

Khảo sát, đánh giá ảnh hưởng đường kính vòng cản đến tầm bay của thiết bị bay không điều khiển trong điều kiện tiêu chuẩn

Lê Hữu Ban¹, Nguyễn Nam Quý^{1,*}, Nguyễn Hải Minh¹,
Điêu Như Kế², Nguyễn Quang Lượng¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự.

²Trường sĩ quan Tăng-Thiết giáp, Binh chủng Tăng-Thiết giáp.

*Email: sky_moscow@mail.ru.

Nhận bài ngày 08/02/2022; Hoàn thiện ngày 28/3/2022; Chấp nhận đăng ngày 10/4/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.78.2022.159-165>

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng mô hình mô phỏng CFD tính toán các đặc trưng khí động của thiết bị bay không điều khiển, xác định các hàm khí động ứng với các giá trị khác nhau của đường kính vòng cản. Với giá trị hàm khí động nhận được, giải phương trình chuyển động trong mặt phẳng bắn, từ đó cho phép đánh giá ảnh hưởng đường kính vòng cản đến tầm bắn của đạn. Độ chính xác của các kết quả tính toán trên mô hình CFD và giải phương trình chuyển động được đảm bảo bằng cách so sánh với các giá trị trong bảng bắn tiêu chuẩn pháo binh về tầm bắn ứng với các giá trị khác nhau của đường kính vòng cản.

Từ khóa: CFD; Vòng cản; Thiết bị bay.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tế tác chiến pháo binh, để thay đổi tầm bắn người ta có thể sử dụng nhiều phương pháp như thay đổi góc bắn, dùng đạn nhiều liều hay dùng đạn có vòng cản. Tuy nhiên, những nghiên cứu cụ thể về ảnh hưởng của đường kính vòng cản đến tầm bắn của đạn phản lực không điều khiển lại chưa nhiều. Các khảo sát tính toán trong bài báo này áp dụng cho đối tượng cụ thể là đạn phản lực không điều khiển M21-OΦ.

Một số công cụ xác định các đặc trưng khí động phổ biến hiện nay là thổi khí, dữ liệu DATCOM, mô phỏng CFD, công thức khí động,... Trong nghiên cứu lý thuyết, phương pháp CFD có nhiều ưu điểm như độ chính xác cao, chi phí rẻ, tính toán được nhiều mô hình vật bay phức tạp. Bài báo sử dụng phương pháp CFD trên phần mềm ANSYS FLUENT để xác định ảnh hưởng của đường kính vòng cản đến một số đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ, từ đó đánh giá ảnh hưởng đến tầm bắn của đạn. Kết quả tính toán được kiểm chứng bằng cách so sánh tầm bắn của đạn có vòng cản với dữ liệu tiêu chuẩn trong bảng bắn pháo binh.

Nghiên cứu này góp phần làm rõ một số vấn đề liên quan đến cơ sở lý thuyết thuật phóng ngoài, phục vụ cho quá trình thiết kế, chế tạo các loại đạn phản lực không điều khiển.

2. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG CFD XÁC ĐỊNH MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG KHÍ ĐỘNG CỦA ĐẠN

2.1. Mô hình phương pháp số

2.1.1. Phương trình cơ bản CFD

Phương trình Navier-Stokes cho dòng chảy có thể nén được [1], được biểu diễn như sau:

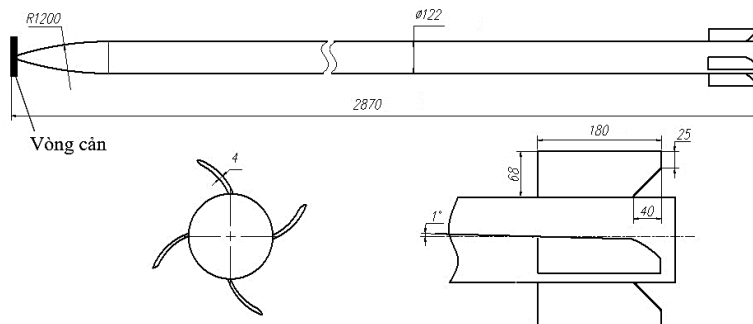
$$\underbrace{\rho_f \left(\frac{\partial u_f}{\partial t} + u_f \nabla u_f \right)}_1 = -\nabla p_f + \underbrace{\nabla \left\{ \mu \left[\nabla u_f + (\nabla u_f)^T \right] - \frac{2}{3} \mu (\nabla u_f) I \right\}}_3 + F_4 \quad (1)$$

