được như các hình từ 3.2 đến 3.6 và bảng 3.2.

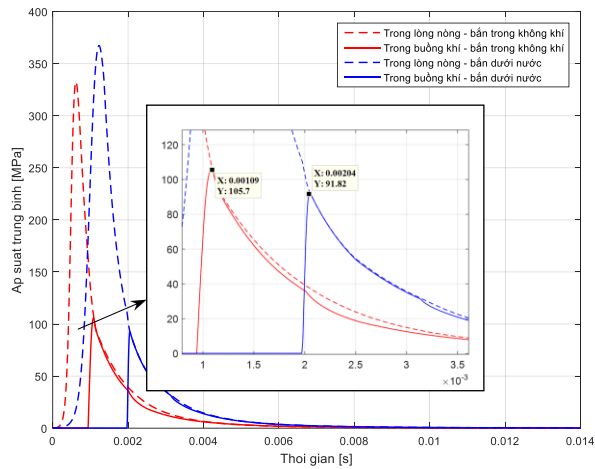
Dựa vào kết quả này, chúng ta rút ra một số nhận xét sau:

Bảng 3.2. Kết quả tính toán thuật phóng trong – nhiệt động buồng khí – động lực học

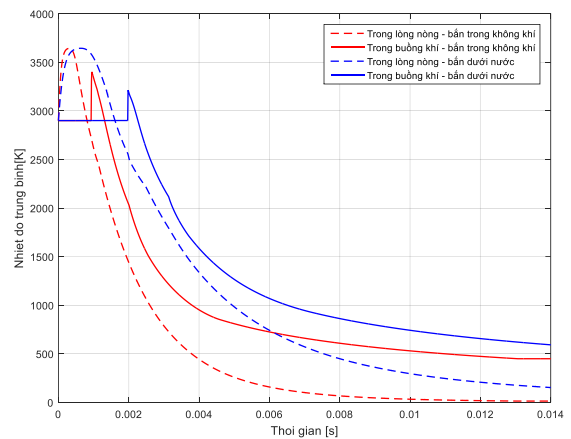
Thông số	Đơn vị	Phương án bắn	
		Trong không khí	Dưới nước
Thuật phóng trong – nhiệt động buồng khí			
Áp suất lớn nhất trong lòng nòng	MPa	330,8	367,3
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	105,9	92,57
Nhiệt độ lớn nhất trong lòng nòng	K	3643	3644
Nhiệt độ lớn nhất trong buồng khí	K	3401	3213
Sơ tốc đầu đạn	m/s	863,1	320,7
Động học			
Tổng thời gian chuyển động của BPKN	ms	86,96	113
Thời gian lùi	ms	31,3	36,01
Thời gian đẩy lên	ms	55,66	76,99
Vận tốc của BKN tại vị trí sau cùng	m/s	3,599	1,5
Vận tốc lớn nhất của BKN	m/s	7,879	7,047
Thời gian đạt vận tốc lớn nhất	ms	2,01	3,13
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/phút	588	465

- Mặc dù khối lượng thuốc phóng của đạn dưới nước chỉ bằng 0,5 lần khối lượng thuốc phóng của đạn 5,56x45 mm tiêu chuẩn, nhưng áp suất khí thuốc trong lòng khi bắn dưới nước lại lớn hơn khi bắn trong không khí 1,11 lần (hình 3.2). Áp suất trong lòng nòng khi bắn dưới nước lớn hơn trong không khí (dù cho khối lượng thuốc phóng nhỏ hơn), ngoài lý do diện tích tiết diện trích khí khi bắn dưới nước lớn hơn, còn có

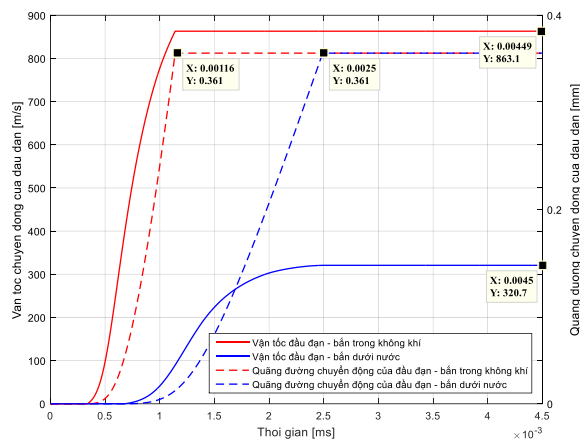
thể do nguyên nhân sau: Khi bắn dưới nước, lực cản tác dụng lên đầu đạn lớn hơn so với khi bắn trong không khí, làm cho đầu đạn chuyển động chậm hơn; tức là thể tích không gian sau đáy đạn khi bắn dưới nước nhỏ hơn khi bắn trong không khí tại cùng một thời điểm (trước khi đến lỗ trích khí). Kết quả là áp suất khí thuốc sẽ lớn hơn;



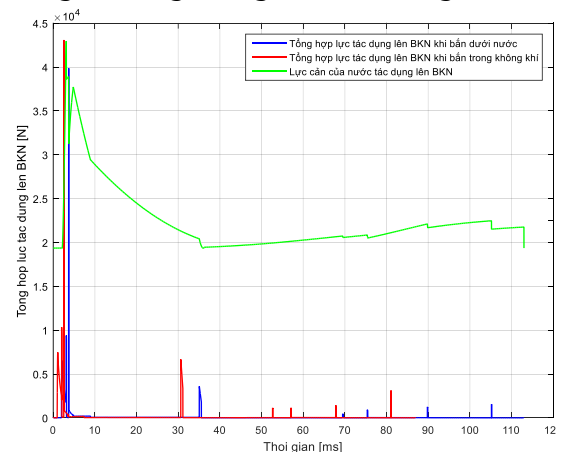
Hình 3.2. Sự thay đổi áp suất trong lòng nòng và trong buồng khí theo thời gian



Hình 3.3. Sự thay đổi nhiệt độ trong lòng nòng và trong buồng khí theo thời gian



Hình 3.4. Sự thay đổi quãng đường và vận tốc chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng theo thời gian



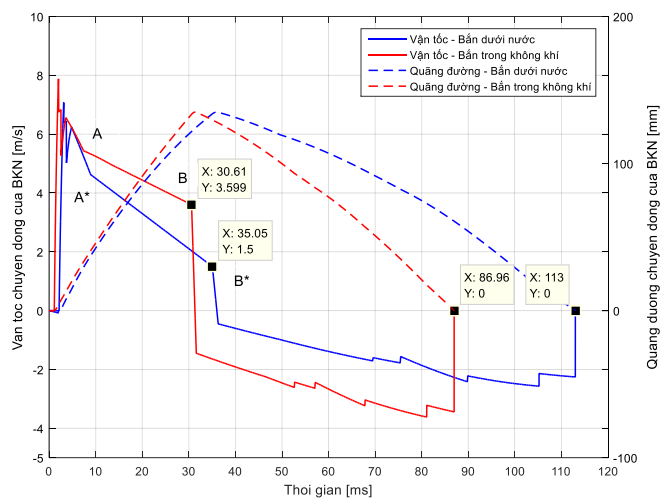
Hình 3.5. Tổng hợp lực và lực cản của nước tác dụng lên BKN theo thời gian

