

# NGHIÊN CỨU LỰC CẢN KHÍ ĐỘNG CỦA ĐÀU ĐẠN SỬ DỤNG CẢN ỔN ĐỊNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

**Đỗ Văn Minh\*, Trần Thế Hùng, Phạm Văn Tập**

*Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn*

## **Tóm tắt**

Bài báo trình bày việc nghiên cứu một số tham số đặc tính khí động của đầu đạn pháo sử dụng cản ổn định trên đường bay bằng phương pháp mô phỏng số trên phần mềm ANSYS Fluent. Mô phỏng được áp dụng cho đầu đạn cỡ 122 mm bằng mô hình chảy rối k- $\epsilon$ . Ảnh hưởng của kích thước lưới lên độ hội tụ của bài toán được khảo sát cụ thể, từ đó xác định được các đặc tính khí động của đầu đạn như lực cản, phân bố áp suất, vận tốc trên bề mặt đầu đạn khi chuyển động. Kết quả nghiên cứu này làm cơ sở đánh giá ảnh hưởng, tác dụng của cản ổn định đối với đầu đạn cỡ 122 mm trên đường bay nói riêng và các đầu đạn pháo sử dụng cản ổn định trên đường bay nói chung.

*Từ khóa:* Đặc tính khí động; cản ổn định; ANSYS Fluent.

## **1. Mở đầu**

Hiện nay, có nhiều phương pháp giảm lực cản khí động, tăng khả năng ổn định của đạn trên đường bay trong đó có phương pháp sử dụng ốc đầu dạng cản ổn định. Cản ổn định có độ dài đảm bảo tiêu cự nổ cho đạn, đồng thời giúp làm tăng độ chụm (có khả năng tăng độ chụm đầu đạn lên 4-5 lần so với ốc đầu dạng thon, côn), giảm lực lật đảo và dịch chuyển tâm cản về phía sau từ 6-8% chiều dài toàn bộ đạn. Nguyên lý hoạt động của cản ổn định là làm thay đổi đặc tính chảy của dòng không khí tác dụng vào mũi đạn và tạo ra vùng lặng ổn định, đối xứng với trục đạn [1].

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu khoa học được công bố trên các tạp chí về làm thay đổi các tham số của đặc tính khí động khi vật thể chuyển động trong môi trường chất lưu với vận tốc trên âm khi ứng dụng sử dụng kết cấu tương tự cản ổn định cho vật thể [2, 3]. Các nghiên cứu trên đã đưa ra mô hình tính toán và sử dụng phương pháp mô phỏng số để tính toán đưa ra các kết luận về ảnh hưởng của kết cấu tương tự cản ổn định đối với các tham số đặc tính khí động của vật thể khi chuyển động trong môi trường chất lưu với vận tốc trên âm. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc ứng dụng cơ cấu tương tự cản ổn định chung mà chưa đưa vào tính toán cụ thể cho một vật thể xác định.

Trong nước cũng có một số các nghiên cứu khoa học, luận văn về đặc tính khí động của vật thể khi chuyển động trong môi trường chất lưu, đặc biệt có một số tài liệu của

---

\* Email: minhdv100@gmail.com

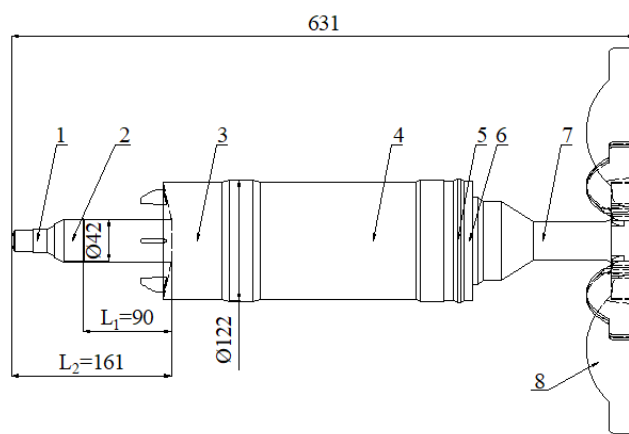
Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn liên quan đến chuyên ngành đạn dược [4, 5]. Tuy nhiên, các luận văn này mới chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của cấu trúc đạn dược là phần vát đáy đạn đối với các loại đạn không sử dụng cần ổn định. Đối với đạn có sử dụng cần ổn định hoặc các vật thể có sử dụng kết cấu tương tự cần ổn định thì số lượng nghiên cứu còn hạn chế.