Trong đó: u_f - Vận tốc dòng chảy; p_f - Áp suất dòng chảy; ρ_f - Mật độ dòng chảy; μ - Độ nhớt động lực học của dòng chảy; I - Tenso đơn vị. Các số hạng: 1 - Biểu diễn nội lực của dòng

cháy; 2 - Biểu diễn áp suất trong dòng chảy; 3 - Biểu diễn lực nhớt của dòng chảy; 4 - Biểu diễn ngoại lực tác dụng lên dòng chảy.

2.1.2. Mô hình vật rắn và chia lưới

Để tính toán các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ bằng phương pháp CFD, giả thiết đạn M21-OΦ là vật rắn tuyệt đối có kích thước như trong hình 1 [2].



Hình 1. Các kích thước cơ bản của mô hình đạn M21-OΦ.

Đường kính vòng cản được khảo sát lần lượt là 76; 86; 96 và 106 mm được lấy dựa theo bảng bản. Lưới được chia tự động, bề mặt tiếp xúc được (tường) có hệ số “growth rate” ≤ 1.2 [3]; chất lượng lưới được đánh giá qua các thông số của lưới như skewness (độ lệch), orthogonal quality (độ trực giao) và aspect ratio (tỷ lệ mặt lưới). Chia lưới cho đến khi các thông số trên đạt mức tốt.

2.1.3. Các điều kiện biên ban đầu và dòng chảy

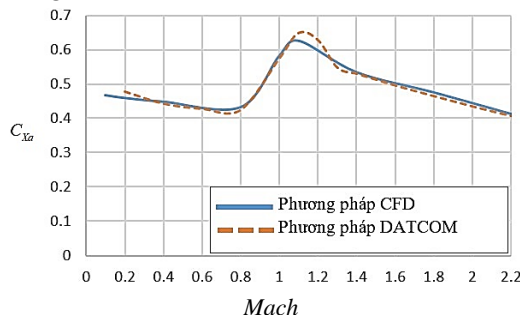
Theo [3], các điều kiện biên ban đầu và các điều kiện vật lý của dòng chảy được thiết lập như trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của dòng chảy.

Boundary condition		Reference parameters	Control volume conditions		Solver conditions
Inlet	Pressure far field	l_{rf} : Rocket length S_{rf} : Cross sectional area of body	Fluid material:	Static temperature: 288 K Static pressure: 101325 Pa	Density based; couple solver
Outlet	Pressure Outlet		Ideal gas;		
Wall	No Slip		Viscosity: Sutherland Three Coefficient		

2.1.4. Xác minh mô hình CFD

Để đánh giá tính chính xác của mô hình CFD đã thiết lập, tiến hành tính toán hàm lực cản của đạn M21-OΦ trong trường hợp không có vòng cản rồi so sánh với kết quả tính toán bằng dữ liệu DATCOM, được công bố trong [4]. Hình ảnh so sánh được thể hiện như trong hình 2.



Hình 2. Hàm lực cản xác định theo hai phương pháp CFD và DATCOM.

Hình 2 cho thấy kết quả tính toán bằng CFD rất sát với kết quả tính toán đã được công bố. Chấp nhận mức độ chính xác của phương pháp tính toán, bài báo sử dụng mô hình CFD đã thiết lập để khảo sát ảnh hưởng của đường kính vòng cần đến các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ.