- Khi bắn dưới nước, áp suất khí thuốc trong buồng khí đạt đỉnh giá trị lớn nhất (tại 2,04 ms) chậm hơn so với khi bắn trong không khí (tại 1,09 ms) (hình 3.2). Nguyên nhân do khi bắn dưới nước đầu đạn chuyển động chậm hơn so với trong không khí (hình 3.4). Tức là thời điểm mở lỗ trích khí cũng chậm hơn so với khi bắn trong không khí;

- Khi bắn dưới nước, vận tốc lớn nhất của BKN thấp hơn so với khi bắn trong không khí (7,047 m/s so với 7,879 m/s). Đồng thời thời gian chuyển động của BKN trong toàn bộ chu trình lớn hơn. Kết quả là tốc độ bắn lý thuyết khi bắn trong không khí (588 phát/phút), lớn hơn so với khi bắn dưới nước (465 phát/phút). Khi so sánh với tốc độ bắn của các loại súng hiện có, thì tốc độ bắn của súng hai môi trường theo thiết kế này là hoàn toàn phù hợp.

- Sơ tốc đầu đạn trong trường hợp bắn dưới nước (320,7 m/s) chỉ bằng khoảng 0,37 lần khi bắn trong không khí (863,1 m/s) (hình 3.4). Hiện tượng này là sự kết hợp của hai nguyên nhân: do lực cản tác dụng lên đầu đạn lớn khi bắn dưới nước và khối lượng thuốc phóng nhỏ hơn. Trong khi khối lượng đầu đạn dưới nước lớn hơn khối lượng đầu đạn 5,56x45 mm tiêu chuẩn;

- Sự khác biệt về thời gian chuyển động của BKN rõ rệt nhất trong giai đoạn đẩy lên (lệch nhau 21,33 ms), còn trong giai đoạn lùi không rõ nét (lệch nhau 4,71 ms). Hiện tượng này có thể giải thích như sau: trong giai đoạn lùi, ban đầu lực của khí thuốc rất lớn nên ảnh hưởng do lực cản của nước không nhiều. Tuy nhiên đến giai đoạn đẩy lên, không còn khí thuốc tác dụng, trong khi lực cản của nước lại tăng lên theo tốc độ của BKN.



Hình 3.6. Quãng đường và vận tốc chuyển động của BKN theo thời gian

- Trong giai đoạn lùi, sau khi đạt vận tốc cực đại, sự sụt tốc của BKN cũng khác nhau trong hai môi trường bắn. Cụ thể: khi bắn dưới nước, BKN sụt tốc nhanh hơn so với khi bắn trong không khí (độ dốc của đường A*B* lớn hơn đường AB – hình 3.6).

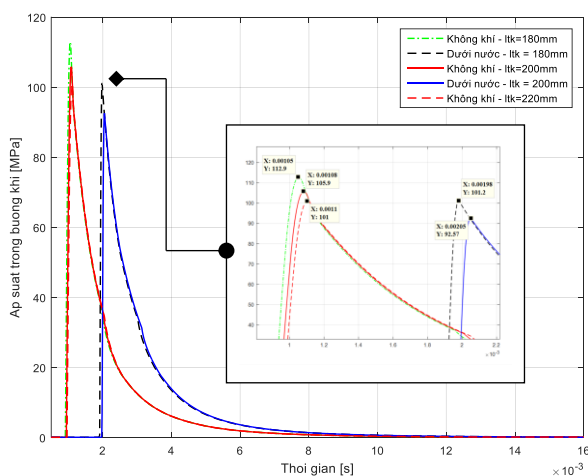
3.4. Khảo sát ảnh hưởng của một số tham số kết cấu đến hoạt động của máy tự động súng bắn hai môi trường

Phạm vi luận án chỉ quan tâm khảo sát ảnh hưởng của 05 tham số sau: vị trí lỗ trích khí; diện tích tiết diện trích khí; khe hở giữa piston và thành buồng khí; chiều dài ban đầu của buồng khí; vị trí lỗ xả khí.

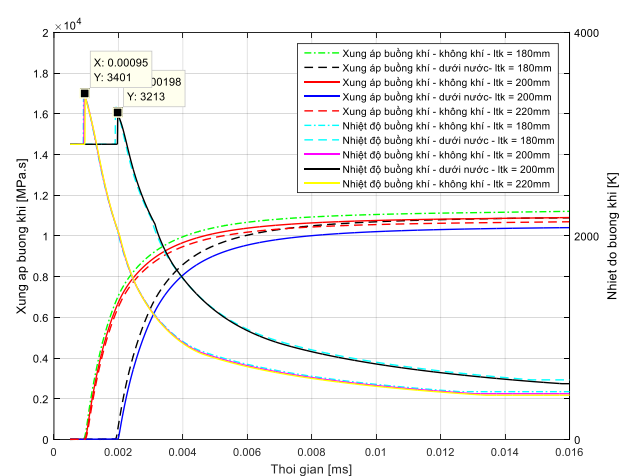
3.4.1. Ảnh hưởng của vị trí lỗ trích khí

Để đánh giá ảnh hưởng của vị trí lỗ trích khí tới hoạt động của MTĐ, ta tiến hành khảo sát ở 04 vị trí lỗ trích khí khác nhau (lần lượt cách đuôi nòng 180 mm, 200 mm, 220 mm, 252 mm). Khi tiến hành khảo sát, ta giữ nguyên các tham số còn lại của súng, chỉ thay đổi vị trí lỗ trích khí. Bắn trên cạn bằng đạn 5,56x45mm tiêu chuẩn, trụ điều chỉnh khí thuốc ở vị trí K; bắn dưới nước bằng đạn dưới nước, trụ điều chỉnh khí thuốc ở vị trí N.