Trong bài báo này, các tham số đặc tính khí động của đầu đạn 122 mm trên đường bay được nghiên cứu trên phần mềm ANSYS Fluent bản quyền tại Khoa Hàng không vũ trụ, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn. Mô hình chảy rối  $k-\varepsilon$  được sử dụng để phân tích các tham số khí động đặc trưng của đầu đạn, bao gồm: áp suất, vận tốc, lực cản. Ảnh hưởng của lưới tính toán tới độ hội tụ của bài toán được nghiên cứu. Đồng thời đưa ra phương pháp kiểm chứng bán thực nghiệm nhằm khẳng định tính chính xác của mô hình tính toán.

## 2. Mô hình bài toán và phương pháp giải

### 2.1. Mô hình bài toán

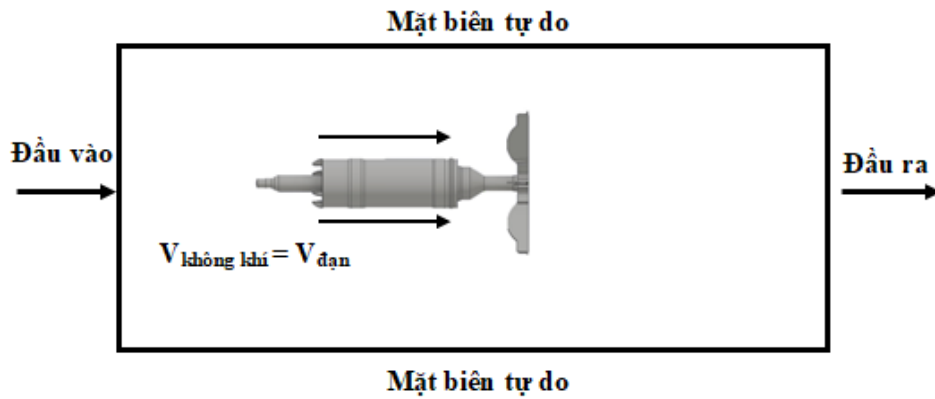
Mô hình hình học đầu đạn 122 mm dùng cho mô phỏng được thể hiện trên hình 1. Đầu đạn có tổng chiều dài: 631 mm, đường kính lớn nhất phần thân đầu đạn: 122 mm. Phía trước đầu đạn có lắp ốc đầu dạng cần ổn định, với chiều dài 90 mm, đường kính 42 mm. Tỷ lệ chiều dài trên đường kính của đạn và phần cần ổn định của ốc đầu lần lượt là 5,2 và 2,1.



Hình 1. Tham số đầu đạn cỡ 122 mm (Kích thước có đơn vị mm)

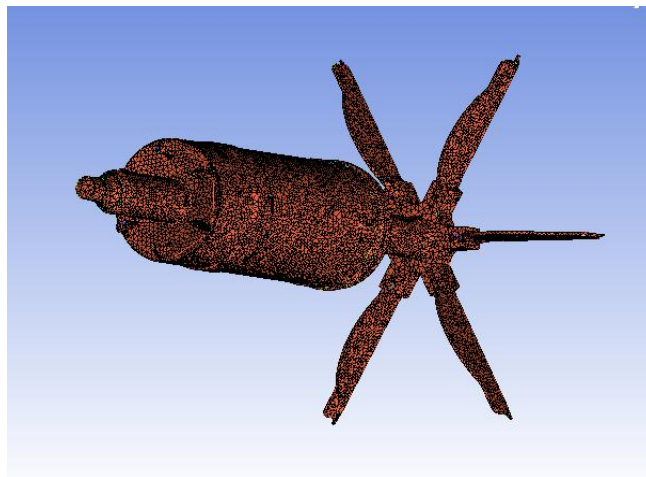
1. Ngòi đầu; 2. Ốc giữ ngòi; 3. Ốc đầu dạng cần ổn định; 4. Thân đạn;  
5. Đai dẫn; 6. Vòng trượt; 7. Ống đuôi; 8. Cánh

Miền khảo sát có kích thước dài  $\times$  rộng  $\times$  cao = 18 m  $\times$  4 m  $\times$  4 m được chỉ trên hình 2. Việc lựa chọn chiều dài vùng tính toán lớn giúp đảm bảo mô tả được vùng xoáy phía sau vật. Đồng thời, do tính toán được thực hiện tại góc tấn  $0^\circ$ , nên tiết diện cắt bao quanh vật nhỏ để giảm số lượng điểm lưới.