2.2. Ảnh hưởng của đường kính vòng cần đến một số đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ

Thực hiện tính toán các đặc trưng khí động theo phương pháp CFD bằng phần mềm ANSYS FLUENT. Kết quả tính toán khí động đối với một số đường kính các nhau của vòng cần được thể hiện trong các bảng 2 đến bảng 6.

Bảng 2. Các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ không vòng cần.

M	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 0.5^0$			$\alpha = 1^0$			$\alpha = 2^0$		
	C_{Xa}	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m
0.1	0.468	0.592	0.160	-0.319	0.724	0.415	-0.201	0.847	0.498	-0.233
0.2	0.460	0.573	0.144	-0.324	0.692	0.374	-0.187	0.810	0.449	-0.217
0.4	0.449	0.560	0.115	-0.332	0.674	0.298	-0.191	0.789	0.358	-0.221
0.8	0.433	0.562	0.077	-0.334	0.713	0.201	-0.246	0.834	0.241	-0.285
1.0	0.583	0.616	0.047	-0.327	0.823	0.122	-0.352	1.000	0.147	-0.408
1.1	0.627	0.661	0.061	-0.352	0.883	0.131	-0.378	1.077	0.158	-0.439
1.4	0.535	0.579	0.056	-0.319	0.817	0.158	-0.353	0.956	0.189	-0.409
1.8	0.476	0.529	0.041	-0.290	0.785	0.146	-0.352	0.918	0.175	-0.408
2.2	0.413	0.458	0.160	-0.247	0.671	0.108	-0.314	0.752	0.129	-0.364

Bảng 3. Các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ có vòng cần, đường kính vòng cần 76 mm.

M	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 0.5^0$			$\alpha = 1^0$			$\alpha = 2^0$		
	C_{Xa}	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m
0.1	0.475	0.601	0.160	-0.319	0.734	0.420	-0.204	0.898	0.528	-0.247
0.2	0.465	0.580	0.147	-0.330	0.705	0.378	-0.189	0.851	0.472	-0.228
0.4	0.455	0.570	0.117	-0.338	0.680	0.300	-0.192	0.818	0.371	-0.229
0.8	0.442	0.567	0.074	-0.321	0.702	0.189	-0.232	0.893	0.258	-0.305
1.0	0.587	0.616	0.049	-0.320	0.855	0.121	-0.349	1.024	0.151	-0.418
1.1	0.636	0.675	0.042	-0.245	0.879	0.13	-0.374	1.110	0.163	-0.452
1.4	0.542	0.589	0.054	-0.309	0.820	0.152	-0.340	1.040	0.206	-0.445
1.8	0.528	0.589	0.036	-0.256	0.849	0.146	-0.353	1.100	0.210	-0.489
2.2	0.457	0.508	0.138	-0.213	0.724	0.110	-0.32	1.016	0.174	-0.492

Bảng 4. Các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ có vòng cần, đường kính vòng cần 86 mm.

M	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 0.5^0$			$\alpha = 1^0$			$\alpha = 2^0$		
	C_{Xa}	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m
0.1	0.532	0.687	0.346	-0.689	0.879	0.637	-0.309	1.027	0.638	-0.298
0.2	0.523	0.664	0.315	-0.709	0.856	0.579	-0.289	0.988	0.576	-0.278
0.4	0.518	0.658	0.251	-0.724	0.854	0.298	-0.191	0.974	0.458	-0.283
0.8	0.499	0.675	0.245	-1.064	0.847	0.301	-0.368	0.910	0.270	-0.319
1.0	0.668	0.680	0.063	-0.442	0.891	0.146	-0.422	1.030	0.166	-0.461
1.1	0.695	0.714	0.085	-0.491	0.910	0.156	-0.451	1.140	0.179	-0.497
1.4	0.599	0.655	0.099	-0.565	0.854	0.205	-0.459	1.114	0.138	-0.298
1.8	0.635	0.715	0.078	-0.553	1.036	0.218	-0.525	1.239	0.215	-0.502
2.2	0.561	0.611	0.031	-0.477	0.917	0.156	-0.454	1.026	0.154	-0.435

Bảng 5. Các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ có vòng cản, đường kính vòng cản 96 mm.