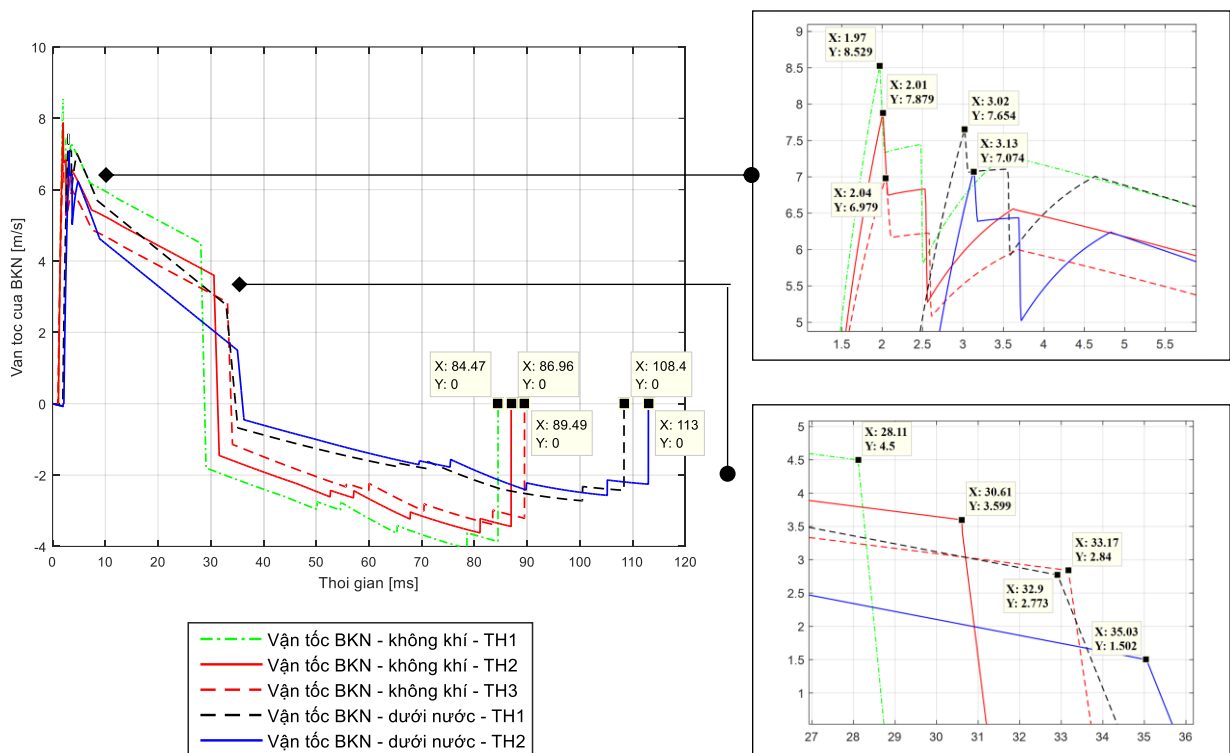
Các kết quả khảo sát được trình bày từ hình 3.7 đến hình 3.9 và bảng 3.5.



Hình 3.7. Ảnh hưởng của vị trí lỗ trích khí đến áp suất khí thuốc trong buồng khí



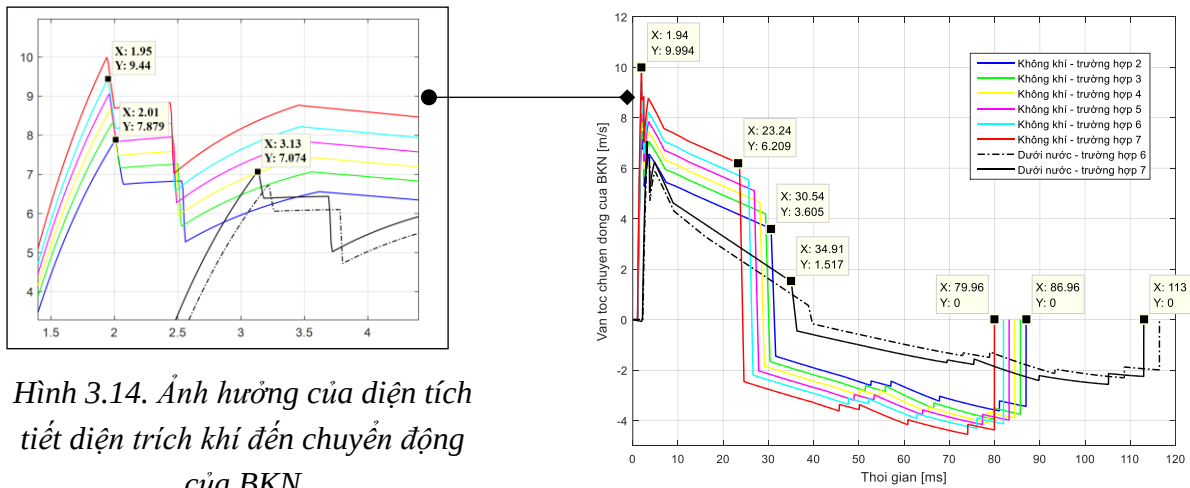
Hình 3.8. Ảnh hưởng của vị trí lỗ trích khí đến nhiệt độ và xung áp buồng khí



Hình 3.9. Ảnh hưởng của vị trí lỗ trích khí đến chuyển động của BKN

3.4.2. Ảnh hưởng diện tích tiết diện trích khí

NCS chia thành 7 trường hợp để khảo sát trong điều kiện giữ nguyên các thông số khác của súng. Một số kết quả khảo sát được trình bày tại bảng 3.7 và hình các hình từ 3.11 đến 3.14.



Hình 3.14. Ảnh hưởng của diện tích tiết diện trích khí đến chuyển động của BKN

Bảng 3.7. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của diện tích tiết diện trích khí

Thông số	Đơn vị	Trường hợp khảo sát							
		Trường hợp 1		Trường hợp 2		Trường hợp 3		Trường hợp 4	
		KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	Không lùi hết hành trình	Không lùi hết hành trình	105,9	Không lùi hết hành trình	112,6	Không lùi hết hành trình	117,2	Không lùi hết hành trình
Nhiệt độ lớn nhất trong buồng khí	K			3401		3401		3401	
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms			86,96		85,71		84,47	
Vận tốc lớn nhất của BKN	m/s			7,88		8,3		8,68	
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s			3,6		4,19		4,65	
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/ phút			588		596		603	

Thông số	Đơn vị	Trường hợp khảo sát					
		Trường hợp 5		Trường hợp 6		Trường hợp 7	
		KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	120,7	Không lùi hết hành trình	123,4	90,45	125,1	92,57
Nhiệt độ lớn nhất trong buồng khí	K	3401		3401	3212	3401	3213
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms	83,22		81,97	116,5	79,96	113
Vận tốc lớn nhất của BKN	m/s	9,06		9,44	6,73	10	7,07
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	5,12		5,55	0,57	6,2	1,5
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/phút	611		619	453	632	465

3.4.3. Ảnh hưởng của khe hở giữa piston và thành buồng khí

Tiến hành khảo sát trong 05 trường hợp (bảng 3.10), trong đó: 04 trường hợp đầu ứng với các kích thước lớn nhất/nhỏ nhất của piston - thành buồng khí; 01 trường hợp ứng với kích thước có sắc xuất xuất hiện cao nhất trong quá trình chế tạo piston và khâu truyền khí (được xác định theo lý thuyết độ tin cậy với 100 mẫu thử nghiệm). Một số kết quả khảo sát nhận được như bảng 3.11.