Hình 2. Miền khảo sát

Do mô hình đầu đạn có cấu trúc phức tạp, nên phương pháp chia lưới tự động được lựa chọn. Lưới tính toán được chia dày nhất trên bề mặt đạn sau đó đến phân sát với thân đạn và thưa hơn ở gần biên tự do. Ảnh hưởng kích thước lưới lên kết quả mô phỏng sẽ được trình bày trong mục 3.1.



Hình 3. Phân bố lưới tính toán quanh bề mặt của đạn

Các điều kiện biên cho mô hình tính toán được chỉ ra dưới bảng sau:

Bảng 1. Điều kiện tính toán

Tham số	Giá trị
Đầu vào (inlet)	$V_x = V_{đạn} = 690 \text{ m/s}$ ( $M = 2,02$ ); $V_y = 0$ ; $V_z = 0$
Đầu ra (outlet)	Áp suất ra
Biên tự do	Mặt tường tuyệt đối cứng
Biên thành đạn	$V_x = V_y = V_z = 0$

## 2.2. Thuật toán và phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu đặc tính khí động phục vụ cho thiết kế sản phẩm, phương pháp trung bình theo Reynolds (RANS) thường được sử dụng. Phương pháp này dựa trên trung bình hóa phương trình Navier-Stokes và bỏ qua ảnh hưởng của thời gian lên đặc tính của dòng chảy. Mặc dù RANS có giới hạn nhất định về kết quả nhưng chúng cho giảm thời gian tính toán đáng kể và có thể sử dụng trong nghiên cứu. Trong phương pháp RANS, ten-xơ ứng suất Reynolds phụ thuộc vào độ nhớt động học  $\nu_T$ . Tham số này được mô tả thông qua động năng chảy rối  $k$  và độ tiêu tán năng lượng  $\varepsilon$ .

Mô hình  $k-\varepsilon$  dựa trên hệ phương trình Navier-Stokes với hai phương trình bổ sung. Cụ thể, phương trình Navier-Stokes có thể được viết như sau [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho u_i'' u_j'') \end{cases} \quad (1)$$

trong đó  $i, j = 1, 2, 3$ ;  $u_i$  - thành phần vận tốc trung bình;  $p$  - áp suất;  $\rho$  - mật độ không khí;  $-\rho u_i'' u_j''$  là ten-xơ ứng suất Reynolds trung bình.

Hai phương trình bổ sung theo mô hình  $k-\varepsilon$  [7] là:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \\ \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (2)$$

với  $\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ;  $C_\mu = 0,09$ .

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Ảnh hưởng của lưới lên kết quả bài toán

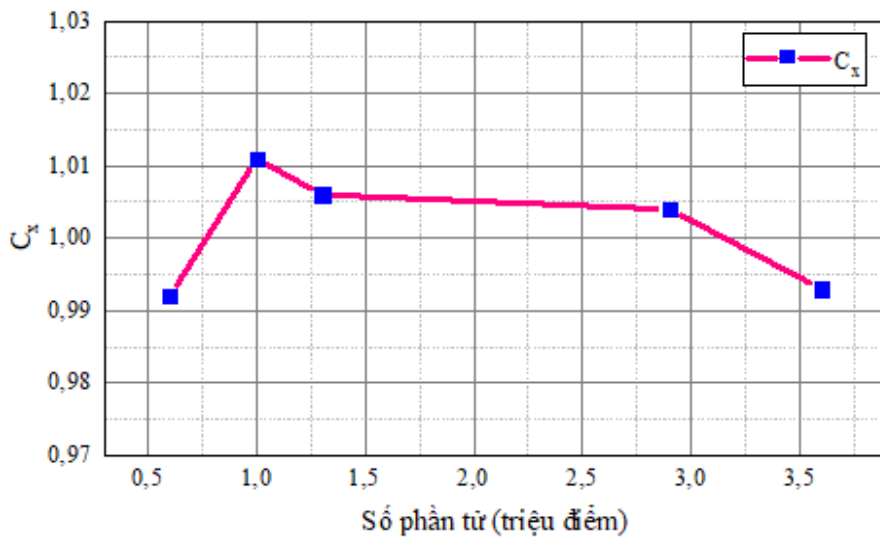
Bài báo khảo sát cho 5 trường hợp với mức độ chia lưới tính toán miền khảo sát khác nhau. Tham số về kích thước lưới được cho trong bảng 2.