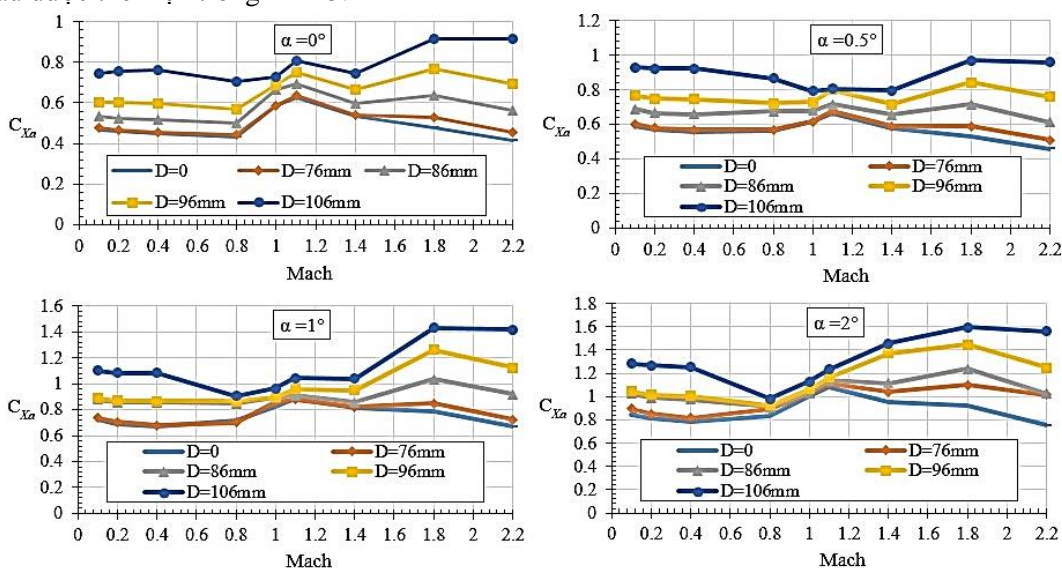
M	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 0.5^0$			$\alpha = 1^0$			$\alpha = 2^0$		
	C_{Xa}	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m
0.1	0.603	0.766	0.161	-0.321	0.889	0.434	-0.210	1.045	0.520	-0.243
0.2	0.603	0.750	0.148	-0.332	0.871	0.392	-0.196	1.016	0.469	-0.227
0.4	0.597	0.747	0.118	-0.341	0.863	0.312	-0.200	1.005	0.375	-0.232
0.8	0.569	0.722	0.070	-0.303	0.867	0.219	-0.269	0.924	0.246	-0.291
1.0	0.686	0.727	0.042	-0.295	0.896	0.118	-0.339	1.066	0.147	-0.408
1.1	0.749	0.799	0.042	-0.240	0.958	0.087	-0.250	1.162	0.158	-0.439
1.4	0.666	0.715	0.052	-0.297	0.948	0.143	-0.319	1.374	0.321	-0.695
1.8	0.769	0.842	0.036	-0.256	1.261	0.146	-0.353	1.447	0.170	-0.397
2.2	0.692	0.758	0.127	-0.197	1.124	0.117	-0.340	1.248	0.135	-0.381

Bảng 6. Các đặc trưng khí động của đạn M21-OΦ có vòng cản, đường kính vòng cản 106 mm.