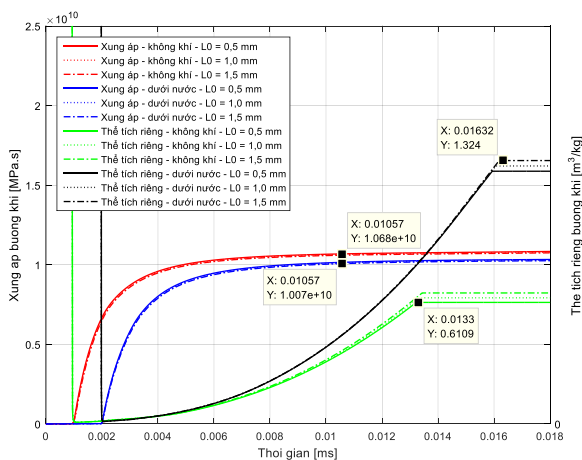
Bảng 3.11. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khe hở piston – thành buồng khí

Thông số	Đơn vị	Trường hợp khảo sát					
		Trường hợp 1		Trường hợp 2		Trường hợp 3	
		KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	105,1	92,45	106,7	92,65	Không lùi hết hành trình	Không lùi hết hành trình
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms	87,25	113,3	86,35	111,93		
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	3,61	1,49	3,64	1,53		
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/phút	587	464	592	469		

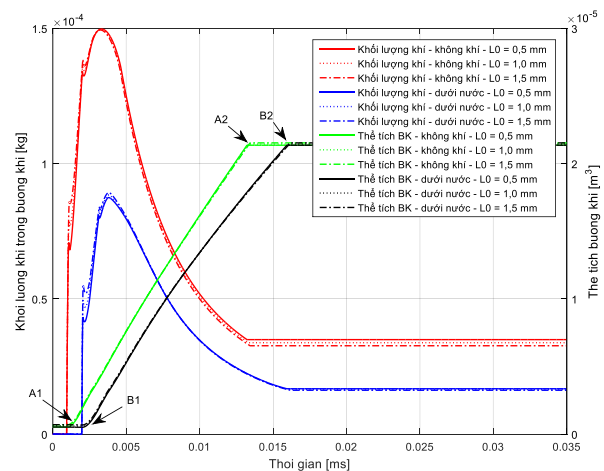
Thông số	Đơn vị	Trường hợp khảo sát			
		Trường hợp 4		Trường hợp 5	
		KK	Nước	KK	Nước
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	105,1	92,45	105,1	92,44
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms	86,87	112,76	86,96	113,0
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	3,61	1,49	3,60	1,50
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/phút	589	466	588	465

3.4.4. Ảnh hưởng của thể tích ban đầu buồng khí

Khảo sát 05 trường hợp ứng với các khoảng cách từ mặt đầu piston đến đáy buồng khí khác nhau, trong khi vẫn giữ nguyên đường kính buồng khí ($\phi 14,4^{+0,43}$). Các chiều dài ban đầu buồng khí được khảo sát cụ thể gồm: 0,5 mm; 1,0 mm; 1,5 mm; 2mm. Một số kết quả khảo sát nhận được trình bày trong bảng 3.13 và các hình từ 3.22 đến 3.24.



Hình 3.22. Ảnh hưởng của chiều dài ban đầu buồng khí đến xung áp buồng khí và thể tích riêng của khí thuốc trong buồng khí



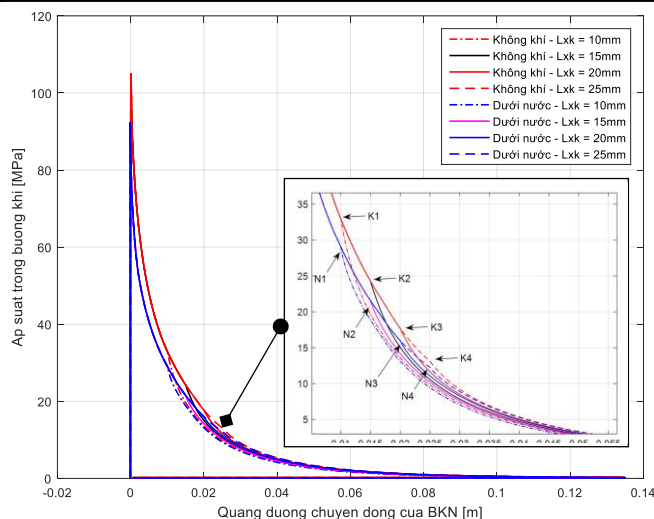
Hình 3.23. Ảnh hưởng của chiều dài ban đầu buồng khí đến khối lượng khí trong buồng khí và thể tích buồng khí

Bảng 3.13. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của chiều dài ban đầu buồng khí

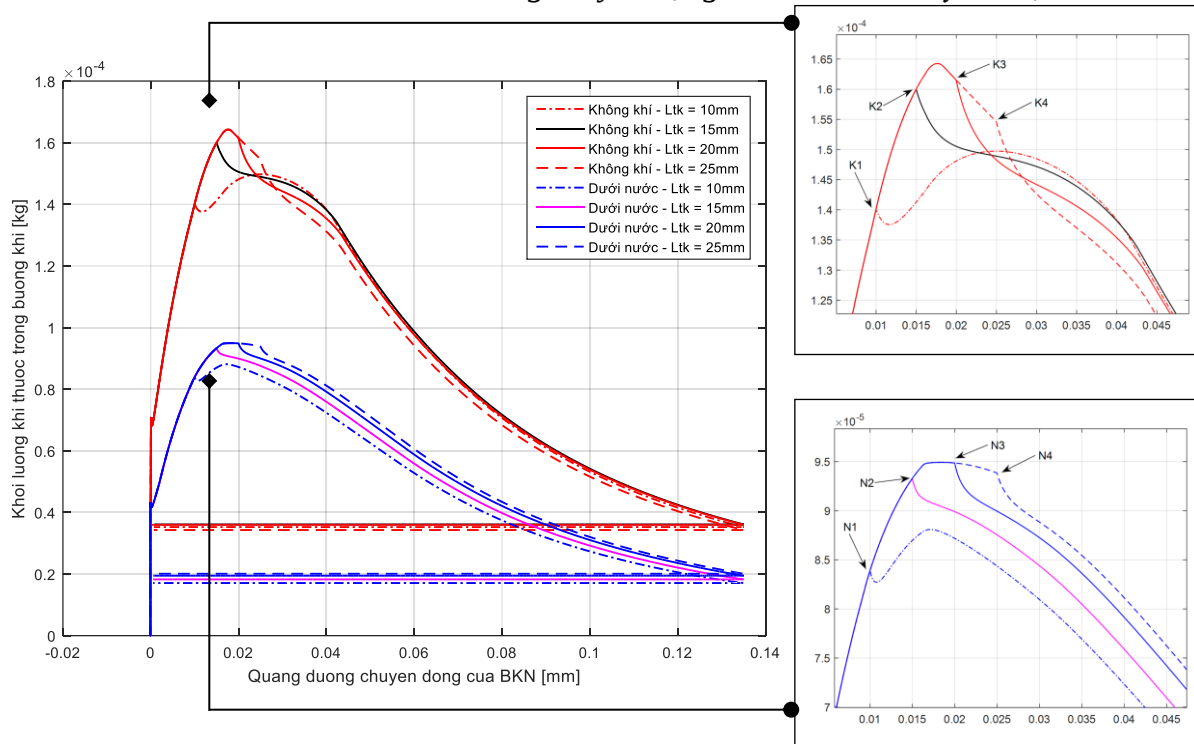
Thông số	Đơn vị	Trường hợp khảo sát							
		$l_0 = 0,5mm$		$l_0 = 1mm$		$l_0 = 1,5mm$		$l_0 = 2,0mm$	
		KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước	KK	Nước
Áp suất lớn nhất trong buồng khí	MPa	105,1	92,44	100,3	90,24	95,97	88,16	Không	Không
Tổng thời gian chuyển động BKN	ms	86,96	113	87,26	113,7	88,1	114,48	lùi hết	lùi hết
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	3,599	1,5	3,509	1,409	3,409	1,321	hành	hành
Tốc độ bắn (tính theo (3.1))	Phát/phút	588	465	587	463	582	460	trình	trình

3.4.5. Ảnh hưởng của vị trí lỗ xả khí

Khảo sát 4 trường hợp ứng với khoảng cách từ lỗ xả khí đến mặt đầu piston tại vị trí bắt đầu chuyển động lần lượt là: 10 mm; 15 mm; 20 mm; 25 mm. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vị trí lỗ xả khí đến lượng khí thuốc trong buồng khí và áp suất khí thuốc trong buồng khí như hình 3.25, 3.26.