Kết quả khảo sát lực cản theo số phần tử lưới được chỉ ra trên hình 4. Hệ số lực cản thay đổi không nhiều theo lưới tính toán và dao động từ  $0,992 \div 1,011$ . Lý do là do sóng xung kích hình thành trên bề mặt. Vì vậy, trong nghiên cứu này sử dụng lưới tính toán có 3,6 triệu phần tử, là lưới tính toán có chất lượng tốt nhất để đảm bảo kết quả

tính toán chính xác. Trong lưới này, kích thước ô lưới nhỏ nhất trên bề mặt vật là 0,005 m. Để mô phỏng dòng chảy sát đầu đạn và mô phỏng chính xác lớp biên, thực hiện chia 10 ô lớp lưới nhỏ song song và sát với bề mặt đầu đạn. Kích thước ô lưới nhỏ này là 0,005 m và tăng dần theo tỉ lệ 1,05. Ngoài ra, vùng xung quanh đạn được chia lưới nhỏ với kích thước ô lưới tối đa là 0,025 m. Lưới còn lại trong vùng tính toán có kích thước tối đa là 0,2 m.

*Bảng 2. Tham số kích thước lưới*

Trường hợp	Kích thước lưới (triệu điểm)
1	0,6
2	1,0
3	1,3
4	2,9
5	3,6



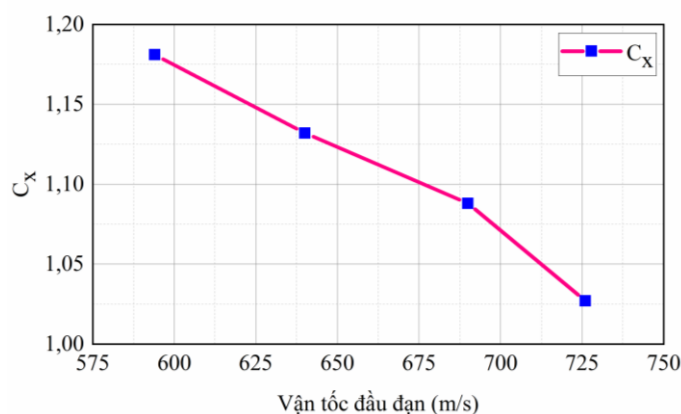
*Hình 4. Ảnh hưởng của số phần tử của lưới tính toán đến hệ số lực cản*

### **3.2. Kiểm chứng mô hình**

Sử dụng kết quả hệ số lực cản đã được tính toán cho trường hợp vận tốc đầu vào  $V_{đạn} = 690$  m/s và thực hiện tính toán thêm hệ số lực cản khí động của đầu đạn khi thay đổi điều kiện biên đầu vào  $V_x = V_{đạn}$  với một số vận tốc  $V_{đạn}$  khác là 594 m/s, 640 m/s và 726 m/s, thu được kết quả như trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán hệ số lực cản với các vận tốc đạn khác nhau

Vận tốc đạn (m/s)	594	640	690	726
Hệ số lực cản	1,181	1,132	1,088	1,027



Hình 5. Quy luật biến thiên hệ số lực cản theo vận tốc

Từ hình 5 thấy rằng, khi vận tốc đầu đạn biến thiên trong khoảng từ 580÷730 m/s thì hệ số lực cản biến thiên gần như tuyến tính thành một đường thẳng. Do đó, đặt hàm lực cản có dạng:  $C_x = aV + b$ . Từ các cặp giá trị  $C_x$  và  $V_{đạn}$  trong bảng 3, tính toán cho các giá trị  $a = -1,22 \times 10^{-3}$  và  $b = 1,913$ . Như vậy, hàm hệ số lực cản của đầu đạn BK13 có dạng như sau:

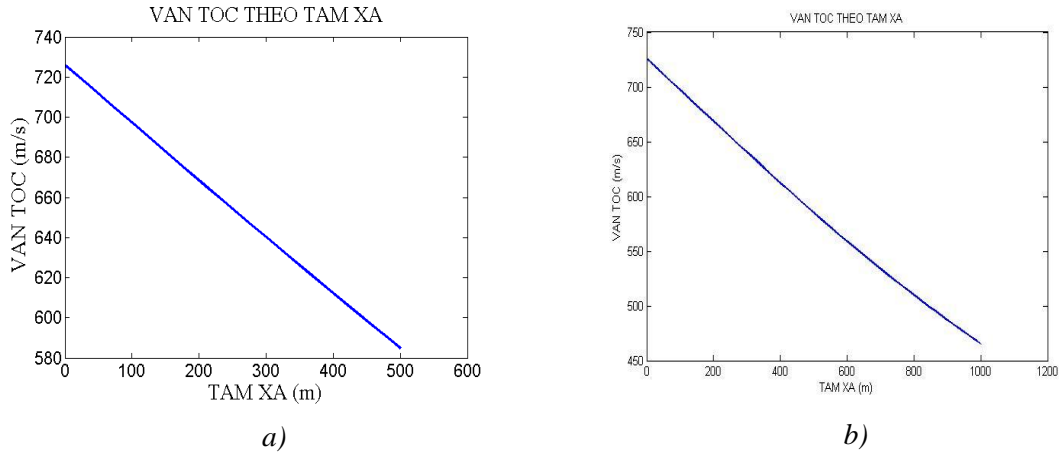
$$C_x = -1,22 \times 10^{-3} \times V_{đạn} + 1,913 \quad (3)$$

Hệ phương trình chuyển động của khối tâm của đạn pháo tổng quát [8]:

$$\begin{cases} \dot{V} = -C_0 \pi(y) F(V_\tau) - g \sin \theta \\ \dot{\theta} = -\frac{g}{V} \cos \theta \\ \dot{y} = V \sin \theta \\ \dot{x} = V \cos \theta \end{cases} \quad (4)$$

trong đó:  $C_0 = (i d^2 / q) \times 10^3$  - hệ số phóng ( $i$  - hệ số hình dạng,  $d$  - cỡ đạn,  $q$  - trọng lượng đạn);  $\pi(y)$  - hàm áp suất tương đối;  $g = 9,81$  - gia tốc trọng trường;  $F(V) = 4,74 \times 10^{-4} \times V^2 \times C_x(V_\tau)$  - hàm lực cản;  $\theta$  - góc bắn;  $V$  - vận tốc đạn.

Sử dụng phần mềm Matlab và thuật toán Runge-Kutta để giải hệ phương trình (4) khi sử dụng hàm hệ số lực cản (3) ở trên, thu được kết quả như trên hình 6.



Hình 6. Đồ thị thay đổi vận tốc chạm theo tầm xa ở góc phóng  $00^{\circ}04'$  (a) và  $00^{\circ}28'$  (b)

Tiến hành xác định vận tốc chạm của đạn ở các tầm bắn 500 m và 1000 m tương ứng với các góc phóng  $\theta = 00^{\circ}04'$  và  $00^{\circ}28'$  sau đó tiến hành so sánh với các giá trị vận tốc chạm khi tra bảng bắn của đạn [9] nhận được các kết quả:

Bảng 4. Vận tốc chạm của đạn theo tính toán và theo bảng bắn

Góc phóng, tầm bắn	Kết quả tính toán	Kết quả theo bảng bắn	So sánh giữa kết quả tính toán và bảng bắn
Góc phóng $00^{\circ}04'$ , tầm bắn 500 m	585	594	1,52%
Góc phóng $00^{\circ}28'$ , tầm bắn 1000 m	465	477	2,52%