M	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 0.5^0$			$\alpha = 1^0$			$\alpha = 2^0$		
	C_{Xa}	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m	C_{Xa}	C_{Ya}	C_m
0.1	0.745	0.928	0.175	-0.349	1.100	0.441	-0.213	1.281	0.533	-0.249
0.2	0.758	0.923	0.158	-0.355	1.084	0.396	-0.198	1.267	0.477	-0.231
0.4	0.762	0.922	0.124	-0.359	1.083	0.317	-0.203	1.252	0.383	-0.237
0.8	0.703	0.866	0.082	-0.354	0.906	0.133	-0.163	0.980	0.243	-0.287
1.0	0.729	0.791	0.039	-0.270	0.961	0.110	-0.318	1.127	0.143	-0.398
1.1	0.807	0.807	0.044	-0.254	1.044	0.117	-0.336	1.231	0.154	-0.427
1.4	0.748	0.796	0.047	-0.269	1.038	0.172	-0.384	1.456	0.305	-0.661
1.8	0.917	0.969	0.036	-0.257	1.430	0.146	-0.353	1.594	0.165	-0.385
2.2	0.915	0.958	0.133	-0.206	1.415	0.123	-0.358	1.561	0.137	-0.386

Trong các bảng 2-6, các đại lượng C_{Xa} , C_{Ya} , C_m lần lượt là hệ số lực cản khí động, hệ số lực nâng và hệ số mô-men khí động.

Sự phụ thuộc của hệ số lực cản vào đường kính vòng cản tương ứng với các góc góc tấn khác nhau được thể hiện trong hình 3.

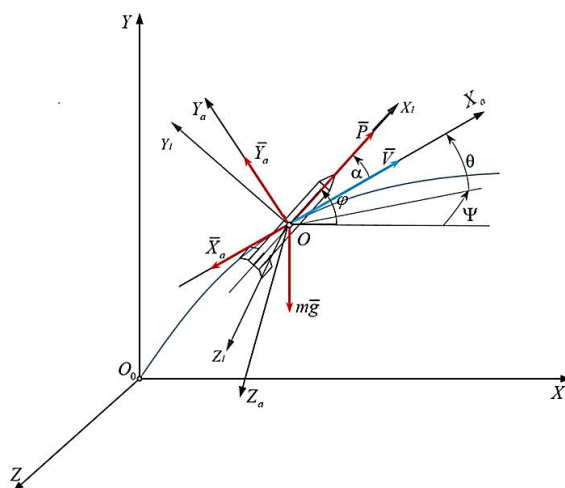


Hình 3. Sự phụ thuộc của hệ số lực cản C_{Xa} vào đường kính vòng cản tại các giá trị khác nhau của góc góc tấn α .

3. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG KÍNH VÒNG CẢN ĐẾN TẦM BẮN ĐẠN M21-OΦ

3.1. Mô hình toán học chuyển động phẳng của đạn M21-OΦ

Khi bỏ qua biến dạng uốn, chuyển động của đạn trong không khí là chuyển động không gian 6 bậc tự do; độ lệch bên của điểm rơi thường khá nhỏ so với tầm bắn nên có thể coi tầm bắn của đạn trong không gian bằng tầm bắn của đạn trong chuyển động phẳng [5]. Hệ lực tác dụng lên đạn được mô tả như trong hình 4.



Hình 4. Hệ lực tác dụng lên đạn trong quá trình chuyển động.

Trong hình 4: $OX_aY_aZ_a$ - Hệ tọa độ tốc độ; $OX_1Y_1Z_1$ - Hệ tọa độ liên kết; θ - Góc nghiêng véc tơ vận tốc; φ - Góc giữa véc tơ trục đạn và phương ngang; α - Góc tấn; P - Lực đẩy; \bar{X}_a, \bar{Y}_a lần lượt là cản không khí, lực nâng.

Chuyển động phẳng của đạn được mô tả bởi hệ sau [5]:

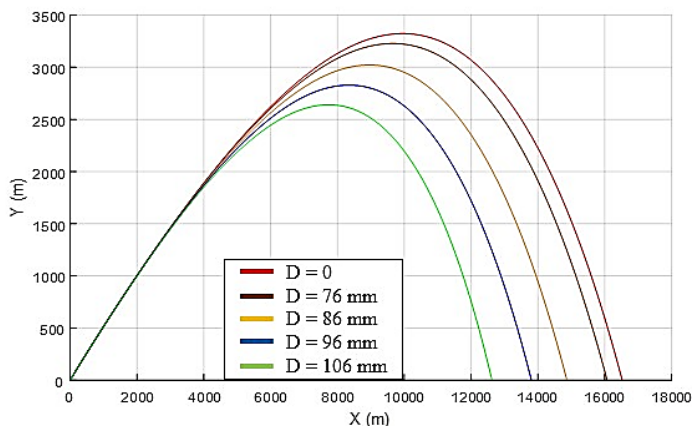
$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{1}{m}(P \cos \alpha - X_a - mg \sin \theta), & \dot{\alpha} &= \dot{\varphi} - \dot{\theta}, \\ \dot{\theta} &= \frac{1}{m \cdot V}(P \sin \alpha + Y_a - mg \cos \theta), & \dot{x} &= V \cos \theta, \\ \ddot{\varphi} &= \frac{M}{I_z}, & \dot{y} &= V \sin \theta, \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó: m - Khối lượng đạn, là đại lượng thay đổi theo thời gian; I_z - Mô-men quán tính xích đạo của đạn. Các lực khí động được xác định theo các công thức $X_a = q \cdot S \cdot C_{X_a}$; $Y_a = q \cdot S \cdot C_{Y_a}$ $M = q \cdot S \cdot l \cdot C_m$. Trong đó: q - Áp suất động tác dụng lên đạn, $q = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$ với ρ là mật độ không khí; S - Diện tích mặt cắt ngang của đạn; l - Chiều dài của đạn.

3.2. Ảnh hưởng của đường kính vòng cản đến tầm bắn đạn M21-OΦ

Để xác định tầm bắn của đạn, hệ (2) được giải đồng thời với bài toán thuật phóng trong của động cơ đạn M21-OΦ. Các quỹ đạo của đạn tại góc bắn 30° , sơ tốc 40 m/s tương ứng với các đường kính vòng cản khác nhau được thể hiện như trên hình 5.

Tầm bắn của đạn ở các góc bắn khác nhau tương ứng với các đường kính vòng cản khác nhau được thể hiện trong bảng 7.

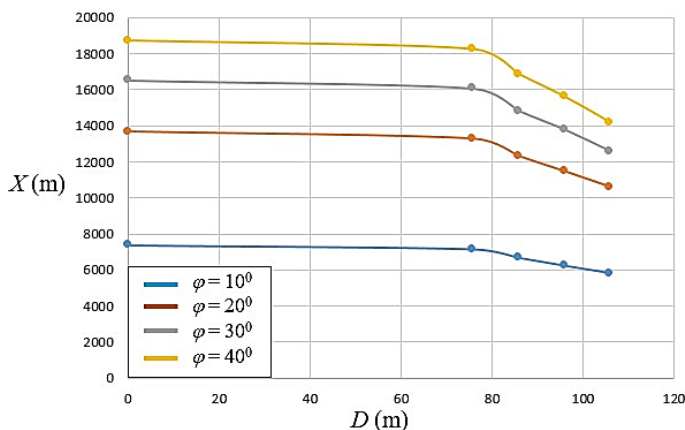


Hình 5. Quỹ đạo của đạn ở góc bắn 30^0 , sơ tốc 40 m/s tương ứng với các đường kính vòng cản khác nhau.

Bảng 7. Tầm bắn của đạn M21-OΦ [m] ứng với các đường kính khác nhau của vòng cản.

Đường kính vòng cản, mm \ Góc bắn	Không vòng cản	76	86	96	106
10^0	7374	7150	6665	6224	5802
20^0	13680	13280	12310	11470	10600
30^0	16520	16070	14830	13790	12590
40^0	18710	18230	16850	15610	14180

Sự phụ thuộc của tầm bắn vào kích thước của vòng cản ở các góc bắn khác nhau được thể hiện như hình 6.



Hình 6. Sự phụ thuộc của tầm bắn vào đường kính vòng cản ở các góc bắn khác nhau.