Hình 3.25. Sự thay đổi áp suất trong buồng khí theo quãng đường chuyển động của BKN khi thay đổi vị trí lỗ xả khí



Hình 3.26. Sự thay đổi áp suất trong buồng khí theo quãng đường chuyển động của BKN khi thay đổi vị trí lỗ xả khí

Cũng thông qua kết quả khảo sát ảnh hưởng của các tham số, dựa vào các tiêu chí hành trình chuyển động của BKN, vận tốc của BKN tại vị trí cuối hành trình lùi và tốc độ bắn, NCS đề xuất bộ thông số hợp lý của bộ phận trích khí.

CHƯƠNG 4. THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

4.1. Mục đích, nội dung thực nghiệm

Nội dung, mục đích, phương tiện đo, địa điểm cụ thể của từng thử nghiệm được trình bày như bảng 4.1.

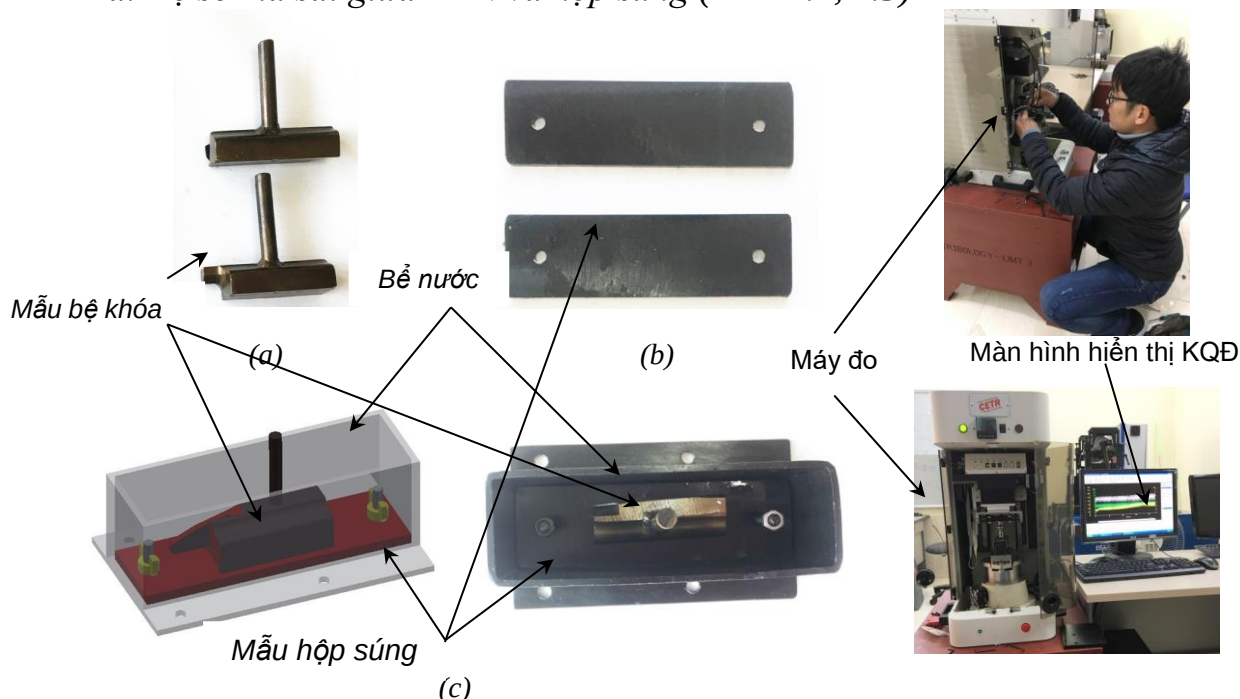
Bảng 4.1. Nội dung và mục đích thực nghiệm trong luận án

TT	Nội dung thử nghiệm	Phương tiện đo	Địa điểm	Mục đích
<i>Thử nghiệm tĩnh</i>				
1	Xác định hệ số ma sát giữa bề khóa – rãnh trượt hộp súng, giữa các viên đạn dưới nước và trên cạn	Hệ thống UMT	Mẫu thử được chế tạo tại Z111/TCCNQP. Thử nghiệm được tiến hành tại HVKTQS	Xác định các hệ số ma sát để đưa vào bài toán MTĐ
2	Xác định độ cứng, lực nén ban đầu của lò xo	Thiết bị kiểm định lò xo của nhà máy Z111	Z111/TCCNQP	Xác định độ cứng, lực nén ban đầu của lò xo để đưa vào bài toán MTĐ
<i>Thử nghiệm bắn đạn thật</i>				
3	Thực nghiệm xác định sơ tốc, áp suất	Thực nghiệm xác định sơ tốc đầu đạn bắn trong không khí trên súng hai môi trường	Bia quang Chronograph model 36 của Israel thuộc dây chuyền sản xuất SBB của Z111	Kiểm tra lại sự phù hợp của một số kết quả tính toán thuật phóng trong
			Bia quang POTSS-2011	
			Ra đa doppler DRS-1	
		Thực nghiệm xác định áp suất trên cụm nòng đo áp	Cụm nòng đo áp suất	
4	Thực nghiệm xác định dịch chuyển, vận tốc của BKN khi bắn trên cạn và dưới nước	Camera tốc độ cao	HVKTQS	Đánh giá sự phù hợp của một số kết quả tính toán động học
5	Thực nghiệm xác định tốc độ bắn lý thuyết khi bắn trên cạn và dưới nước	- Camera tốc độ cao; - Thiết bị đo tốc độ bắn (rate of recorder type 422FP)	- HVKTQS - Z111/TCCNQP	Đánh giá sự phù hợp của kết quả tính tốc độ bắn lý thuyết

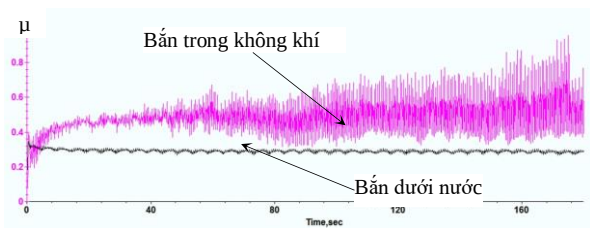
4.2. Thực nghiệm xác định các thông số đầu vào

4.2.1. Thực nghiệm xác định các hệ số ma sát

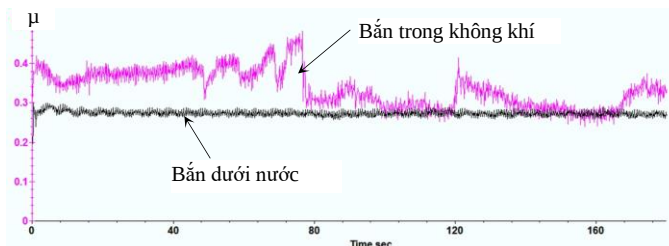
a. Hệ số ma sát giữa BKN và hộp súng (hình 4.4, 4.5)



Hình 4.4. Mẫu thử bộ khóa nòng (a), hộp súng (b) và bể nước (c).