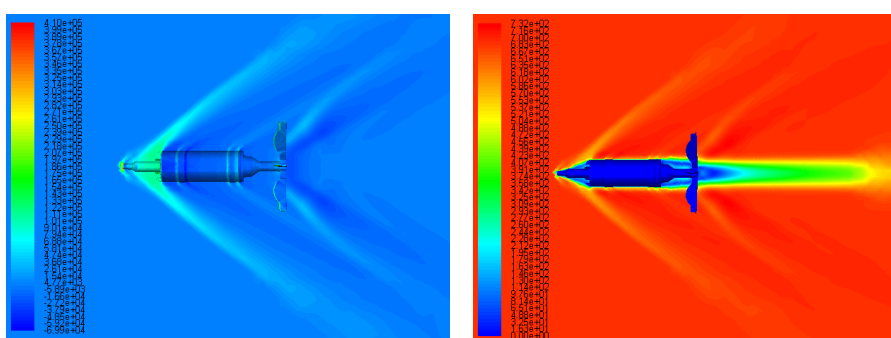
Giá trị vận tốc chạm khi tính toán bằng phương pháp của bài báo và giá trị vận tốc chạm khi tra bảng bắn có sai lệch nằm trong khoảng 2-3%, do vậy có thể sử dụng mô hình và phương pháp giải của bài toán tiến hành khảo sát phân bố các đặc tính khí động và ảnh hưởng của kết cấu đạn đến lực cản khí động.

### 3.3. Phân bố của một số đặc tính khí động của đầu đạn 122 mm trên đường bay

Phân bố áp suất, vận tốc được thể hiện trong hình 7. Có thể thấy rằng, tại mũi đầu đạn áp suất là lớn nhất. Đồng thời trên khu vực cần ổn định và cánh đuôi của đầu đạn hình thành một lớp sóng xung kích, điều này ảnh hưởng lớn đến đặc tính khí động của đầu đạn. Tại phần mũi hình thành các vùng xoáy chảy ngược có vận tốc rất thấp có thể coi là vùng lặng (Hình 8). Các đặc tính này có vai trò giữ ổn định cho đầu đạn và giúp chúng quay về vị trí ban đầu khi có tác động từ bên ngoài. Khi có nhiễu loạn, có nghĩa là xuất hiện góc

chương động, thì vùng lặng không đối xứng qua trục đạn. Một phần ốc đầu sẽ nhô ra khỏi vùng lặng và chịu tác động của dòng chảy không khí có dạng sóng xung kích. Do áp lực của dòng không khí luôn hướng vuông góc với bề mặt chịu tác động, nên lực tổng hợp do áp lực không khí gây ra cũng vuông góc với mặt tác động và tạo ra mô men quay đầu đạn về trạng thái cũ làm ổn định cho đầu đạn

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này mới khảo sát cho một trường hợp cụ thể. Để hiểu rõ hơn về ảnh hưởng của cân ổn định lên đặc tính khí động của đạn, các nghiên cứu cần được thực hiện cho trường hợp cân ổn định có chiều dài và đường kính khác nhau.

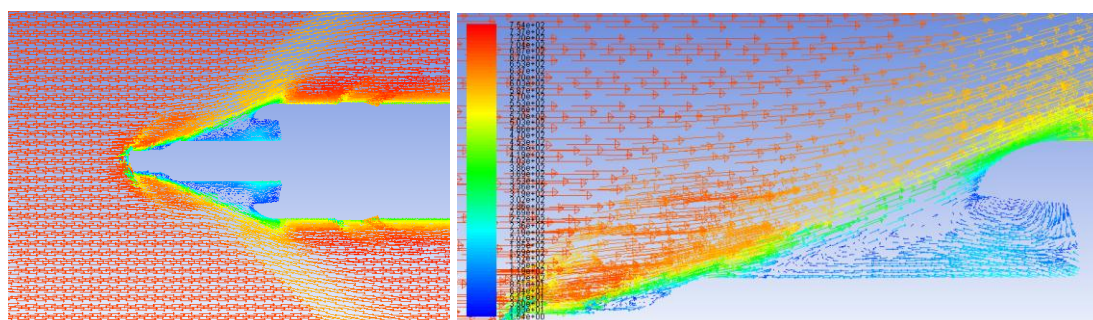


a) Áp suất

b) Vận tốc

Hình 7. Phân bố áp suất (a); vận tốc (b)

- Phân bố vận tốc dạng vector ở phần cân ổn định được thể hiện trong hình 8.