3.3. Thảo luận

Từ hình 5, 6, một số nhận xét được rút ra như sau:

- Ở mỗi góc bắn, khi có vòng cản, tầm bắn của đạn giảm. Điều này là do vòng cản tạo ra sự chênh áp suất phía trước và sau nó, dẫn đến tăng áp suất tác dụng lên đạn theo hướng dòng chảy, hay lực cản tăng.

- Nếu vòng cản nhỏ thì tầm bắn thay đổi không nhiều so với khi không có vòng cản. Khi tăng góc bắn, thời gian đạn bay tăng, ảnh hưởng của lực cản đến tầm bắn của đạn theo đó cũng tăng. Nói cách khác, độ dốc của sự thay đổi tầm bắn tăng lên.

- Tầm bắn của đạn không có vòng cản và có vòng cản đường kính $D = 86$ mm sai lệch so với giá trị tiêu chuẩn trong bảng bắn nhỏ hơn 10%. Điều này cho thấy tính toán đảm bảo độ chính xác cần thiết [2].

- Khi góc bắn tăng, đồ thị sự thay đổi tầm bắn có xu hướng sát lại nhau hơn. Điều này là do khi góc bắn tăng, tầm bắn thay đổi chậm dần.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình mô phỏng CFD cho phép tính toán các đặc trưng khí động của đạn, từ đó xác định sự phụ thuộc của một số đặc trưng khí động vào đường kính vòng cản. Kết quả mô tả đúng các đặc điểm vật lý của dòng chảy qua vật thể.

Từ các hàm khí động được xác định, chuyển động của đạn M21-OΦ trong mặt phẳng được giải để xác định sự phụ thuộc của tầm bắn vào đường kính vòng cản. Kết quả cho thấy sự phụ thuộc này gần như một hàm đơn điệu giảm, độ dốc tăng dần khi tầm bắn tăng; các kết quả tính toán đều nằm trong sai lệch cho phép so với bảng bắn đối với đạn không có vòng cản hoặc có vòng cản như trong trang bị.

Qua các nội dung đã đạt được, bài báo đã đề xuất một phương pháp khoa học cho việc xây dựng mối liên hệ giữa đường kính vòng cản và tầm bắn của đạn. Điều này cung cấp một phần cơ sở lý thuyết cho nghiên cứu mở rộng việc sử dụng vòng cản nhằm thay đổi tầm bắn của đạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Konečný P., Le H.B., Nguyen H.M., Tran Q.T., Mai Q.H. and Ngo T.S, “*Analysis of Basic Methods for Aerodynamic Characteristics Determination of Missile Structure’s Components*”. International Conference on Military Technologies 2019 (ICMT’19), Brno, Czech Republic, 2019.
- [2]. “*Đạn phân lực M21-OΦ-VN*”. Tiêu chuẩn công nghiệp 06TCN743, 1999.
- [3]. Sharma N. and Kumar R. “*A Ready Reckoner of CFD for Wrap-around Fins*”. INCAS Bulletin, **vol. 11**, Is. 2, pp. 155 - 170, 2019.
- [4]. Khalil M., Abdalla H. and Kamal O., “*Trajectory Prediction for a Typical Fin Stabilized Artillery Rocket*”. In 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation, Military Technical College, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt, 2009.
- [5]. Lê Anh Dũng, Nguyễn Hữu Độ và Huỳnh Lương Nghĩa, “*Lý thuyết bay và hệ thống điều khiển tên lửa phòng không*”. Học viện Kỹ thuật Quân sự, 1998.

ABSTRACT

Investigating and evaluating the influence of drag ring diameter on the range of an ungovernable flying device in standard conditions

The article builds a CFD simulation model to calculate the aerodynamic characteristics of the ungovernable flying device, then determine the aerodynamic functions corresponding to different values of the diameter of drag rings. With the received aerodynamic functions, the article solved the rocket's equation motion in the firing plane, thereby allowing to evaluate the influence of drag ring diameter on the firing range of the rocket. The accuracy of the calculation results from the motion equation is evaluated by comparing with the standard values in the artillery firing table about the range corresponding to the diameters of drag rings.

Keywords: Flying device; CFD; Drag ring.