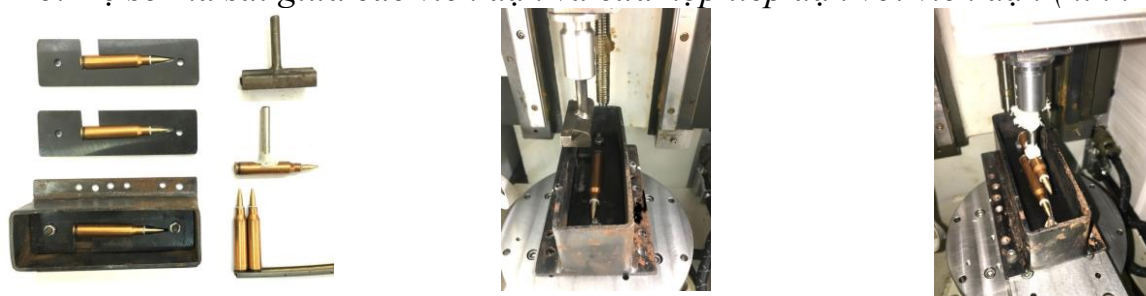


Hình 4.12. Hệ số ma sát giữa hộp súng và BKN khi vật liệu chế tạo rãnh trượt là thép 40



Hình 4.13. Hệ số ma sát giữa hộp súng và BKN khi vật liệu chế tạo rãnh trượt là thép 45

b. Hệ số ma sát giữa các viên đạn và cửa hộp tiếp đạn với viên đạn (hình 4.14)



Hình 4.14. Mẫu thử và hình ảnh thử nghiệm ma sát giữa các viên đạn

4.3. Thực nghiệm xác định một số thông số thuật phóng trong

4.3.2. Thực nghiệm đo sơ tốc khi bắn trong không khí

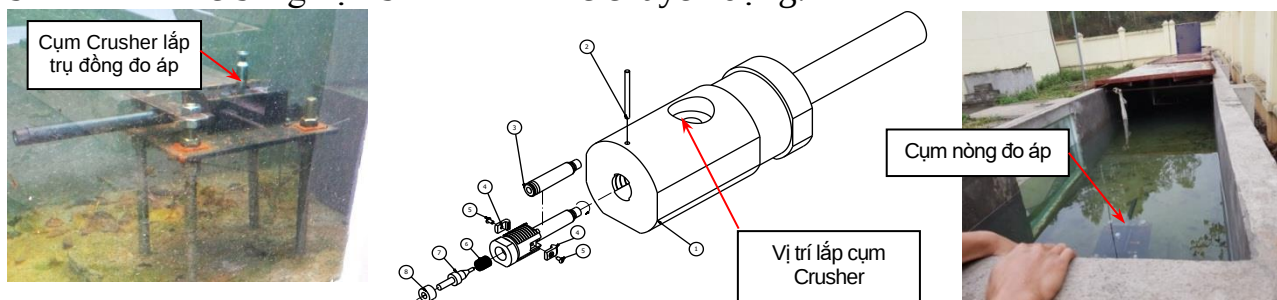
Bắn đo sơ tốc trên hai mẫu súng với chiều dài nòng khác nhau (hình 4.17).



Hình 4.17. Sơ đồ bố trí các thực nghiệm bắn đo sơ tốc trong không khí

4.3.3. Thực nghiệm đo áp suất trên nòng đo áp (hình 4.20)

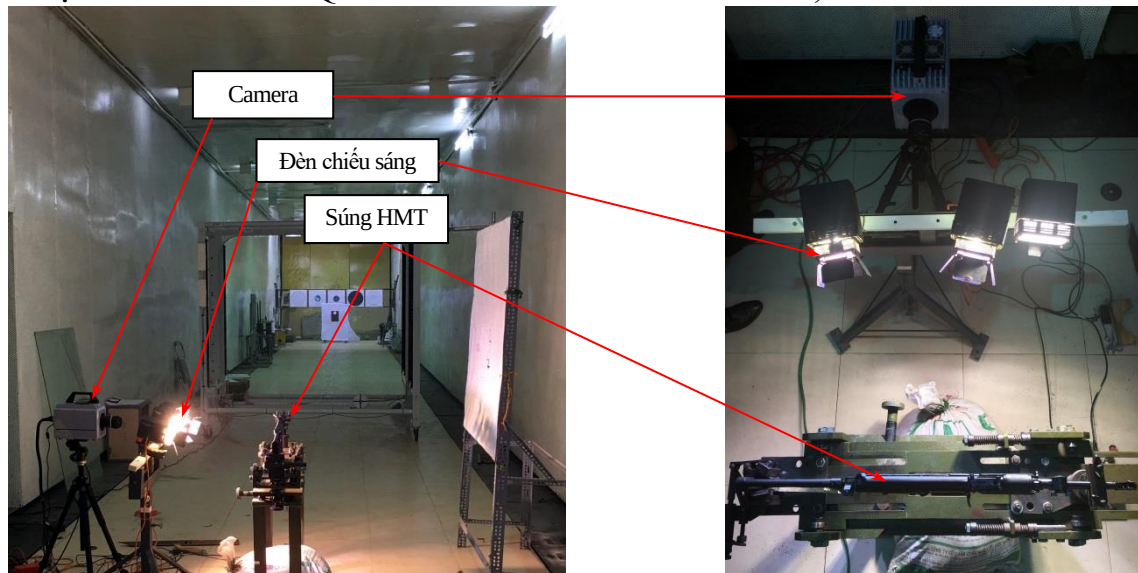
Bắn đo áp khi bắn trong không khí bằng đạn 5,56x45 mm tiêu chuẩn; đo áp khi bắn dưới nước bằng đạn bắn dưới nước chuyên dụng.



Hình 4.19. Cụm nòng đo áp

4.4. Thực nghiệm xác định một số thông số động học và tốc độ bắn lý thuyết

Thực nghiệm được tiến hành với mẫu súng số II, với nhóm tham số được khảo sát là diện tích thiết diện trích khí thay đổi. Sự thay đổi này được thực hiện bằng cách chế tạo các trụ điều chỉnh khí thuốc có các kích thước lỗ trích khí khác nhau tương ứng như bảng 3.6 trong chương 3 (hình 4.21). Thực nghiệm được tiến hành tại hầm bắn của trung tâm kỹ thuật Vũ khí/HVKTQS với sơ đồ bố trí như hình 4.22, 4.23.