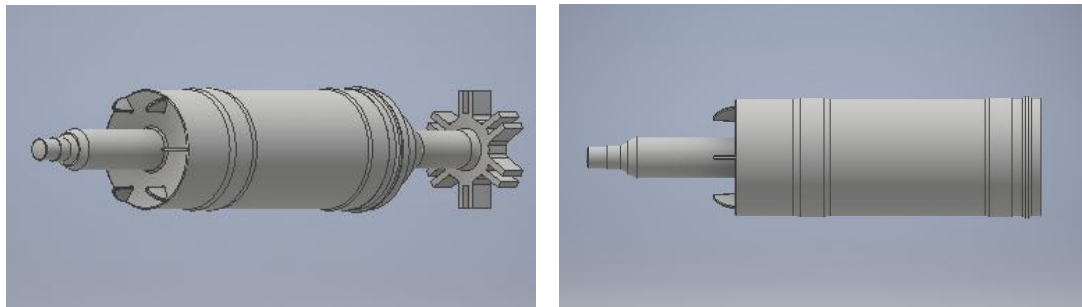


Hình 8. Phân bố vận tốc dạng vector phần cân ổn định

### 3.4. Ảnh hưởng của phần đuôi tới lực cản của đầu đạn

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của phần đuôi tới lực cản, nghiên cứu tiến hành mô phỏng, tính toán hệ số lực cản thêm cho hai trường hợp mô hình đầu đạn như sau: Mô hình bỏ đi các cánh đuôi (Hình 9a) và mô hình bỏ đi toàn bộ phần đuôi (Hình 9b). Trong quá trình khảo sát, nghiên cứu áp dụng các điều kiện đầu vào như trong bảng 1, lưới tính toán đã được chọn như trong mục 3.1.



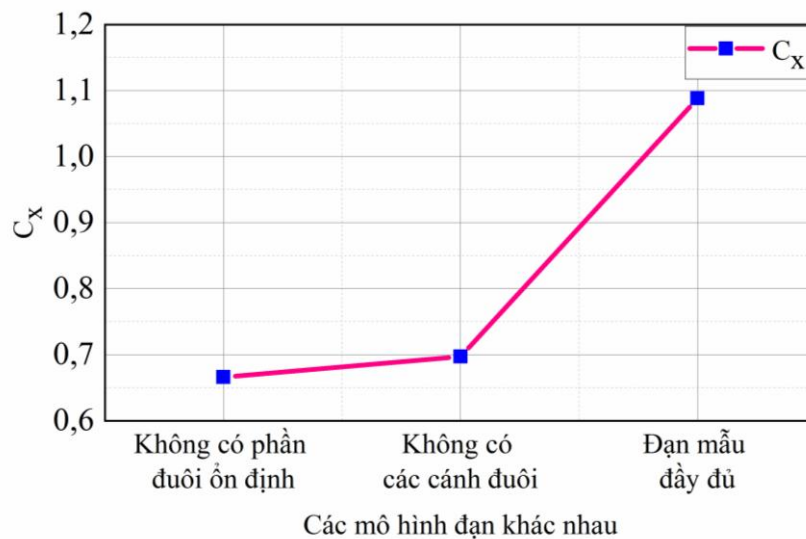


a) Không có các cánh đuôi

b) Không có phần đuôi ổn định

Hình 9. Mô hình 3D của các mô hình khảo sát

Kết quả tính toán và so sánh hệ số lực cản của đầu đạn có phần đuôi và không có phần đuôi được thể hiện trên hình 10.



Hình 10. Biến thiên hệ số lực cản với các mô hình đầu đạn khác nhau

Kết quả thu được cho thấy phần đuôi ổn định có ảnh hưởng rất lớn tới hệ số lực cản của đầu đạn trên đường bay, chiếm 38,79% tổng hệ số lực cản của đầu đạn trên đường bay. Trong đó, các cánh đuôi ổn định là thành phần có ảnh hưởng lớn nhất tới hệ số lực cản của đầu đạn trên đường bay trong phần đuôi ổn định chiếm 35,94% tổng hệ số lực cản.

#### 4. Kết luận

Phương pháp mô phỏng số cho phép tính toán các tham số khí động của đầu đạn sử dụng cần ổn định trên đường bay với độ chính xác khá cao. Tuy nhiên, đối với phương pháp mô phỏng số trên phần mềm ANSYS Fluent cách chia lưới tính toán có

ảnh hưởng rất nhiều đến kết quả tính toán của bài toán. Nghiên cứu này sử dụng lưới tính toán có kích thước 3,6 triệu điểm nhằm đảm bảo kết quả của bài toán.

So sánh vận tốc chậm ở cùng tầm bắn 500 m và 1000 m khi sử dụng hàm số lực cản được xác định bằng mô phỏng số vào giải hệ phương trình chuyển động khối tâm của đạn pháo và từ số liệu vận tốc chậm trong bảng bắn [9] cho thấy mức độ sai lệch khoảng 2-3%.

Khảo sát ảnh hưởng của phần đuôi đến lực cản của đầu đạn trên đường bay thấy rằng phần đuôi có ảnh hưởng rất lớn tới lực cản, chiếm 38,79% tổng hệ số lực cản. Trong đó, các cánh đuôi ổn định là thành phần có ảnh hưởng lớn nhất tới lực cản của đầu đạn trong bộ phận ổn định bằng cánh, chiếm 35,94% tổng hệ số lực cản.

Các kết quả nghiên cứu này có thể dùng để tham khảo khi nghiên cứu, tính toán, thiết kế, cải tiến đầu đạn 122 mm nói riêng và các đầu đạn ổn định bằng cánh sử dụng cần ổn định nói chung.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Trần Văn Định, *Cấu tạo tác dụng đạn dược lực quân*, Học viện KTQS, 2005.
- [2] Kang Zhong, Chao Yan, Shu-sheng Chen, Tian-xin Zhang, Shuai Lou, "Aerodisk effects on drag reduction for hypersonic blunt body with an ellipsoil nose," *Aerospace Science and Technology*, 86, 599-612, 2019.
- [3] Kamyar Mansour, Mahdi Khorsandi, "The drag reduction in spherical spiked blunt body," *Acta Astronautica*, 99, 92-98, 2014.
- [4] Phan Văn Nam, *Nghiên cứu tính toán lực cản đầu đạn bằng phần mềm ANSYS CFX*, Luận văn cao học, Học viện KTQS, 2018.
- [5] Ngô Khắc Yên, *Nâng cao hiệu quả phóng cho đầu đạn pháo bằng phương pháp tối ưu hóa kết cấu*, Luận văn cao học, Học viện KTQS, 2019.
- [6] The Hung Tran, Hoang Quan Dinh, Hoang Quan Chu, Van Quang Duong, Chung Pham and Van Minh Do, "Effect of boattail angle on near-wake flow and drag of axisymmetric models: A numerical approach," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35(2), 2020.
- [7] P Bradshaw, "Turbulent Secondary Flows," *Annual Review of Fluid Mechanics*, 19(1), 53-74, 1987.
- [8] Nguyễn Văn Thọ, Nguyễn Đình Sai, *Giáo trình thuật phóng ngoài*, Nxb Quân đội nhân dân, Hà Nội, 2003.
- [9] Министерство обороны СССР, *Таблицы стрелельбы для равнинных и горных условий 122-мм гаубицы Д-30*, Москва, 1971.

## STUDY OF THE AERODYNAMIC DAMPING CHARACTERISTICS OF A SPIKE-NOSED PROJECTILE USING NUMERICAL SIMULATION METHOD

**Abstract:** *In this study, aerodynamic damping characteristics of a spike-nosed projectile were investigated by numerical simulation methods. The numerical process was conducted using ANSYS Fluent software for specific projectile 122 mm. Effect of mesh volume on the convergence of the results was investigated in details. Aerodynamic characteristics of the projectile such as drag, distribution of pressure, velocity on the surface model were presented. The results of this study were used to evaluate the effect and results of spike for projectile 122 mm during the flight in particular, and other projectiles using spike for stability in general for further studies.*

**Keywords:** Aerodynamic characteristics; spike-nosed; ANSYS Fluent.

*Ngày nhận bài: 06/04/2021; Ngày nhận bản sửa lần cuối: 27/07/2021; Ngày duyệt đăng: 02/08/2021*