Hình 4.23. Hình ảnh bố trí thực nghiệm đo chuyển động bộ khóa khi bắn trong không khí

Thực nghiệm bắn dưới nước được tiến hành tại bể thử nghiệm vũ khí dưới nước thuộc trung tâm kỹ thuật Vũ khí/HVKTQS với sơ đồ bố trí tương tự như khi bắn trong không khí. Hình ảnh thực nghiệm như hình 4.24. Kết hợp với đo các thông số động học, khi bắn liên thanh ta sẽ tính được tốc độ bắn thông qua khoảng thời gian giữa hai thời điểm BKN bắt đầu chuyển động.



Hình 4.24. Hình ảnh bố trí thực nghiệm đo chuyển động của BKN khi bắn dưới nước

Bên cạnh đó để đổi chúng, NCS sử dụng thêm hệ thống đo tốc độ bắn khi bắn trong không khí (rate of recorder type 422FP – hình 4.28) thuộc dây chuyền sản xuất SBB của Z111/TCCNQP (chuyển giao từ Israel).



Hình 4.28. Hình ảnh bố trí thực nghiệm đo tốc độ bắn lý thuyết trong không khí bằng thiết bị đo Rate of recorder type 422FP

4.5. Đánh giá kết quả thực nghiệm và sự phù hợp của một số kết quả tính toán lý thuyết với kết quả thực nghiệm

4.5.1. Đánh giá một số kết quả thuật phóng trong

a. Đánh giá kết quả sơ tốc khi bắn trong không khí (bảng 4.7)

Theo kết quả này, sai lệch giữa các kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm đối với giá trị sơ tốc trên súng bắn hai môi trường đều bé hơn 1,7%. Như vậy có thể kết luận mô hình tính toán thuật phóng là phù hợp về giá trị sơ tốc.

Bảng 4.7. So sánh sơ tốc khi bắn trong không khí giữa lý thuyết và thực nghiệm

Mẫu súng thử	Hệ thống đo POTSS-2011		Hệ thống đo DRS-1 Doppler radar		Hệ thống đo model36 chronograph system		Giá trị tính toán lý thuyết
	Giá trị đo	Sai số	Giá trị đo	Sai số	Giá trị đo	Sai số	
Mẫu số I	861,4	1,44%	860,9	1,5%	861,2	1,47%	874 m/s
Mẫu số II	849,2	1,61%	848,5	1,69%	848,8	1,66%	863,1 m/s

b. Đánh giá kết quả áp suất lớn nhất (bảng 4.8)

Theo kết quả này, sai lệch giữa các kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm đối với giá trị áp suất lớn nhất đều bé hơn 4,1%. Như vậy có thể kết luận mô hình tính toán thuật phóng là phù hợp về giá trị áp suất lớn nhất.

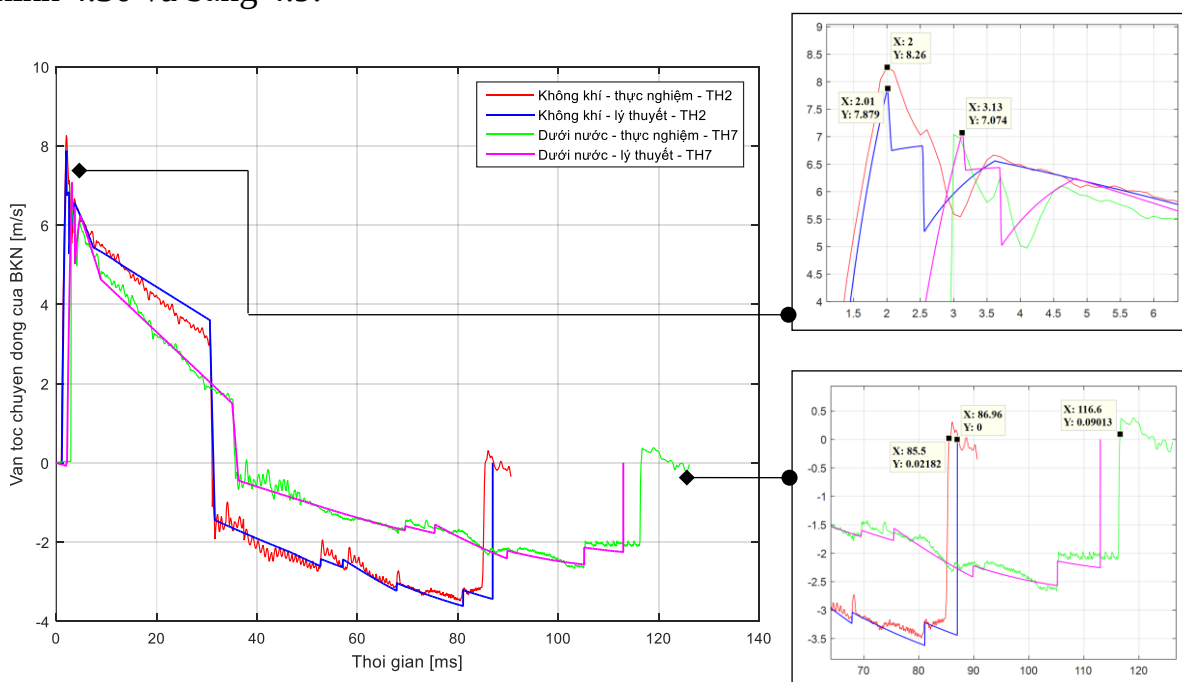
Bảng 4.8. So sánh áp suất lớn nhất giữa lý thuyết và thực nghiệm

	Lý thuyết (MPa)	Thực nghiệm (MPa)	Sai số (%)
Không khí	330,8	327,3	1,06
Dưới nước	367,3	352,4	4,06

Thông qua kết quả so sánh của sơ tốc và áp suất, có thể kết luận rằng: mô hình thuật phóng trong đã xây dựng trong chương 2 là phù hợp.

4.5.2. Đánh giá kết quả một số kết quả động học và tốc độ bắn lý thuyết

So sánh chuyển động và vận tốc của khóa nòng ở một số vị trí trích khí (kích thước rãnh trên trụ điều chỉnh khí thuốc) khác nhau. Kết quả so sánh ở vị trí trích khí bé nhất (trường hợp 2) và vị trí trích khí lớn nhất (trường hợp 7) như hình 4.29, hình 4.30 và bảng 4.9.



Hình 4.29. So sánh vận tốc của BKN giữa lý thuyết và thực nghiệm

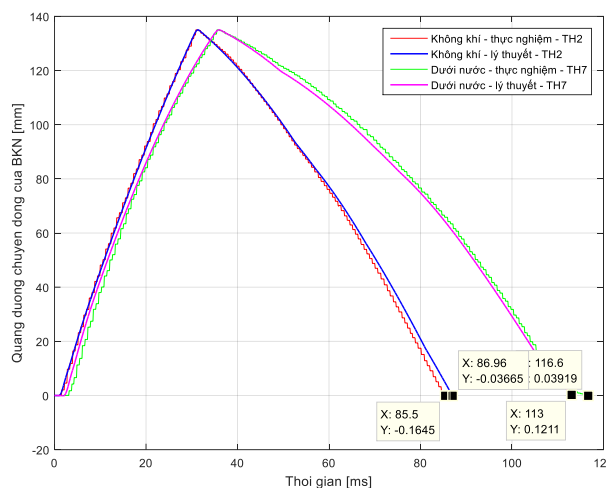
Bảng 4.9. So sánh chuyển động của BKN giữa lý thuyết và thực nghiệm

Thông số	Đơn vị	Trường hợp 2 (rãnh K)					
		Không khí			Nước		
		Lý thuyết	Thực nghiệm	Sai số (%)	Lý thuyết	Thực nghiệm	Sai số (%)
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms	86,96	85,5	1,68	Không lùi hết hành trình		
Vận tốc lớn nhất của BKN	m/s	7,88	8,26	4,60			
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	3,6	3,13	13,06			
		Trường hợp 7 (rãnh N)					
Tổng thời gian chuyển động của BKN	ms	79,96	78,62	1,67	113	116,6	3,09
Vận tốc lớn nhất của BKN	m/s	10	9,55	4,50	7,07	7,04	0,42
Vận tốc của BKN ở vị trí sau cùng	m/s	6,2	5,56	10,40	1,5	1,58	5,06

Dựa vào kết quả này chúng ta thấy:

- Quy luật thay đổi của vận tốc và quãng đường của BKN giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm là phù hợp. Sai số về tổng thời gian chuyển động của BKN dưới 2% khi bắn trong không khí và dưới 3,1% khi bắn dưới nước. Điều này chứng tỏ, kết quả tính toán chu trình máy tự động là phù hợp với thực nghiệm;

- Đường thực nghiệm đo vận tốc khi bắn dưới nước trong giai đoạn đẩy lên ít có đột biến rõ ràng tại các vị trí va chạm như so với khi bắn trong không khí.



Hình 4.30. So sánh quãng đường chuyển động của BKN giữa lý thuyết và thực nghiệm

Điều này có thể do tác dụng của nước nên quá trình va chạm giữa BKN khi bắn dưới nước không có bước nhảy rõ rệt về vận tốc như khi bắn trong không khí;

Các kết quả này cho thấy sự phù hợp của một số tham số động học trong mô hình lý thuyết mà NCS đã xây dựng.

Kết quả so sánh tốc độ bắn lý thuyết giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm như bảng 4.10. Các sai số đều dưới 6% khi bắn dưới nước và dưới 1,6% khi bắn trong không khí. Như vậy có thể kết luận, tốc độ bắn lý thuyết theo mô hình đã xây dựng là đủ tin cậy.

KẾT LUẬN CHUNG

1. Các kết quả chính của luận án

Các kết quả chính mà luận án đạt được bao gồm:

1. Luận án đã tiến hành nghiên cứu tổng quan và chuyên sâu về sự phát triển của súng bắn hai môi trường trên thế giới và trong nước; cũng như các công trình nghiên cứu có liên quan. Các phân tích, kết luận rút ra được đã giúp NCS xác định được kết cấu, hoạt động của MTĐ súng bắn hai môi trường. Từ đó giúp NCS nghiên cứu phương án để xây dựng một mô hình phù hợp, sát với thực tế và đánh giá chuyên sâu về ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến hoạt động của MTĐ súng bắn hai môi trường.

2. Trên cơ sở lý thuyết nhiệt động lực học mở, lý thuyết thủy động lực học, phương trình cháy của thuốc phóng, điều kiện chuyển động của đạn trong lòng nòng, đặc điểm hoạt động của MTĐ khi bắn dưới nước và không khí; NCS đã xây dựng được một mô hình động lực học để nghiên cứu MTĐ súng bắn hai môi trường. Mô

hình này là sự kết hợp đồng thời của hệ phương trình thuật phóng trong – hệ phương trình nhiệt động buồng khí – hệ phương trình chuyển động của khâu cơ sở; trong đó thể hiện rõ sự khác biệt của bắn dưới nước và không khí (các lực tác dụng lên khâu cơ sở có liên quan đến môi trường nước), cũng như kể đến toàn bộ quá trình phụt khí qua các khe hở trong hệ nhiệt động.

3. Bằng thuật giải ODE45 trong MATLAB và các phần mềm hỗ trợ khác, luận án đã tiến hành giải đồng thời mô hình đã xây dựng được dựa vào bộ thông số đầu vào được xác định bằng cả lý thuyết (các phần mềm tính toán) và thực nghiệm trên một mẫu súng chế thử cụ thể. Trên cơ sở đó tiến hành khảo sát, phân tích ảnh hưởng của một số tham số kết cấu chính đến hoạt động của MTĐ.

4. Tiến hành nghiên cứu 05 hạng mục thực nghiệm để tính toán thông số đầu vào cũng như đánh giá lại tính đúng đắn của mô hình lý thuyết đã xây dựng. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã chứng tỏ mô hình bài toán lý thuyết đưa ra là đúng đắn, tin cậy và có thể sử dụng mô hình này để ứng dụng vào tính toán, thiết kế súng bắn hai môi trường.

2. Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án

Nội dung luận án còn một số điểm tồn tại mà tác giả luận văn sẽ tiến hành nghiên cứu trong thời gian tiếp theo. Cụ thể như sau:

1. Mặc dù đã xây dựng được mô hình MTĐ súng bắn hai môi trường khi bắn cả trong không khí và dưới nước, tuy nhiên mô hình còn sử dụng nhiều giả thuyết; đặc biệt là giả thuyết hộp súng là cố định. Tức là NCS mới chỉ tập trung nghiên cứu chuyển động lùi và đẩy lên của khâu cơ sở mà không quan tâm đến bài toán ổn định cũng như dao động của súng. Vì vậy trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ nghiên cứu đồng bộ cả bài toán ổn định và dao động của súng.

2. Quá trình tương tác giữa nước và khí thuốc trong buồng khí diễn ra rất phức tạp, tuy nhiên luận án chưa đi sâu nghiên cứu vấn đề này. Đây cũng là một hướng nghiên cứu mà tác giả luận án sẽ nghiên cứu trong tương lai.

3. Mặc dù đã khảo sát ảnh hưởng của một số tham số kết cấu đến hoạt động của máy tự động súng bắn hai môi trường, tuy nhiên bộ thông số này còn chưa đầy đủ (mới chỉ quan tâm đến một số tham số cơ bản), đồng thời quá trình khảo sát vẫn chưa đưa ra được ảnh hưởng của nhiều tham số cùng một lúc đến hoạt động của máy tự động. Vì vậy, cần có những nghiên cứu đầy đủ hơn, sâu hơn về ảnh hưởng đồng thời của nhiều thông số.

4. Tác động của môi trường bắn (đặc biệt là điều kiện bắn dưới nước) cũng như xạ thủ đến hoạt động, độ chính xác của súng hai môi trường là rất lớn. Cho nên, cần thiết phải có một mô hình cơ – sinh khi bắn dưới nước để khảo sát điều kiện làm việc tổng thể của súng. Vấn đề này sẽ được tác giả nghiên cứu trong thời gian tiếp theo.